



Conférence Européenne
des Directeurs des Routes

Conference of European
Directors of Roads

Bonnes pratiques pour les investissements d'infrastructure rentables en termes de sécurité routière



Version intégrale du rapport

Avril 2008

Auteurs :

Ce rapport a été soumis par **L'Université technique nationale d'Athènes**

Chef de file: George Yannis, Maître de conférence

Membres du groupe : Petros Evgenikos
Eleonora Papadimitriou

Avec des contributions des pays membres de la CEDR suivants :

Country	Name
Allemagne	Stefan MATENA
Autriche	Günter BREYER, Eva-Maria EICHINGER
Belgique Wallonie	Daniel HEUCHENNE
Belgique Flandres	Armand ROUFFAERT
Danemark	Henrik LUDVIGSEN
Estonie	Reigo UDE
Finlande	Auli FORSBERG
France	Martine BROCHE, Nathalie ROLLAND, Pascal CHAMBON
Grèce	Catherine LERTA, Anastasios TSAGLAS
Islande	Audur Thora ARNADOTTIR
Irlande	Harry CULLEN
Italie	Sandro LA MONICA, Francesca LA TORRE, Giovanni MAGARO, Alessandro PASSAFIUME
Lettonie	Ainars MOROZS
Lituanie	Gintautas RUZGUS
Luxembourg	Paul MANGEN
Norvège	Richard MUSKAUG
Pays Bas	Herman MONING
Pologne	Robert MARSZALEK
Portugal	Paulo MARQUES
Royaume Uni	David GINGELL
Slovénie	Tomaz PAVCIC
Suède	Christer RYDMELL
Suisse	Christoph JAHN

Edité et publié par : Le secrétariat général de la CEDR

Table des matières

RESUME	5
1 INTRODUCTION.....	7
1.1 Portée et objectifs.....	7
1.2 Méthodologie	8
1.3 Structure de la synthèse.....	10
1.4 L'équipe de recherche de la NTUA	11
1.5 Remerciements	11
2 EVALUATION DE LA RENTABILITE DES INVESTISSEMENTS DE SECURITE ROUTIERE	11
2.1 Stratégies de sécurité routière adoptées par les pays européens	12
2.2 Besoin de bonnes pratiques en matière d'investissements pour la sécurité routière	15
2.3 Méthodologies d'évaluation de l'efficience	16
3 APERÇU DES INVESTISSEMENTS DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE.....	23
3.1 Général	25
3.2 Autoroutes	32
3.3 Routes en milieu rural	35
3.4 Intersections	54
4 CHOIX DES INVESTISSEMENTS LES PLUS PROMETTEURS.....	64
4.1 Récapitulatif des investissements	64
4.2 Identification des investissements les plus prometteurs pour la sécurité routière	67
5 ANALYSE DETAILLEE DES INVESTISSEMENTS LES PLUS PROMETTEURS POUR LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE	70
5.1 Traitement des abords	70
5.2 Limitation de la vitesse / abaissement de la vitesse autorisée	78
5.3 Aménagement des intersections.....	87
5.4 Régulation du trafic aux intersections.....	98
5.5 Plans d'apaisement du trafic	106
6 PROPOSITIONS DE BONNES PRATIQUES	114
6.1 Récapitulatif des meilleures pratiques	114
6.2 Discussion	119
6.3 Conclusion	121

Liste des tableaux

Tableau 2.1. Valeurs nationales officielles du coût de la vie humaine (x1000 €, prix de 2002)	21
Tableau 2.2. Valeurs nationales officielles du coût de la vie humaine (en millier €, 2002)	21
Tableau 4.1. Récapitulatif des investissements	66
Tableau 4.2. Evaluation préliminaire des investissements les plus prometteurs	67
Tableau 4.3. Sélection des investissements les plus prometteurs soumis à une analyse plus approfondie	70
Tableau 5.1. Impact sur la sécurité du traitement des abords	74
Tableau 5.2. Traitements des abords – synthèse des résultats	77
Tableau 5.3. Impact sur la sécurité des investissements liés à la limitation de la vitesse	83
Tableau 5.4. Limitation de la vitesse - synthèse des résultats	86
Tableau 5.5. Impact sur la sécurité des mesures d'aménagement des intersections (1/2)	92
Tableau 5.5. Impact sur la sécurité des mesures d'aménagement des intersections (2/2)	93
Tableau 5.6. Aménagement des intersections - synthèse des résultats	97
Tableau 5.7. Impact sur la sécurité des mesures de régulation du trafic aux intersections	101
Tableau 5.8. Régulation du trafic aux intersections - synthèse des résultats	105
Tableau 5.9. Résultats des études d'évaluation par type d'étude et par type de route	107
Tableau 5.10. Impact sur la sécurité des investissements liés aux plans d'apaisement de la circulation	109
Tableau 5.11. Modération de la circulation - synthèse des résultats	113
Tableau 6.1. Sources utilisées pour l'analyse des investissements les plus prometteurs	115
Tableau 6.2. Rentabilité des investissements de sécurité routière les plus prometteurs portant sur les infrastructures	116

Liste des figures

Figure 1.1. Organigramme de la méthodologie	8
Figure 2.1. Valeurs économiques officielles des accidents mortels dans certains pays - en Euros en prix de 2002	22
Figure 3.1. Echangeurs en losange, en trompette, en feuille de trèfle	33
Figure 3.2. Risque d'accident en fonction du rayon de courbure horizontale (Hauer 1999, AIPCR 2003)	36
Figure 3.3. Ajustement des rayons de courbure sur une série de courbures horizontales (Lamm et al. 1999)	36
Figure 3.4. Surélévation ou dévers de courbe horizontale (AIPCR 2003)	37
Figure 3.5. Courbes verticales de point haut et de point bas (AIPCR, 2003)	38
Figure 3.6. Principaux éléments du profil en travers	39
Figure 3.7. Principaux éléments transversaux	41
Figure 3.8. Exemples de PMV d'information collective	49
Figure 3.9. Type d'intersection en fonction de la densité du trafic (IHT, 1987)	54
Figure 3.10. Points de conflit des différents types d'intersection	55
Figure 3.11. Canalisation de la circulation aux intersections	56
Figure 3.12. Intersections en baïonnette	57
Figure 3.13. Réalignement des intersections	57
Figure 3.14. Plan d'une cour urbaine (woonerf)	59
Figure 3.15. Route de contournement	61
Figure 5.1. Points de conflit sur divers types d'intersections	87
Figure 5.2. Réalignement d'une intersection (AIPCR, 2003)	87
Figure 5.3. Intersections en baïonnette (AIPCR, 2003)	88
Figure 5.4. Canalisation de la circulation aux intersections (AIPCR, 2003)	88
Figure 5.5. Plan d'une cour urbaine (woonerf)	106

RESUME

Seule la mise en œuvre des mesures de sécurité routière les plus efficaces permettra à l'UE d'atteindre l'objectif qu'elle s'est fixé de réduire de 50% le nombre de morts sur les routes en dix ans (Commission européenne, 2001). Il en découle que l'évaluation économique de ces mesures représente un outil de première importance pour les décideurs. Le groupe de travail O7 de la CEDR a entrepris de mieux comprendre, identifier et faire connaître les pratiques qui permettent le mieux d'assurer la rentabilité des investissements en faveur de la sécurité routière, dans le cadre plus large d'un plan stratégique qui définit les priorités que l'organisation s'est fixée pour une période de quatre ans allant de 2005 à 2009. Ce plan stratégique vise à **fournir des orientations aux autorités routières nationales et à les aider** dans les efforts qu'elles entreprennent pour **améliorer leur efficacité**. Le présent rapport complète un rapport antérieur de la CEDR intitulé « Mesures les plus efficaces à court, moyen et long terme améliorant la sécurité sur les routes européennes » (CEDR, 2006), en quantifiant et ensuite classant diverses mesures de sécurité routière liées aux infrastructures.

L'objectif de la présente synthèse est **d'identifier les meilleures pratiques en matière d'investissements d'infrastructure rentables pour améliorer la sécurité routière** grâce à une analyse approfondie d'une littérature choisie couvrant diverses expériences internationales ainsi qu'à partir de données/informations recueillies par le biais d'un questionnaire élaboré par le groupe O7. Pour atteindre ces objectifs, une méthodologie idoine a été adoptée : dans un premier temps, nous avons entrepris une analyse de documents de référence choisis concernant des évaluations de la rentabilité de mesures de sécurité routière mises en œuvre tant dans l'Union européenne que dans le monde et les stratégies de sécurité routière adoptées par les pays européens ont été étudiées grâce au questionnaire 1 du groupe O7 de la CEDR. Ensuite, plusieurs mesures de sécurité routière liées aux infrastructures, identifiées dans le cadre de l'analyse de la littérature, mais aussi grâce à l'analyse du questionnaire 2 du groupe O7 et d'un rapport antérieur de la CEDR, ont été étudiées plus avant et un premier classement a été proposé.

Cette synthèse présente, la liste complète des **55 investissements de sécurité routière étudiés** dans le cadre d'une analyse exhaustive de la littérature dans ce domaine. Ces investissements sont classés en fonction du type d'infrastructure auquel ils peuvent s'appliquer (général, autoroutes, routes en milieu rural, intersections, zones urbaines). Sur ces 55 investissements, plus de la moitié peut être mise en œuvre sur des alignements droits, un nombre supérieur sur des tronçons en courbe et les autres sur des intersections. En outre, plus de la moitié de ces investissements peuvent concerner plusieurs éléments d'infrastructure.

Au vu des résultats de cette analyse, une note ("élevé" ou "faible") a été attribuée tant aux coûts de mise en œuvre, qu'à l'impact de la mesure sur la sécurité. Notons qu'il s'agit là d'un classement global car les coûts et impacts sur la sécurité d'un investissement donné peuvent aussi dépendre de la portée de sa mise en œuvre (par exemple locale ou régionale) ou du type de mise en œuvre (par ex. mise en œuvre simple ou plus complexe). En règle générale, **un investissement alliant un niveau élevé de sécurité et un faible coût de mise en œuvre est considéré comme étant une solution optimale**.

Bien qu'il ne soit pas possible de formuler des règles générales pour une catégorie d'infrastructure ou pour un domaine d'investissement, on peut trouver dans chaque catégorie et dans la plupart des domaines d'investissement correspondant à ces catégories, des investissements individuels qui répondent aux exigences fixées. Cette synthèse a donc permis de déterminer qu'il existe un nombre important d'investissements de sécurité routière rentables, présentant un faible coût et un impact élevé sur la sécurité ou bien un coût élevé et un impact élevé sur la sécurité, et dont la mise en œuvre peut permettre de répondre à divers problèmes de sécurité routière. Ce travail d'évaluation a permis de **sélectionner les cinq investissements suivants** :

- **traitement des abords des routes** (zones de sécurité, glissières de sécurité)
- **limitation de la vitesse**
- **aménagement des Intersections** (rond-point, réalignement, intersections en baïonnette, canalisation de la circulation)
- **régulation du trafic aux intersections** (panneaux de signalisation, feux de circulation)
- **plans d'apaisement du trafic**

Pour chacun de ces investissements, une **analyse plus poussée** a été effectuée. Elle comprend une description détaillée et porte sur les effets en termes de sécurité (validés statistiquement), les autres effets (mobilité, environnement etc.), les coûts de mise en œuvre, et la rentabilité éventuelle que l'on peut attendre de ces cinq investissements les plus prometteurs. Soulignons toutefois que l'ensemble des résultats évoqués ci-dessus peut s'appliquer à toutes les déclinaisons desdits investissements. De plus, leurs points forts, leurs points faibles et les entraves à leur mise en œuvre ont été analysés. A partir de cette analyse, une synthèse des bonnes pratiques en matière d'investissements d'infrastructure rentables en termes de sécurité routière a été élaborée et les principales questions à prendre en compte pour garantir une mise en œuvre optimale de l'évaluation de l'efficacité dans le processus décisionnel sont indiquées.

Les exemples de bonnes pratiques évoqués ci-dessus peuvent servir de **guide général pour une planification efficiente des investissements**. Pourtant, dans la mesure où il n'existe pas de «recette miracle» ou de panacée en matière d'évaluation et de décision finale, il est indispensable de procéder systématiquement à une analyse minutieuse de la situation afin d'optimiser la mise en œuvre de l'investissement considéré et ce, dans chaque pays ou région, en tenant compte de l'envergure du chantier, de sa durée et des critères nationaux ou locaux spécifiques. De plus, il faut s'assurer que de telles analyses sont conduites conformément à des méthodologies standard reconnues.

Par ailleurs, aucune règle générale de prise de décision ne pouvant être formulée, nous donnons quelques principes fondamentaux pour appliquer correctement les techniques d'évaluation de l'efficacité aux investissements portant sur les infrastructures, et ce, grâce à l'analyse exhaustive que nous avons faite de la littérature portant sur des études de cas du monde entier. La présente synthèse peut donc être considérée comme une **proposition exhaustive de bonnes pratiques pour les investissements en matière de sécurité routière**, et peut servir de guide de référence aux autorités routières lorsqu'elles choisissent les interventions de sécurité routière les plus adéquates.

1 INTRODUCTION

1.1 Portée et objectifs

L'évaluation économique des mesures de sécurité routière est un outil extrêmement important pour les décideurs. Le groupe temporaire O7, créé par le groupe permanent "Sécurité routière" de la Conférence Européenne des Directeurs des Routes (CEDR), a entrepris de mieux comprendre, identifier et faire connaître les pratiques qui permettent le mieux d'assurer la rentabilité des investissements visant à améliorer la sécurité routière. Cette initiative s'inscrit dans le cadre plus large d'un plan stratégique qui définit les priorités que l'organisation s'est fixée pour une période de quatre ans allant de 2005 à 2009. Ce plan vise à fournir des orientations aux autorités routières nationales et à les aider dans les efforts qu'elles entreprennent pour améliorer leur efficacité. Il vise ainsi à garantir une meilleure contribution du transport routier à l'économie et la sécurité des transports et à établir des relations plus harmonieuses entre le transport routier, les usagers des transports, la société et l'environnement.

Dans le cadre des travaux du groupe O7, deux enquêtes sous forme de questionnaire ont été menées auprès de divers pays d'Europe, afin d'identifier leurs pratiques de sécurité routière et les investissements rentables liés aux infrastructures. Cet exercice s'est heurté à plusieurs difficultés et questions complexes dont certaines n'ont pas été résolues, par exemple :

- difficulté à isoler l'impact sur la sécurité d'un investissement donné, car souvent, cet impact peut être attribué à plusieurs mesures,
- difficulté à compiler les données/renseignements recueillis du fait de la grande diversité des investissements visant la sécurité routière,
- difficulté à comparer les renseignements/données provenant de différents pays pour les raisons suivantes :
 - différences entre les environnements routiers et éléments connexes,
 - différences dans les méthodologies employées pour calculer les effets en termes de sécurité,
 - différences d'un pays à l'autre entre les coûts effectifs de ces investissements.

Ces questions doivent être étudiées de près si l'on veut dégager un tableau clair et complet au niveau de l'UE de la rentabilité des investissements d'infrastructure liés à la sécurité routière.

Le principal objectif de la présente synthèse est de fournir aux directeurs des routes un manuel de bonnes pratiques qui les aidera dans leurs décisions stratégiques concernant le choix initial des investissements liés aux infrastructures à mettre en place pour améliorer la sécurité routière, et ce, grâce aux éléments suivants :

- recueil des informations existantes grâce à une analyse exhaustive de la littérature,
- classement et comparaison des expériences en fonction de la rentabilité des investissements,
- identification et analyse des groupes d'investissements les plus prometteurs,
- suggestions concernant les conditions optimales pour la mise en œuvre des investissements retenus.

Le fruit de la présente synthèse est un manuel de **bonnes pratiques en matière d'investissements d'infrastructure rentables améliorant la sécurité routière.**

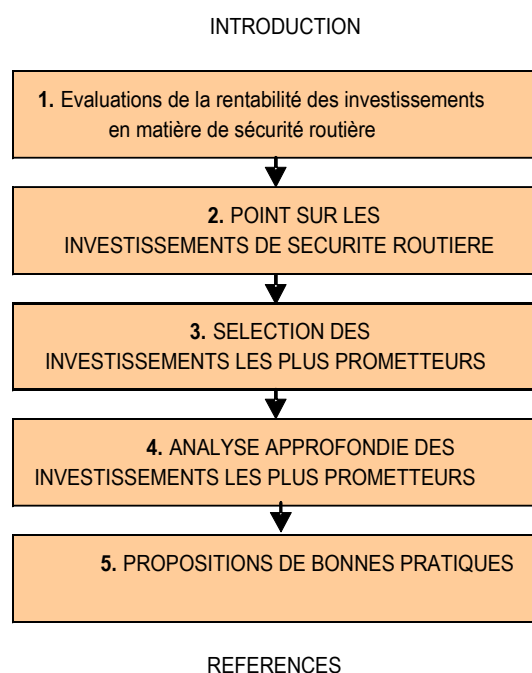
Ce manuel de bonnes pratiques repose sur l'analyse d'un volume considérable de renseignements et données. Ces informations ont été essentiellement recueillies par le biais de deux questionnaires (questionnaire 1 et questionnaire 2 formulés par le groupe O7), ainsi qu'à travers d'une étude exhaustive de la littérature sur l'efficacité des mesures de sécurité routière mises en œuvre dans les pays européens et dans le monde. En fait, le présent rapport complète un rapport antérieur de la CEDR intitulé « Mesures les plus efficaces à court, moyen et long terme améliorant la sécurité sur les routes européennes », en quantifiant et ensuite classant diverses mesures de sécurité routière liées aux infrastructures.

Notons toutefois, que ce manuel de bonnes pratiques ne remplace en aucune manière les études spécifiques qu'il est nécessaire de réaliser pour choisir, concevoir et mettre en œuvre les mesures les plus adaptées à chaque situation.

1.2 Méthodologie

Pour atteindre les objectifs susmentionnés, une méthodologie en cinq étapes a été adoptée (cf. figure 1.1).

Figure 1.1. Organigramme de la méthodologie



1. Analyse de documents de référence choisis

Il s'agit d'une étude bibliographique des méthodologies et pratiques actuellement utilisées dans le domaine des études de rentabilité des investissements de sécurité routière, tant dans l'UE que dans le monde. Il s'agit principalement de mieux comprendre les questions de rentabilité liées aux mesures de sécurité routière les plus modernes, et ce sous l'angle de la disponibilité et de l'utilisation des données/méthodologies. A cette fin, le groupe s'est servi d'une liste de documents de référence, dont des rapports pertinents préparés par la Conférence européenne des directeurs des routes (CEDR, 2006), des rapports sur des projets financés par l'UE tels que

ROSEBUD et PROMISING, des rapports d'évaluation concernant la mise en œuvre de certaines mesures de sécurité routière à l'échelon local ou national provenant de divers pays de l'Union européenne, ainsi que des publications de référence dans ce domaine (par ex. *"The Handbook of Road Safety Measures"* de Rune Elvik, *"Manuel de sécurité routière"* de l'AIPCR, *"Highway Safety Manual"* etc.). De plus, les réponses que plusieurs pays ont fournies au questionnaire 1, envoyé par le groupe O7, ont été, dans un premier temps, étudiées. On a mis l'accent sur les investissements de sécurité routière mis en œuvre sur des routes présentant des caractéristiques spécifiques, telles que les autoroutes et principales routes du réseau routier national, mais aussi sur des routes ayant un fort volume de trafic.

2. Analyse d'investissements de sécurité routière choisis

A partir des résultats de l'analyse des documents de référence et de celle du questionnaire 1, des investissements en matière de sécurité routière ont été retenus et ont été soumis à une analyse plus poussée. Plus précisément, le groupe s'est servi de l'expérience acquise grâce à l'étude de la littérature et des réponses à certaines questions fournies par plusieurs pays et les a pris comme point de départ pour mettre à jour la liste des investissements de sécurité routière qui a servi pour le questionnaire 2 élaboré par le groupe O7. Certains de ces investissements de sécurité routière ont été fusionnés ou supprimés et, le cas échéant, de nouveaux investissements ont aussi été étudiés.

3. Evaluation de la rentabilité des investissements de sécurité routière

A partir de la liste actualisée susmentionnée, les investissements retenus ont été analysés à la lumière des réponses fournies au questionnaire 1 et au questionnaire 2, des documents de référence et des contributions de la part des experts du groupe O7. L'évaluation de ces investissements repose sur l'identification et l'étude des principaux éléments qui déterminent le niveau d'efficacité des diverses interventions. L'impact sur la sécurité des contre-mesures a été estimé grâce à deux méthodologies : étude de type «avant-après» et comparaison statistique, et il a été validé par l'analyse de la littérature. Les ratios de rentabilité ont été calculés en tenant compte de l'impact sur la sécurité et des coûts de mise en œuvre des investissements, mais aussi des conditions dans lesquelles les divers investissements de sécurité routière sont mis en œuvre.

Suite à cette évaluation, les investissements de sécurité routière sélectionnés ont été classés en fonction de leur rentabilité et les plus rentables (pas plus de cinq) ont été retenus.

4. Bonnes pratiques en matière d'investissements rentables en termes de sécurité routière

Le groupe a soumis à une analyse plus poussée les investissements d'infrastructure visant à améliorer la sécurité routière qui ont été retenus dans le cadre de la tâche susmentionnée, afin d'identifier leurs points forts et leurs points faibles, ainsi que les entraves éventuelles à leur mise en œuvre et l'incidence de leur mise en œuvre sur le niveau de sécurité routière et sur le comportement des automobilistes, et ce, dans différentes situations. De plus, les différences entre les divers investissements de sécurité routière étudiés ont été analysées et des comparaisons entre la mise en œuvre de mesures similaires par différents pays ont été effectuées en vue de formuler une proposition exhaustive de bonnes pratiques en la matière. Le produit final de cette synthèse peut servir de guide de référence pour les autorités routières lorsqu'elles doivent choisir les interventions de sécurité routière les mieux adaptées à leur situation.

1.3 Structure de la synthèse

Le présent rapport comprend une analyse exhaustive de documents de référence choisis portant sur les connaissances actuelles en matière de mise en œuvre d'investissements de sécurité routière rentables. Grâce à cette première analyse, les effets de certains investissements de sécurité routière ont pu être étudiés et leurs coûts de mise en œuvre ont été évalués. L'expérience des pays membres de la CEDR a également été mise à contribution dans le cadre de l'analyse et de la synthèse des réponses aux deux questionnaires mentionnés ci-dessus. Cela a permis d'établir un classement préliminaire des investissements de sécurité routière identifiés.

Le **chapitre 2** du présent rapport porte sur l'évaluation de la rentabilité des investissements de sécurité routière et présente, dans un premier temps, les stratégies de sécurité routière mises en œuvre dans divers pays européens. Les raisons pour lesquelles il est important d'identifier les bonnes pratiques en matière d'investissements de sécurité routière sont abordées plus en détail et les aspects théoriques des principales méthodologies d'évaluation de l'efficacité sont aussi abordés. Le ratio de rentabilité et le rapport bénéfice-coût sont définis et les méthodes appropriées de calcul de l'impact sur la sécurité des investissements considérés, ainsi que des coûts concernés (accidents et coûts de mise en œuvre) sont présentées.

Le **chapitre 3** de la présente synthèse donne un aperçu complet des investissements de sécurité routière portant sur les infrastructures. Les investissements identifiés lors de l'analyse de la littérature et par le biais du questionnaire 2 du groupe O7 peuvent être classés en cinq grandes catégories d'interventions : générales, autoroutes, milieu rural, intersections et zones urbaines. Les principales caractéristiques, l'impact global sur la sécurité, les autres effets, les coûts et la rentabilité sont présentés pour cinquante cinq investissements d'infrastructure individuels.

Le **chapitre 4** reprend et développe les points présentés au chapitre 3. Les investissements sont classés et leur type, caractéristiques, impact sur la sécurité, coûts et acceptabilité sont analysés de façon détaillée. Ce classement permet d'identifier les investissements les plus prometteurs en termes de rentabilité. Enfin, les cinq investissements les plus prometteurs sont soumis à une analyse plus poussée. Il s'agit du traitement des bords de route, de la limitation de la vitesse, de l'aménagement des intersections, de la régulation du trafic aux intersections et des mesures d'apaisement de la circulation.

Le **chapitre 5** présente l'analyse détaillée des cinq investissements retenus. Les conclusions de l'examen de la littérature sont reprises et approfondies. Chaque investissement est soumis à un examen approfondi dans le cadre duquel sont présentés : sa description détaillée, son impact sur la sécurité tel que validé par les statistiques, ses autres effets et des indications concernant son coût de mise en œuvre. Ensuite, grâce aux études disponibles, une estimation du rapport coût-bénéfice est présentée et les conditions permettant d'optimiser la rentabilité sont identifiées. De plus, les points forts, points faibles et entraves de mises en œuvre sont analysés pour chaque investissement.

Enfin, le **chapitre 6** fait la synthèse des bonnes pratiques en matière d'investissements rentables en termes de sécurité routière. Cette synthèse s'appuie sur les analyses et conclusions du présent rapport. Les cinq investissements les plus prometteurs sont soumis à une étude comparative et leurs interactions potentielles sont aussi étudiées. Des lignes directrices et des recommandations sont proposées pour permettre tant une exploitation optimale des résultats du présent rapport qu'une mise en œuvre optimale des investissements les plus prometteurs. En outre, les principales questions dont il faut tenir compte pour l'évaluation de l'efficacité dans le cadre décisionnel sont abordées.

1.4 L'équipe de recherche de la NTUA

Ce rapport sur les investissements de sécurité routière rentables a été élaboré par l'équipe de recherche qui étudie les questions de sécurité routière au sein du département de Planification des Transports et du Génie de l'école du génie civil de l'**Université technique nationale d'Athènes**, sous la direction scientifique de George Yannis, Maître de conférence. La composition de l'équipe de chercheurs est la suivante :

- George Yannis (Responsable scientifique)
- Petros Evgenikos, ingénieur du génie civil - Chercheur
- Eleonora Papadimitriou, ingénieur du génie civil - Chercheur

1.5 Remerciements

Les auteurs de ce rapport souhaitent remercier tous les membres du groupe de travail O7 de la CEDR de leur soutien ainsi que le secrétaire général de la CEDR, M. Michel Egger, le professeur Francesca La Torre et Mme Caterina Lerta pour leur précieuse contribution à leurs travaux.

2 EVALUATION DE LA RENTABILITE DES INVESTISSEMENTS DE SECURITE ROUTIERE

Malgré une diminution importante du nombre de morts sur les routes d'Europe au cours des dix dernières années, il est indispensable de poursuivre les efforts entrepris pour réduire encore le nombre des victimes d'accidents de la route. En 2005, plus de 41 000 personnes ont été tuées et environ 1,7 millions de personnes ont été blessées sur les routes des vingt cinq Etats membres de l'Union européenne (Yannis et al., 2006). Le coût de ces accidents pour la société est estimé à environ 160 milliards d'euros (Commission européenne, 2003). La sécurité routière est une priorité importante dans tous les pays européens ainsi qu'à l'échelon communautaire. En 2001, la Commission européenne s'est fixé pour objectif de réduire de 50% le nombre de morts sur les routes (Commission européenne, 2001) dans un délai de dix ans et a identifié plusieurs domaines dans lesquelles elle pouvait intervenir directement, dans les limites des ressources disponibles. Cet objectif communautaire ne pourra être atteint que par l'introduction des mesures les plus efficaces. Il est donc indispensable de connaître le potentiel des diverses initiatives de sécurité routière en termes de réduction des accidents.

En 2006, pour répondre à une demande de la Commission européenne, la Conférence européenne des directeurs des routes a préparé un rapport sur les mesures les plus efficaces pour améliorer la sécurité sur les routes européennes (CEDR, 2006). L'accent a été mis sur l'objectif communautaire de réduction de 50% du nombre de mort à l'horizon 2010 et, à l'occasion de ce rapport, la CEDR a tenté de déterminer l'étendue des responsabilités des directeurs des routes en examinant les questions d'organisation et les questions institutionnelles dans les divers Etats membres.

Une réduction de moitié du nombre de mort sur les routes européennes à l'horizon 2010 constitue un défi collectif de taille pour toutes les organisations et institutions impliquées. Différents groupes se partagent les responsabilités gouvernementales et non-gouvernementales en matière de sécurité routière, si bien que des interactions à tous les niveaux de gouvernement (local, régional, national, communautaire) ainsi qu'avec le secteur privé sont indispensables si l'on veut atteindre cet objectif. C'est dans cette optique que vingt catégories d'initiatives de sécurité routière ont été étudiées par les représentants de dix-huit Etats membres de l'UE. Ils ont étudié la durée de mise en œuvre de ces initiatives ainsi que leur niveau de mise en œuvre (national ou communautaire). Cette analyse a couvert un éventail important de mesures portant sur les infrastructures, sur les conducteurs et sur les véhicules.

Cette étude a montré à quel point il est important d'influencer le comportement humain grâce à des campagnes de sensibilisation à l'échelon national et européen, dont l'effet peut être renforcé par des mesures législatives et une application adéquate de ces dernières. Les mesures liées à la gestion des infrastructures, telles que celles portant sur les points dangereux (points noirs), les audits de sécurité routière et les inspections de sécurité routière, sont en général considérées comme des priorités, surtout à l'échelon national. On attache aussi beaucoup d'importance aux autres interventions concernant les infrastructures, telles que les contrôles de police pour faire respecter les limites de vitesse, l'apaisement de la circulation et la gestion de la vitesse, et ce, tant au niveau national qu'au niveau européen.

Faisant suite à ces travaux, la présente synthèse se concentre sur les investissements spécifiquement liés aux infrastructures. Une analyse minutieuse a été effectuée afin de dégager un tableau concret et complet des caractéristiques, des effets sur la sécurité et des coûts de mise en œuvre de chaque investissement d'infrastructure étudié. A partir de là, l'efficacité de ces investissements est évaluée.

Ce chapitre présente les stratégies nationales de sécurité routière mises en œuvre dans plusieurs pays européens. Ces stratégies n'ont pas toujours pour but d'identifier les investissements les plus efficaces. Notamment, dans plusieurs pays, seuls ont été définis des objectifs ou stratégies nationaux ayant un caractère général, mais sans définition d'objectifs quantitatifs spécifiques et sans évaluation des résultats en termes d'efficacité. C'est pourquoi, ce chapitre met aussi l'accent sur le besoin d'identifier les meilleures pratiques en matière de choix et de mise en œuvre des investissements de sécurité routière grâce à des méthodes qui permettent d'évaluer leur efficacité. Nous fournissons par ailleurs des indications concernant les aspects théoriques des principales méthodologies d'évaluation de l'efficacité.

2.1 Stratégies de sécurité routière adoptées par les pays européens

Pour atteindre les objectifs de la présente synthèse, nous avons, dans un premier temps, étudié des données recueillies grâce à une enquête de type questionnaire portant sur les efforts entrepris au niveau national pour améliorer la sécurité routière. Des experts en sécurité routière de la plupart des pays européens représentant diverses régions de l'Union européenne ont été chargés de remplir ce questionnaire. Leurs réponses ont fourni un aperçu général de la situation actuelle en matière de politique de sécurité routière. Cette enquête a été conduite dans le cadre des activités du **groupe de travail O7 du groupe Sécurité routière** de la Conférence européenne des directeurs des routes (CEDR).

Les experts des seize pays suivants ont répondu à l'enquête : Allemagne, Autriche, Belgique (Wallonie), Danemark, Finlande, France, Grèce, Irlande, Islande, Italie, Luxembourg, Pays-Bas, Portugal, Slovaquie, Suisse et Royaume-Uni.

Les paragraphes suivants analysent les résultats et proposent une synthèse des réponses à ce questionnaire afin de dresser un tableau des stratégies nationales de sécurité routière actuellement en vigueur en Europe. Les réponses fournies pour chaque question sont résumées, puis leur cohérence et leur comparabilité sont analysées afin de permettre une comparaison entre les différentes régions d'Europe.

La définition d'objectifs nationaux de sécurité routière est une pratique courante dans les pays européens. Bien que la France ne dispose pas d'un plan de sécurité routière avec des objectifs prédéfinis (en termes de réduction spécifique du nombre de morts à atteindre en un temps donné), elle adopte un plan d'action de sécurité routière réactualisé tous les ans. D'autres pays européens se fixent des objectifs spécifiques.

- De nombreux pays (Allemagne, Autriche, Grèce, Portugal, Slovénie) ont adopté l'objectif communautaire fixé par la Commission européenne en 2001 (Commission européenne, 2001) visant une réduction de 50% du nombre de morts sur les routes à l'horizon 2010 (avec différentes années de référence allant de 1998 à 2003).
- D'autres pays ont des objectifs de réduction du nombre de morts et de blessés par accident de la route allant de 10% (pour les blessures légères au Royaume-Uni) à 50% (pour le nombre de morts dans plusieurs pays) et ce, à une échéance donnée. Par exemple, les Pays-Bas se sont fixé pour objectif, d'ici à 2020, de réduire de 45% le nombre de morts sur leurs routes et de 34% le nombre de blessés nécessitant un traitement hospitalier.

Ensuite, chaque pays européen élabore les **plans d'action de sécurité routière** qui s'imposent, en fonction des objectifs spécifiques qu'il s'est fixé au niveau national :

- A l'exception de la France, qui n'agit que sur son réseau de routes nationales, tous les autres pays ont mis en œuvre des plans d'action de sécurité routière spécifiques à l'échelon national, afin d'atteindre des objectifs définis préalablement. Dans la plupart des pays, les plans d'action pour la sécurité routière représentent un cadre général dans lequel les actions de sécurité routière sont regroupées dans des catégories plus larges.
- Certains pays se donnent la possibilité d'élaborer plusieurs plans de sécurité routière distincts en fonction du niveau auquel ils seront mis en œuvre. Par exemple, aux Pays-Bas, il existe des plans d'action de sécurité routière à trois niveaux. Au niveau européen, il s'agit essentiellement de mesures liées aux technologies de bord (sécurité active et passive). Au niveau national, il s'agit d'initiatives concernant la tarification routière, le choix des mesures rentables concernant les infrastructures, l'entretien des routes nationales, la formation des conducteurs débutants, les campagnes de sécurité et les contrôles techniques des véhicules. Enfin, à l'échelon régional, des plans régionaux spéciaux de sécurité routière reposant sur les mêmes objectifs que les plans nationaux sont élaborés et concernent essentiellement le choix de mesures rentables liées aux infrastructures, des programmes améliorant le comportement des conducteurs, le respect des limites de vitesse, le port de la ceinture et du casque, les agressions et l'alcool au volant et la sécurité du transport de marchandises.

En règle générale, plusieurs **domaines d'action différents** sont pris en compte, les plus courants, dans la plupart des pays, étant :

- l'impact du facteur humain sur le niveau de sécurité routière (comportement, éducation, campagnes de sécurité routière, usagers de la route vulnérables)
- les infrastructures (réseau routier, intersections, gestion des points dangereux (points noirs), autres questions de génie civil)
- la politique des transports (coordination des autorités, application de la législation concernant la sécurité routière, intensification des contrôles et interventions dans les domaines de la vitesse, de l'alcool et/ou de la drogue au volant)
- la technologie de bord et la sécurité des véhicules (sécurité active et passive, accidents impliquant des poids lourds ou des deux-roues etc.)

En Italie, par exemple, le plan national de sécurité routière 2003 a défini trois niveaux d'intervention :

- interventions urgentes pour améliorer la sécurité routière (financement de mesures d'amélioration de la sécurité routière dans des zones rurales ou urbaines à haut risque)
- interventions systématiques (mise en œuvre de plans d'entretien et de gestion comprenant des campagnes d'information, la planification de la circulation, une planification multimodale)
- plans stratégiques (création de centres régionaux de surveillance de la sécurité routière pour le suivi du niveau de sécurité routière dans 17 des 21 régions italiennes).

Il va sans dire que les actions de sécurité routière diffèrent d'un pays européen à l'autre en fonction de son niveau actuel de sécurité routière, de ses besoins, des caractéristiques spécifiques à sa circulation routière, de sa culture en matière de sécurité et de son emplacement géographique.

Des programmes spécifiques de sécurité routière ont été adoptés dans tous les pays européens interrogés, à l'exception du Luxembourg. Plus précisément, tous ces pays ont adopté des programmes de sécurité de la route portant sur l'identification et la gestion des points dangereux. En général, une méthode statistique uniforme est adoptée pour identifier ces points dangereux sur l'ensemble du réseau routier national. Toutefois, en Italie, ces points noirs sont identifiés à partir d'une analyse des bonnes pratiques mises en place par chaque direction régionale des routes. Dans certains pays (par ex. l'Allemagne) il existe deux méthodes pour identifier les tronçons dangereux : gestion classique des points dangereux et gestion de la sécurité du réseau, qui se concentre non seulement sur les points dangereux, mais aussi sur l'ensemble du réseau routier. En Slovénie, la gestion des points dangereux se fait uniquement pour certains types de routes, en l'occurrence toutes les routes à l'exception des autoroutes. La gestion des points dangereux comprend leur identification (telle que définie par chaque pays) et la mise en œuvre de mesures appropriées, classées par ordre de priorité et visant à limiter le nombre d'accidents. Le classement par ordre de priorité est fonction de certains critères généralement associés à l'efficacité des mesures, mais aussi aux coûts de mise en œuvre afférents (par exemple, aux Pays-Bas, réduction du nombre de morts/blessés).

Dans quasiment tous les pays (à l'exception du Luxembourg) **un budget spécial** est consacré à l'amélioration du niveau de la sécurité routière. En général, ce sont les ministères chargés du transport routier, les ministères de la Justice et les directions générales des routes qui sont chargés d'administrer ces fonds, mais dans certains cas, les autorités régionales peuvent, elles aussi, financer des projets régionaux (en Autriche, en France). Les fonds sont alloués aux diverses activités en fonction des objectifs définis et fixés dans les plans de sécurité routière de chaque pays et leur allocation dépend aussi du degré de priorité que présente chaque activité. Les investissements pertinents concernent principalement l'amélioration des infrastructures routières par la mise en place d'interventions à court terme et le traitement des points noirs.

Les budgets spécifiquement dédiés à la recherche en matière de sécurité routière sont moins courants, mais existent dans certains pays (par ex. l'Autriche et la Suisse). En général, **les montants consacrés à la sécurité routière** dépendent du budget national annuel, du PIB et de la taille du pays. Par exemple :

- En Grèce, selon des données de 2005, au total, environ 93 millions € sont consacrés à des actions de sécurité routière, les plus gros montants étant principalement alloués à des interventions à court terme sur des points dangereux, à des interventions à court terme sur le réseau national et à la surveillance du comportement des conducteurs à l'aide de caméras électroniques.
- En Islande, au titre du plan national de sécurité routière, environ 19 millions € seront directement consacrés à la sécurité routière pendant la période 2005-2008 (ce chiffre exclut les coûts relatifs aux grandes transformations des infrastructures), alors qu'en Irlande, en 2006, 33 millions € ont été consacrés à des initiatives de sécurité routière.
- En France, pour le développement et l'amélioration d'un réseau de 30 000 km, environ 66 millions € ont été déboursés en 2005 par le gouvernement et les autorités locales.

Dans la majorité des pays, le montant consacré à la sécurité routière est déterminé par les autorités compétentes, telles que les administrations chargées du budget national, les administrations chargées du transport et les autorités locales.

Le choix entre initiatives de sécurité routière se fait en général sur la base d'une **évaluation économique** (calcul d'indicateurs économiques tels que le taux de rendement annuel, la VAN, le retour sur investissement la première année etc.) et parfois à partir d'autres critères. Au Royaume-Uni, on a recours à une procédure particulière basée sur une méthode de notation des aspects économiques et sécuritaires des programmes routiers. La philosophie qui sous-tend cette notation repose sur l'idée que la principale mesure de la rentabilité d'un programme est le taux de retour sur investissement la première année, pour l'initiative concernée. A l'exception de la Slovénie, qui n'effectue aucune évaluation économique systématique des initiatives de sécurité routière, tous les pays européens interrogés évaluent les avantages des initiatives de sécurité routière et définissent des priorités spécifiques en comparant le coût du projet à mettre en œuvre et ses avantages potentiels. Le coût d'une initiative de sécurité routière correspond aux coûts de construction / mise en œuvre, alors que ses avantages sont exprimés en termes de diminution des coûts résultant de la réduction potentielle du nombre d'accidents.

Bien qu'on se serve beaucoup des **études de rentabilité** pour classer les initiatives de sécurité routière par ordre de priorité, d'autres facteurs sont également pris en compte. Par exemple, en Suisse, on attache beaucoup d'importance à la faisabilité de chaque mesure, la protection des usagers vulnérables, l'impact de chaque mesure sur les libertés individuelles et sa compatibilité avec les objectifs des autres domaines de la politique fédérale. En France, une évaluation socio-économique générale est entreprise. Elle évalue le coût des accidents de la route, mais aussi le coût d'autres effets tels que les avantages en termes de gain de temps ou les aspects écologiques.

2.2 Besoin de bonnes pratiques en matière d'investissements pour la sécurité routière

1. Comme indiqué précédemment, la plupart des pays élaborent et adoptent des programmes de sécurité routière comprenant une série de mesures et un ensemble d'objectifs (par ex. pourcentage de réduction du nombre de morts sur une période donnée). **Les initiatives de sécurité routière relatives aux infrastructures** représentent une part importante des mesures de sécurité routière mises en œuvre dans ces pays. Ces initiatives peuvent porter sur la construction de nouveaux éléments d'infrastructure ou sur la restauration et la modernisation des infrastructures existantes.

Toutefois, les initiatives de sécurité routière liées aux infrastructures étant souvent fort coûteuses et les budgets consacrés à la sécurité routière dans le monde étant limités, les hommes politiques doivent décider de comment utiliser au mieux ces budgets. Dans la plupart des pays, les principaux critères utilisés pour décider des politiques et des budgets sont : **la durabilité, la légalité et/ou la légitimité**. Or, dernièrement, **l'efficacité** a fait son apparition parmi les principaux critères retenus pour déterminer une bonne politique. L'évaluation de cette efficacité peut contribuer à rationaliser le choix et la mise en place des mesures de sécurité routière et éviter que ces décisions ne soient prises sans autre forme de réflexion.

2. Pour étayer le processus décisionnel et aider les décideurs à choisir judicieusement les mesures les plus adaptées pour améliorer le niveau de sécurité routière dans leurs pays, des instruments analytiques permettant de mesurer le degré d'efficacité de ces mesures sont indispensables. Les **analyses de type «coût-bénéfice» (ABC) et les analyses de rentabilité** permettent de procéder à une première sélection et de classer les projets. Ces analyses étudient la rentabilité et le caractère opportun de ces investissements. L'allocation de budgets pour des mesures de sécurité routière peut commencer par la mise en place de mesures individuelles qui sont ensuite regroupées afin d'optimiser leurs effets. Dans le domaine de la sécurité routière, l'utilisation de ces outils d'évaluation pour mieux préparer et faciliter le processus de prise de décision en Europe, permet d'assurer la mise en œuvre d'une politique de sécurité routière efficace.

Il est essentiel d'identifier les **meilleures pratiques** pour les investissements rentables de sécurité routière en Europe et dans le monde, car cela permet de mieux comprendre comment l'application réussie de mesures individuelles portant sur les infrastructures ou l'adoption d'approches intégrées ont permis d'améliorer la sécurité routière. Grâce à une analyse pertinente de la littérature, les résultats obtenus dans une situation donnée peuvent permettre de prédire les effets de certaines mesures lorsqu'elles sont appliquées dans des circonstances analogues et ainsi, de formuler des lignes directrices spécifiques afin de garantir une application efficace des politiques de sécurité routière.

Il faut toutefois souligner que l'efficacité d'un type d'intervention dans une situation donnée ne garantit pas sa réussite dans tous les contextes. La mise en œuvre d'un investissement dans différents pays ou régions peut donner lieu à des résultats très différents, en fonction de sa portée, de sa durée et de critères nationaux et locaux spécifiques. Le choix d'un investissement ou d'une série d'investissements doit toujours reposer sur une étude de la sécurité routière conduite par des spécialistes. Par conséquent, les informations concernant la rentabilité relative des investissements en infrastructure visant à améliorer la sécurité routière peuvent grandement faciliter le choix de solutions appropriées, mais à condition qu'une **analyse minutieuse de la situation** soit aussi effectuée. En outre, il faut s'assurer que de telles analyses sont conduites conformément à des méthodologies standard reconnues.

2.3 Méthodologies d'évaluation de l'efficacité

Une bonne évaluation de la sécurité routière doit permettre de choisir les meilleures mesures en la matière. Cela peut se faire à l'aide de deux outils d'évaluation de l'efficacité couramment utilisés et qui facilitent la prise de décision et permettent de choisir la politique qui engendrera le meilleur retour financier sur investissement : l'analyse coût-bénéfice (ACB) et l'analyse de rentabilité. Les analyses de rentabilité évaluent séquentiellement l'efficacité en termes de sécurité des mesures mises en œuvre alors que les analyses coût-bénéfice comprennent aussi une évaluation de la rentabilité économique de ces mesures. Une évaluation de la sécurité routière permet de classer les problèmes par ordre de priorité et d'améliorer les mécanismes de financement des mesures de sécurité routière tout en garantissant une meilleure allocation des fonds publics. En outre, elle permet de définir, dans le cadre d'un programme national ou local de sécurité routière, des objectifs quantifiés. De plus les analyses coût-bénéfice et les analyses de rentabilité permettent d'évaluer les résultats du suivi et du contrôle systématique des activités de sécurité routière, étape importante dans la mise en œuvre d'un système d'évaluation systématique. Dans le cadre du suivi des plans et des programmes de sécurité, toutes les activités et actions devraient en effet être enregistrées de façon systématique afin de fournir aux décideurs les informations dont ils ont besoin et de permettre l'ajustement des plans, la réorganisation et la maîtrise des activités de sécurité routière.

2.3.1 Ratio de rentabilité et rapport coût-bénéfice

Les analyses de rentabilité et coût-bénéfice sont des outils standard dont on se sert pour évaluer les investissements de sécurité routière.

Le ratio de rentabilité d'une mesure de sécurité routière correspond au nombre d'accidents évités grâce à ladite mesure par unité de coût de mise en œuvre (ROSEBUD, 2005) :

$$\text{Rentabilité} = \frac{\text{nombre d'accidents évités grâce à une mesure donnée}}{\text{coût unitaire de mise en œuvre de la mesure}}$$

Le rapport coût-bénéfice d'une mesure de sécurité routière correspond à la valeur actuelle de tous les avantages conférés par ladite mesure divisée par la valeur de son coût de mise en œuvre (ROSEBUD, 2005) :

$$\text{Rapport coût-bénéfice} = \frac{\text{Valeur actuelle de tous les avantages}}{\text{Valeur actuelle des coûts de mise en œuvre}}$$

Par conséquent, dans une analyse coût-bénéfice, les effets d'une mesure sont comparés en termes monétaires. Notons, par ailleurs, qu'une analyse coût-bénéfice requiert un calcul des diverses composantes de la rentabilité et le calcul d'éléments supplémentaires. Les aspects monétaires comprennent les coûts associés aux accidents et d'autres facteurs qui dépendent du type et de la portée des autres effets pris en compte, tels que les coûts associés aux temps de trajet, les coûts d'exploitation d'un véhicule, les coûts liés à la pollution de l'air, aux nuisances sonores etc. Le calcul de ces différents éléments est présenté en détail dans les paragraphes suivants.

Pour pouvoir comparer les coûts et les avantages, il est nécessaire de convertir leurs valeurs dans à un référentiel temporel donné. Pour ce faire, il faut définir un cadre économique, c.-à-d. la durée de l'effet (durée de vie de l'investissement) et les taux d'intérêt (ceux généralement utilisés pour évaluer les performances économiques du pays).

Dans une situation de base, lorsque les avantages traduisent uniquement le nombre d'accidents évités (sans influence sur la mobilité ou sur l'environnement), le numérateur du rapport coût-bénéfice est estimé comme suit :

$$\text{Valeur actuelle des avantages} = (\text{nombre d'accidents évités}) \times (\text{coût moyen d'un accident}) \times (\text{coefficient d'actualisation cumulé})$$

Dans cette formule, le coefficient d'actualisation cumulé dépend du taux d'intérêt et de la durée de vie de la mesure.

2.3.2 Calcul de l'impact sur la sécurité

Les accidents visés par une mesure de sécurité routière sont appelés «accidents cibles». En fonction du type et de la portée d'un investissement de sécurité routière, on peut aussi définir "un groupe cible de victimes", une "population de conducteurs cible " etc.

Notons qu'il n'existe aucune règle stricte à ce sujet. Pour les investissements globaux ou portant sur l'ensemble d'une zone, tels que la gestion des points dangereux, l'apaisement de la circulation ou la limitation de la vitesse, le groupe des accidents cibles inclut généralement tous les accidents corporels. Toutefois, pour les aménagements piétonniers, par exemple, le groupe des accidents cibles inclut les accidents corporels dont sont victimes les piétons. Pour l'étude d'un groupe spécifique (plutôt que général) d'accidents, il ne faut pas oublier d'ajuster en conséquence les coûts relatifs aux accidents.

Pour pouvoir estimer le **nombre d'accidents que l'on espère éviter** grâce à la mise en œuvre d'un investissement de sécurité (par unité), il faut calculer deux éléments : le nombre d'accidents cibles que l'on prévoit annuellement pour une unité normale de mise en œuvre dudit investissement, et l'impact, en termes de sécurité, de cet investissement sur les accidents cibles.

Nombre d'accidents que l'on prévoit d'éviter = (Nombre d'accidents prévus par an) × (impact sur la sécurité de la mesure)

Le principal format d'**impact sur la sécurité** est le pourcentage de réduction du nombre d'accidents suite à la mise en œuvre de la mesure. Les principales sources d'information pour le constat de cet impact sur la sécurité sont des études de type avant/après (Hauer, 1997). Cependant, du fait de la nature fort diversifiée des investissements de sécurité routière et des limites des études empiriques, on fait aussi appel à d'autres méthodes pour quantifier l'impact sur la sécurité. Celles-ci fournissent des valeurs essentiellement théoriques de ces impacts basées sur leur corrélation aux facteurs de risque.

Pour être plus précis, il existe un certain nombre de facteurs cachés qui ont une influence sur le nombre d'accidents de la route et de morts et, par conséquent qui doivent être pris en compte dans les estimations de l'impact réel sur la sécurité d'une mesure. Ces facteurs sont (Hauer, 1997) :

- **Biais de sélection** : les accidents de la route ont un comportement aléatoire, pour lequel il est possible de faire des hypothèses en termes de répartition de la fréquence (par ex. Poisson). Donc, à certains moments, la valeur mesurée en un point donné du réseau peut être supérieure (ou inférieure) à la valeur moyenne escomptée pour ce point. Si, du fait de ces mesures, on décide d'intervenir sur ce point, le choix sera biaisé (biais de sélection) tant et si bien que les mesures faites après la mise en œuvre de la mesure montreront une réduction du nombre de collisions (phénomène aussi appelé "régression vers la moyenne"), indépendamment du traitement mis en œuvre.
- **Environnement non contrôlé** : les accidents de la route ont lieu dans un environnement qui, contrairement à celui du laboratoire, n'est pas contrôlé. Donc pour certains types d'accidents, on peut observer une évolution à moyen-long terme du fait de nouveaux équipements de sécurité des véhicules ou d'un changement des habitudes des automobilistes. Par conséquent, lorsque l'on observe une évolution globale à la baisse du nombre d'accidents au cours des douze mois précédents, la même réduction, suite à la mise en œuvre d'une mesure de sécurité, aurait certainement été constatée de toute façon.
- **Autres facteurs externes** : ils peuvent eux aussi avoir une incidence sur le nombre d'accidents enregistrés après la mise en œuvre d'une mesure; par exemple, une réduction ou une augmentation du flux de circulation peut modifier le nombre d'accidents indépendamment des mesures adoptées.

Pour quantifier correctement les effets d'une mesure, une simple étude du type avant/après n'est donc pas suffisante, car il faut comparer la situation post-mesure (**après**) avec la situation qui aurait prévalu sans cette mesure. Cette dernière situation étant une valeur corrigée de la situation observée antérieurement (**avant**).

Déterminer ce qui se serait passé sur un site sans la mesure en question est une des phases critiques du processus qui s'effectue en deux temps : premièrement, il faut déterminer la valeur correcte de «l'avant-mesure», et donc tenir compte du biais de sélection et ensuite, il faut déterminer la valeur correcte de «l'après» sans application de la mesure en question en tenant compte des aspects non contrôlés de l'environnement.

La méthode empirique de Bayes est un instrument efficace pour la première étape. Une correction de l'impact sur la sécurité avant la mise en œuvre de la mesure est effectuée grâce à des statistiques provenant d'un groupe de référence, et ce, pour chaque site concerné par la mesure de sécurité routière en question. On pourra trouver une description détaillée de ces techniques dans ROSEBUD (2004)

Quant à la deuxième étape (valeur corrigée des effets sans la mesure), on peut envisager deux approches de base (ROSEBUD, 2004, Yannis et al, 2005) :

- Recours à un **groupe de comparaison**, en partant de l'hypothèse que l'évolution de l'impact sur la sécurité dans ce groupe de référence est une bonne indication des évolutions qui auraient eu lieu sur le site concerné en l'absence de la mesure en question. On procède à l'évaluation des effets de cette mesure au moyen du rapport des cotes, pour lequel on applique à la période correspondant à «avant» les chiffres correspondant à l'effet corrigé (obtenus lors de la première étape d'évaluation).

Dans ce cas, l'impact sur la sécurité est estimé comme suit :

$$\text{Effet estimé } (\theta_i) = [X_a/X_m]/[C_a/C_b]$$

où

X_a - est le nombre d'accidents de la route constatés sur le site après l'application de la mesure de sécurité routière

X_m - est le nombre d'accidents de la route constatés sur le site avant l'application de la mesure de sécurité routière

C_a - est le nombre d'accidents de la route constatés sur le site du groupe de référence dans la période qui correspond à «l'après»

C_b - est le nombre d'accidents de la route constatés sur le site du groupe de référence dans la période qui correspond à «l'avant»

La pondération statistique de cette estimation est donc :

$$w_i = \frac{1}{\frac{1}{A^i} + \frac{1}{B^i} + \frac{1}{C^i} + \frac{1}{D^i}}$$

Où A, B, C, D sont les quatre valeurs du calcul du rapport des cotes. L'effet moyen pondéré est :

$$\text{Weighted mean effect (WME)} = \exp\left(\frac{\sum_i w_i \ln(\theta_i)}{\sum_i w_i}\right)$$

Avec un intervalle de confiance de 95% pour un effet pondéré estimé comme suit :

$$\text{WME} \exp \frac{Z_{\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{\sum_i w_i}}, \text{WME} \exp \frac{Z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{\sum_i w_i}}$$

La valeur applicable de l'impact sur la sécurité, c'est-à-dire la meilleure estimation de la réduction du nombre d'accidents associée à une mesure (en pourcentage), est égale à $(1 - \text{WME}) \times 100$.

- Grâce à des **modèles multi-variables** qui estiment le nombre d'effets escomptés en fonction d'un certain nombre de paramètres physiques et de paramètres relatifs à la circulation pour le site considéré et en fonction de tendances générales. La technique des modèles linéaires généralisés (MLG), avec une distribution de Poisson ou une distribution binomiale négative pour la fréquence des effets étudiés, est, de nos jours, la technique la plus utilisée et il existe plusieurs méthodes permettant de créer ces modèles.

Soulignons qu'un effet d'une mesure sur la sécurité est considéré comme existant si les estimations tant de la valeur moyenne, que de l'intervalle de confiance de cet effet sont connues.

Il faut aussi s'assurer que le type d'investissement et le type d'unités pour lesquels des estimations sont disponibles, correspondent à ceux pour lesquels on est en train d'évaluer la rentabilité et le rapport coût-bénéfice.

Dans la pratique, il n'est pas toujours nécessaire de procéder à une correction du fait du biais de sélection. Par exemple, une correction n'est pas nécessaire lorsqu'un nombre important de sites sont traités et lorsqu'on les choisit sans se soucier de leurs antécédents en termes d'accidents (ROSEBUD, 2004).

En l'absence de valeurs locales pour un investissement de sécurité routière donné (ce qui peut être le cas lors d'évaluations ex-ante), on a souvent recours à une synthèse des expériences internationales en la matière.

Enfin, notons qu'un **effet en termes de sécurité peut être «positif» ou «négatif»** en fonction de l'effet que l'on étudie. Par exemple, dans le cadre d'une analyse visant à estimer le taux de réduction du nombre d'accidents, un taux positif indique une réduction du nombre d'accidents alors qu'un taux négatif indique une augmentation. A contrario, lorsque l'on estime la variation du pourcentage du nombre d'accidents, un pourcentage négatif correspond à une diminution du nombre d'accidents et un pourcentage positif à une augmentation.

2.3.3 Calcul des coûts

2.3.3.1 Coûts relatifs aux accidents

Les calculs des coûts relatifs aux accidents comprennent trois grands éléments de coût (Alfaro et al, 1994, Yannis et al. 2005) :

- **coûts liés aux dégâts matériels**
- **coûts généraux**, y compris frais administratifs (police, pompiers, SAMU et frais de transport, frais des assurances, frais de justice, frais des traitements hospitaliers et de rééducation) et les coûts liés à la perte de productivité (perte de production)
- **coûts humains**, basés sur la valeur statistique d'une vie et sur la perte de qualité de vie.

La part de chacun de ces éléments varie d'un pays à l'autre et dépend de s'il y a eu mort d'homme et de la gravité des blessures. Surtout pour les coûts humains, les comparaisons internationales sont empreintes d'incertitudes. La plupart des pays ont calculé leurs propres valeurs officielles pour la valeur statistique d'une vie humaine qui correspond directement au coût d'un accident mortel. Toutefois, des méthodes différentes sont utilisées et celles-ci se répartissent en deux grands groupes (ROSEBUD, 2004) :

- les approches comportementales basées sur la technique du **consentement à payer**. Il s'agit d'une technique qui détermine par sondage les valeurs en fonction de ce que les personnes interrogées sont prêtes à payer pour réduire le risque de douleur et souffrance causées par les dégâts et les morts provoqués par les accidents, au-delà des frais médicaux et du manque à gagner professionnel.
- les approches non-comportementales, dans le cadre desquelles les valeurs sont normalement prises (directement) des prix du marché et des comptes publics, sans se préoccuper de la valeur qu'attache la personne concernée à la perte de sa qualité de vie.

Le tableau 2.1 ci-dessous récapitule un ensemble de valeurs nationales relatives au coût de la vie humaine, telles que présentées par ROSEBUD (2004).

Tableau 2.1. Valeurs nationales officielles du coût de la vie humaine (x1000 €, prix de 2002)

Country	Fatality cost	Serious injury cost	Slight injury cost	Valuation method
Czech Rep.	263	91	10	Non-behavioural
Hungary	276	25	3	Non-behavioural
Germany	1,257	86	4	Non-behavioural
France	1,500	150	22	N/A
Netherlands	1,741	256	38	Behavioural
Finland	1,934	261	50	Behavioural
Switzerland	1,912	169	18	Behavioural
Sweden	1,954	349	20	Behavioural
UK	2,107	237	18	Behavioural
Norway	3,016	474	41	Behavioural

L'analyse détaillée des caractéristiques, avantages et limites de chaque approche sort du cadre du présent rapport. Cependant, on notera que le projet UNITE (Nellthorp et al, 2001) propose un ensemble de valeurs recommandées pour le coût d'une vie humaine (cf. tableau 2.2 ci-dessous).

Tableau 2.2. Valeurs nationales officielles du coût de la vie humaine (en millier €, prix de 2002)

Valeur statistique d'une vie (UNITE 2001, en millier d'€, prix de 1998)		
UE-15	Officielle	Recommandée
Belgique	0,40	1,67
Danemark	0,52	1,79
Allemagne	0,87	1,62
Grèce	n.d.	1,00
Espagne	0,70	1,21
France	0,62	1,49
Irlande	1,04	1,63
Italie	n.d.	1,51
Luxembourg	n.d.	2,64
Pays-Bas	0,12	1,70
Autriche	1,52	1,68
Portugal	0,04	1,12
Finlande	0,89	1,54
Suède	1,48	1,53
Royaume-Uni	1,53	1,52

Au niveau de l'Union européenne, on se sert encore de la règle du «1 Million d'euros» pour attacher une valeur à la prévention des accidents mortels. Cette règle avait été introduite par la Commission européenne dans son programme de sécurité routière 1997-2001 pour faciliter le choix de mesures de sécurité routière efficaces (Commission européenne, 1997) et indique qu'une mesure de sécurité routière peut être envisagée lorsque au moins une vie peut être sauvée pour chaque million d'euros investi. Pour déterminer ce montant, le préjudice financier d'un accident mortel ainsi qu'une partie du préjudice résultant des blessures (graves) et des accidents uniquement matériels sont pris en compte et ce, car, en moyenne, pour tout accident mortel évité, un certain nombre d'accidents corporels et un nombre encore plus élevé d'accidents matériels sont aussi évités (Wesemann, 2000).

Basée sur une étude de Blaeij et al. (2004) et un article de Tecl et Konarek (2006), la figure 2.1 présente l'estimation financière officielle de la prévention des accidents mortels dans plusieurs pays.

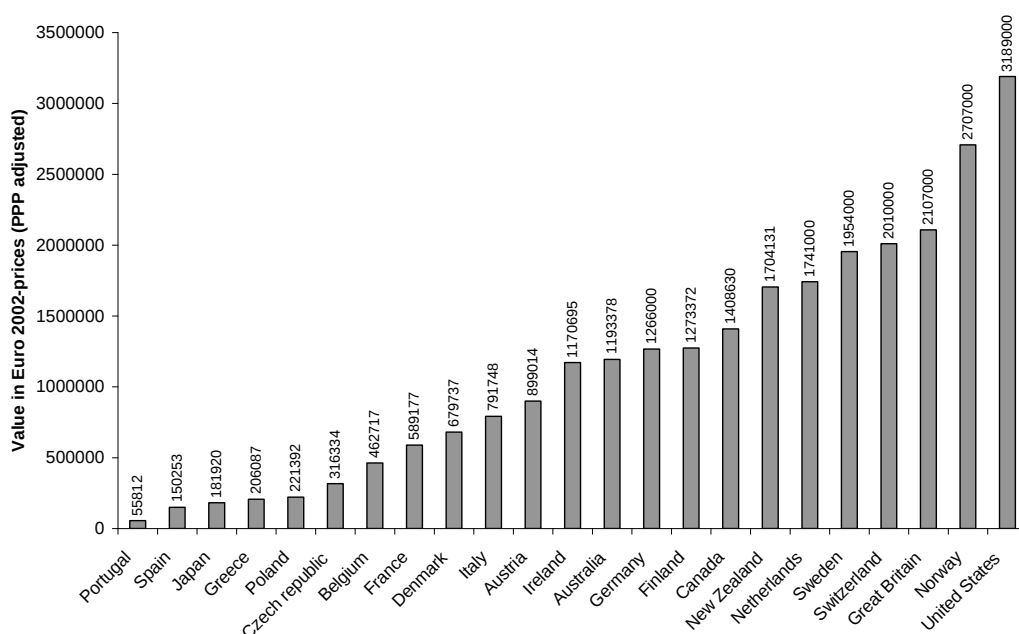


Figure 2.1. Valeurs économiques officielles des accidents mortels dans certains pays - en Euros en prix de 2002

Comme on le constate sur ce diagramme, ces valeurs varient énormément d'un pays à l'autre. Il est intéressant de noter que les pays qui ont un bon niveau de sécurité, tels que la Norvège, la Grande-Bretagne, la Suède et les Pays-Bas, sont ceux qui attribuent une valeur économique élevée à la prévention des accidents mortels, alors que des pays moins performants sur le plan de la sécurité routière, tels que le Portugal, l'Espagne et la Grèce, attribuent une valeur faible à la prévention de ces accidents. Or, on sait qu'en règle générale, les valeurs relatives aux coûts humains dépendent de deux grands facteurs : premièrement, la méthode utilisée pour le calcul des estimations, puisque les valeurs obtenues par la méthode du consentement à payer sont quasiment deux fois plus élevées que celles calculées par d'autres méthodes et deuxièmement, le niveau de revenu réel d'un pays car, en général, on constate des valeurs plus faibles dans les pays qui disposent d'un produit intérieur brut par habitant relativement bas, alors qu'on observe des valeurs plus élevées dans les pays plus riches.

Par ailleurs, le projet TEN-STAC propose, pour les blessures graves et les blessures légères, des pourcentages fixes de la valeur statistique d'une vie humaine, en l'occurrence 13% et 1% respectivement (TEN-STAC, 2003, cité par Gaudry, 2004).

2.3.3.2. Coûts de mise en œuvre

Pour pouvoir calculer les coûts de mise en œuvre d'un investissement de sécurité routière donné, il faut d'abord définir adéquatement les **unités de mise en œuvre** qui correspondent à cet investissement, et estimer les coûts de la mise en œuvre d'une unité ainsi définie. Dans le cas des investissements portant sur des infrastructures, l'unité est souvent le kilomètre de route ou bien l'intersection. Dans le cas d'investissements plus généraux ou portant sur l'ensemble d'une zone, l'unité peut être un type de zone ou une catégorie de route etc. (ROSEBUD, 2004).

Les **coûts de mise en œuvre** comprennent les coûts sociaux relatifs à tous les moyens de production (main d'œuvre et capital) utilisés pour la mise en œuvre de l'investissement et ceux-ci sont généralement estimés individuellement pour chaque projet d'investissement. Comme il n'existe aucune règle fixe dans ce domaine, lors de nos analyses coût-bénéfice, tous les éléments des coûts de mise en œuvre seront mis en exergues et explicités. Il est d'ailleurs souhaitable, pour les analyses coût-bénéfice, d'utiliser les coûts normaux des mesures d'ingénierie recommandés dans chaque pays. Les coûts de mise en œuvre doivent aussi être convertis dans leur valeur actuelle, et ceci s'applique tant aux coûts d'investissement qu'aux coûts annuels d'exploitation et d'entretien.

Outre l'impact sur le nombre d'accidents, tous les autres effets des investissements d'infrastructure visant la sécurité routière doivent aussi être identifiés et évalués en termes économiques, puis être pris en compte lors de l'analyse coût-bénéfice. Ces impacts portent normalement sur les temps de trajet, le coût d'exploitation des véhicules, la pollution de l'air, les nuisances sonores et le confort des automobilistes pendant les déplacements.

3 APERÇU DES INVESTISSEMENTS DE SÉCURITÉ ROUTIÈRE

Au chapitre précédent, nous avons expliqué qu'il est nécessaire de quantifier l'efficacité des investissements en matière de sécurité routière et d'intégrer ces résultats aux plans et stratégies nationaux de sécurité routière. Au cours des dernières années, des efforts importants ont été déployés pour évaluer quantitativement l'efficacité des investissements de sécurité routière et pour faire la synthèse de ces évaluations. Pourtant, dans certains cas, peu de résultats et d'informations sont disponibles. Ceci s'explique, en partie, par la complexité générale des évaluations de l'efficacité, et, en partie, par une carence de données.

Dans le présent chapitre, les conclusions d'une **analyse exhaustive des résultats et questions liées à l'évaluation de l'efficacité des investissements en infrastructures pour améliorer la sécurité routière** sont présentées. Cette analyse décrit les principaux investissements pour la sécurité routière et fait la synthèse des conclusions tirées de la recherche dans les domaines suivants : effets sur la sécurité, autres effets et évaluation de la rentabilité. Notons que, lorsque cela était possible, le rapport coût-bénéfice a aussi été analysé.

Outre le critère de disponibilité dans la littérature internationale, les critères retenus pour la sélection des investissements analysés sont les suivants :

- investissements portant essentiellement sur les infrastructures routières,
- investissements courants dans les pays de l'UE et fréquemment mis en œuvre,
- équilibre entre investissements de tailles, coûts et échelles de mise en œuvre différents,
- investissements détaillés et précis. Une description détaillée des principales composantes pour l'évaluation de l'efficacité de l'investissement en question doit être disponible,
- les investissements pour lesquels il était impossible ou très difficile d'obtenir des informations adéquates n'ont pas été retenus, même si certains avaient été mis en œuvre et parfois même évalués,
- les investissements couverts par des rapports antérieurs de la CEDR et par le questionnaire 2 du groupe O7 ont été analysés. Dans la mesure du possible, les travaux antérieurs de la CEDR ont été utilisés dans le cadre de la présente synthèse.

Les investissements retenus se classent en **cinq grandes catégories** : général, autoroutes, routes en milieu rural, intersections et zones urbaines. La liste complète des catégories et domaines d'investissements est présentée ci-dessous (les investissements spécifiques, dans chaque domaine, sont entre parenthèses) :

3.1 Général :

- évaluations de l'impact sur la sécurité routière
- audits de sécurité routière
- gestion de la sécurité des réseaux
- contrôles de sécurité

3.2 Autoroutes :

- construction d'autoroutes
- construction d'échangeurs

3.3 Routes en milieu rural :

- traitement de la courbure horizontale (augmentation du rayon de courbure, introduction de courbes de transition, réduction de la fréquence des courbes, surélévation)
- traitement de la courbure verticale (réduction de la déclivité, réduction de la fréquence des courbes verticales, amélioration de la distance de visibilité)
- traitement transversal (augmentation du nombre de voies, élargissement des voies, introduction d'un accotement, élargissement de l'accotement, introduction d'un terre-plein central, élargissement du terre-plein central, aménagement de routes de type 2+1)
- traitement des abords (aplanissement des talus, établissement de zones de sécurité, installation de glissières, remplacement des glissières de sécurité par des glissières conformes à la norme EN1317)
- limitation de la vitesse (limitation de la vitesse dans une zone jusqu'à sans limitation, abaissement de la vitesse autorisée, créations de zones de transition)
- régulation de la circulation et éléments opérationnels (signalisation d'obligation, de dangers et de direction), installation de délinéateurs et de marquage au sol, dispositifs de marquage routier en relief, balises à chevrons, délinéateurs montés sur support, ralentisseurs sonores continus)
- systèmes d'Éclairage (orientation, PMV infos météo, PMV infos encombrements, PMV infos spécifiques, systèmes d'amélioration de la visibilité)
- traitement de la chaussée (réfection ordinaire de la chaussée, amélioration de la planéité de la chaussée, amélioration de l'adhérence de la chaussée, amélioration de la brillance)
- éclairage (installation d'éclairage artificiel, amélioration de l'éclairage existant)
- aménagement de passages à niveau (introduction de passages dénivelés, protection des passages à niveau)

3.4 Intersections :

- création de ronds-points
- aménagement des intersections (carrefours avec canalisation de la circulation, intersections en baïonnette, réalignement des intersections)
- régulation de la circulation aux intersections (installation de panneaux de priorité, installation de panneaux STOP, installation de feux tricolores, modernisation des feux tricolores existants)

3.5 Zones urbaines :

- plans de modération du trafic
- construction de routes de contournement
- modernisation des plans d'occupation des sols

Notons que le classement des investissements de sécurité routière proposé ci-dessus n'est pas inscrit dans la pierre ; au contraire, certains de ces investissements peuvent appartenir à plusieurs domaines. Par exemple, le marquage routier et la signalisation peuvent être utilisés tant aux intersections que sur les routes en milieu rural. Mais ces investissements courants ont été classés en fonction de leur principal domaine de mise en œuvre. Pour chacun des domaines d'investissement cités ci-dessus, la présentation comprend les éléments suivants :

- description de l'investissement
- impact de l'investissement sur la sécurité
- autres effets
- coûts
- résultats de l'analyse coût-bénéfice

De plus, dans chaque cas, les questions de méthodologie de calcul de la rentabilité sont aussi mises en exergue. Enfin, des données chiffrées concernant les effets en termes de sécurité et concernant les ratios coût-bénéfice sont fournies lorsqu'elles étaient disponibles et leur fiabilité est analysée.

3.1 Général

Les infrastructures et le tracé de la route jouent un rôle dans environ un accident sur trois (Sabey et Taylor, 1980). Pourtant, la tendance générale concernant les budgets nationaux alloués aux infrastructures routières est à la baisse. De nombreuses autorités routières se trouvent face à un dilemme car elles doivent fournir à des usagers de la route de plus en plus exigeants sur la qualité et le niveau de sécurité, des infrastructures conformes aux normes de sécurité les plus modernes et ce, avec des budgets limités et en baisse. Pour augmenter la sécurité des infrastructures routières, une directive communautaire, visant la mise en place d'un système exhaustif de gestion de la sécurité des équipements et infrastructures routières, a été proposée. Cette proposition de directive porte sur les quatre procédures générales suivantes:

- (1) **Evaluations d'impact sur la sécurité routière**
- (2) **Audits de sécurité routière**
- (3) **Gestion de la sécurité des réseaux**
- (4) **Contrôles de la sécurité**

La mise en place de procédures appropriées est essentielle pour améliorer la sécurité des infrastructures routières sur un réseau puisqu'elle limite explicitement les critères à un ensemble d'éléments de base qui permettent de garantir un impact sur la sécurité et qui ont fait leurs preuves en termes d'efficacité.

L'objectif de la directive proposée est de garantir que les questions de sécurité seront prises en compte à tous les stades de la planification, de la conception et de l'exploitation des infrastructures routières, en mettant l'accent sur le réseau trans-européen (RTE-T), mais aussi qu'elle sera considérée comme un aspect à part entière en parallèle des analyses économiques et environnementales. De plus, cette directive vise à garantir que les autorités chargées de l'équipement connaissent les lignes directrices, formations et informations pertinentes permettant d'améliorer la sécurité sur le réseau routier et ce, dans l'intérêt des usagers.

Ces procédures, que l'on peut considérer comme des mesures d'ordre général visant à améliorer la sécurité des infrastructures routières, existent déjà et sont utilisées à des degrés divers dans certains Etats membres. Mais le but de cette directive est d'étendre ces mesures à l'ensemble de l'Union européenne, et surtout au réseau trans-européen (RTE-T), sans avoir à définir de normes ou de critères techniques, mais en laissant aux Etats membres la liberté de garder leurs procédures existantes ou de créer leurs propres procédures. L'application de cet ensemble exhaustif de mesures garantira l'inclusion et l'analyse des questions de sécurité tout au long du cycle de vie d'une route, de sa planification à son exploitation (Commission européenne, 2006). Les mêmes procédures peuvent s'appliquer à tous les types de réseaux routiers à des niveaux différents, en fonction du type d'infrastructure considéré.

3.1.1 Evaluation de l'impact sur la sécurité routière

Description : Les procédures d'approbation pour la construction de nouvelles routes ou la réfection de routes existantes tiennent compte des données économiques, de l'impact sur l'environnement et sur la circulation, mais tiennent rarement compte des répercussions du projet sur la sécurité. L'analyse de l'impact sur la sécurité routière est une **analyse comparative stratégique** de l'impact d'une nouvelle route ou d'une modification importante d'un réseau existant sur le niveau de sécurité de l'ensemble du réseau routier. Ces analyses doivent mettre en évidence, à un niveau stratégique, les répercussions sur la sécurité routière des différentes alternatives à un projet d'infrastructure, avant que celui-ci ne soit approuvé. Par conséquent, les évaluations d'impact sur la sécurité routière ont lieu très tôt dans le processus de planification, ce qui permet de tenir compte de leurs résultats pendant le reste du processus, comme par exemple pendant les évaluations de l'impact sur l'environnement. De plus, elles doivent porter sur toutes les mesures de la politique des transports ayant un impact sur la sécurité, comme par exemple les investissements d'infrastructure, la normalisation, la tarification etc.

Les principaux éléments étudiés dans le cadre de ces évaluations d'impact sont : la définition (claire) du problème, l'état des lieux actuel et l'évolution de la situation si l'on ne fait rien. Par la suite, elle doit définir les objectifs en termes de sécurité routière, considérer les analyses d'impact des alternatives proposées (y compris l'analyse coût-bénéfice) et les comparer. A partir des résultats de cette étude comparative, la meilleure solution est identifiée. Dans le cadre d'une évaluation d'impact sur la sécurité routière, on examine aussi les objectifs de réduction du nombre de morts et d'accidents comparés à une situation d'immobilisme. On tient aussi compte des choix d'itinéraires, des habitudes de circulation et de la présence d'intersections avec le réseau existant (sorties, carrefours, passages à niveau). L'impact sur les usagers vulnérables (piétons, cyclistes et motocyclistes) est soigneusement mesuré et les flux de circulation (nombre de véhicules par catégorie) sont étudiés.

Autres effets et coûts : Puisque l'évaluation d'impact sur la sécurité routière est produite en parallèle de la procédure d'approbation et du processus de conception de la route, elle ne retarde pas les procédures d'approbation. Pour estimer plus ou moins les coûts associés à cette évaluation, on peut se baser sur les coûts des analyses d'impact sur l'environnement qui sont du même ordre. En général, pour un projet de construction, une évaluation d'impact coûte moins de 0,5% de l'investissement total, et atteint rarement plus de 1%. Pour les projets d'investissement qui dépassent les 100 millions €, le coût des évaluations d'impact peut n'atteindre que 0,2% du coût total du projet.

3.1.2 Audits de sécurité routière

Description

Les audits de sécurité routière reposent sur une série de réglementations et lignes directrices généralement élaborées par les autorités routières nationales. Ces réglementations visent essentiellement la conception des routes, la régulation du trafic et l'entretien et ont pour objectif de garantir un niveau élevé de sécurité routière. Elles doivent détecter et corriger les carences dans ces domaines (Elvik, Vaa, 2004), mais doivent aussi garantir que les mesures permettant d'éliminer ou de réduire les problèmes de sécurité seront examinées de manière exhaustive (Austroads, 2002).

Les audits de sécurité routière peuvent comprendre de nombreuses actions qui sont généralement formulées sous forme de grilles d'inspection et visent à étudier un éventail important de questions allant des plans de conception et de construction aux installations routières et de régulation du trafic spécifiques. Les travaux antérieurs de la CEDR (2006), démontrent que les audits de sécurité routière représentent une mesure de sécurité routière couramment appliquée puisque 58% des Etats membre de la CEDR y ont recours. Seulement huit des pays qui ne disposent pas aujourd'hui d'un programme d'ASR n'ont pas l'intention d'en introduire un à l'avenir et, en général, cette question est une priorité majeure pour 23% des pays, une priorité intermédiaire pour 43% des pays et une priorité mineure pour les autres.

Impact sur la sécurité

Il existe très peu d'études sur l'impact en termes de sécurité des audits de sécurité routière. Les études portent surtout sur des actions spécifiques démarrées à la suite d'audits sur certains réseaux routiers et considèrent la réduction du nombre d'accidents comme le principal effet en termes de sécurité, en dépit du fait que la mise en œuvre d'un audit de sécurité routière puisse présenter d'autres avantages. La plupart des cas concernent des interventions visant à améliorer la conformité à des lignes directrices. En général, on réussit à identifier les effets positifs des actions entreprises, mais dans la plupart des études, les résultats ne sont pas validés statistiquement.

ROSEBUD (2006) note que les effets des audits de sécurité routière dépendent de la bonne mise en œuvre des recommandations faites par les auditeurs.

Autres effets

Les audits de sécurité routière ne semblent avoir aucun effet identifiable sur la mobilité ou l'environnement. Toutefois, on pourrait considérer que la réduction des coûts sur l'ensemble de la vie d'un projet, l'amélioration des aspects techniques de la sécurité routière, un besoin moins important de mesures correctives après la construction de nouveaux éléments et l'amélioration de la sécurité des normes et procédures sont autant d'avantages découlant de la mise en œuvre d'audits de sécurité routière (Austroads, 2002).

Coûts

Les coûts associés aux audits de sécurité routière tombent dans deux grandes catégories : le coût de l'audit proprement dit et le coût des actions qui en résultent. Le premier dépend de l'allocation de ressources au niveau national et du type d'audit. Dans la mesure où il concerne surtout la phase de conception, il est plutôt faible. Le second peut varier considérablement en fonction des mesures préconisées (portant sur l'infrastructure ou sur la régulation du trafic) et peut se décomposer en coûts de modification de la conception et augmentation éventuelle des coûts du projet du fait d'activités supplémentaires de conception ou de retards en résultant. Le réseau thématique RiPCORD-iSEREST a enquêté sur les estimations de coût des audits auprès des pays qui procèdent déjà à des audits. Les résultats de cette enquête démontrent que dans ces pays européens, les coûts associés aux audits vont de 600 à 6 000 € par étape. En général, dans ces pays, les estimations indiquent que les coûts d'audit sont bien inférieurs à 1% du coût total du projet (RiPCORD – iSEREST, 2007).

Exemples d'analyse coût-bénéfice (ACB) : Nous disposons d'un exemple d'évaluation globale d'un cadre d'audits ayant été publiée (Jørgensen and Nilsson, 1995) et qui concerne le Danemark, où une série d'audits de sécurité routière et les interventions qui en ont résulté se sont avérés très fructueux tant en termes de retour sur investissement la première année qu'en termes de durée de vie des traitements. En 1998, le *Surrey County Council* a comparé les statistiques concernant les accidents de la route 'avant' et 'après' pour un échantillon de 19 programmes ayant fait l'objet d'un audit, avec les données concernant 19 programmes n'ayant pas été soumis à un audit. Ils ont conclu que les programmes ayant été soumis à un audit avaient atteint un taux annuel moyen de réduction des accidents de 1,25 alors que les programmes non audités n'avaient atteint qu'un taux de 0,26 (Surrey County Council, 1998). Qui plus est, le *Transport Research Laboratory* (laboratoire de recherche sur les transports) a mené une étude pour le compte de l'autorité routière britannique, la *Highways Agency*, (Wells, 1999), comparant les coûts de mise en œuvre de recommandations d'audits de sécurité au stade de la conception d'un projet, à ceux de l'introduction de changements après la construction du projet. De fait, cette étude a examiné les inconvénients qui peuvent éventuellement découler du fait de ne pas avoir procédé à un audit de sécurité routière, et a révélé qu'en moyenne la mise en œuvre de modifications à l'étape de la conception plutôt qu'après la construction permet d'économiser 11 373 £.

D'autres études portant sur des types particuliers d'interventions suite à des audits de sécurité routière donnent aussi des résultats positifs. Une évaluation comparative d'études portant sur l'efficacité des audits de sécurité routière a démontré que le rapport bénéfice-coût s'échelonne en moyenne de 10:1 à 20:1 (ETSC, 1997), et ce même ratio concernant la mise en œuvre d'audits de sécurité routière en Allemagne s'échelonne de 4:1 à 99:1 (BASt, 2002). Enfin, des résultats provenant du Danemark (Herrstedt, 2000) révèlent une rentabilité moins satisfaisante avec un ratio d'environ 1,5:1. L'efficacité des audits de sécurité routière est une «efficacité dérivée» qui dépend de l'efficacité de la mise en œuvre des mesures préconisées.

3.1.3 Gestion de la sécurité du réseau

La gestion de la sécurité du réseau est une pratique assez récente, basée sur une analyse du réseau routier existant afin d'identifier les tronçons ayant la plus forte densité d'accidents ainsi que les mesures de sécurité routière présentant le meilleur potentiel de réduction des accidents. En d'autres termes, il s'agit de cibler les parties du réseau où les accidents ont été les plus fréquents au cours des dernières années et où le potentiel de réduction des coûts liés aux accidents est le plus fort et d'y appliquer des mesures correctives. Selon une étude antérieure de la CEDR (2006), la majorité de ses pays membres (69%) gère activement les sites les plus dangereux depuis déjà un certain temps. Par exemple, le Royaume-Uni a recours à cette mesure depuis les années 60 et, dans la plupart des pays, c'est la direction des routes qui est chargée de la gestion de la sécurité des réseaux. Cette mesure est une priorité importante pour environ deux tiers des pays et son financement varie d'un pays à l'autre, mais est généralement fonction du budget national alloué aux routes (CEDR, 2006). Il est important d'identifier les tronçons à haut risque pour bien cibler les actions sur les routes où a lieu (effectivement ou potentiellement) le plus grand nombre d'accidents mortels ou graves. L'impact sur la sécurité devrait être à son maximum au cours des premières années d'un programme de gestion des sites dangereux. C'est pourquoi les autorités chargées des infrastructures doivent mobiliser les ressources critiques (humaines, compétences, financières) afin de réduire de façon substantielle et rapide le nombre d'accidents graves et mortels. L'identification des tronçons dangereux tient au moins compte du nombre d'accidents graves ou mortels ayant eu lieu au cours des dernières années par unité de longueur de route et, dans le cas des intersections, du nombre de ces accidents par intersection. Une fois que les tronçons dangereux et les points noirs sont pris en charge, la qualité de la sécurité sur l'ensemble du réseau s'améliore. Ces évaluations vont de la simple identification et traitement des schémas d'accidents sur un site ou un point noir donné à la compréhension et la gestion de la sécurité sur toutes les routes.

1. L'identification de tronçons devant être analysés de façon plus poussée est un autre élément important de la gestion de la sécurité des réseaux. Cette analyse supplémentaire peut comprendre le calcul des coûts de base relatifs aux accidents pour un tronçon modèle dans une catégorie donnée (en coût au kilomètre) ou pour chaque tronçon d'une catégorie de route, et le calcul du potentiel de réduction des coûts liés aux accidents (au kilomètre), c'est-à-dire la différence entre le coût réel d'un accident au kilomètre sur le tronçon considéré et le coût de base.

La gestion de la sécurité du réseau étant un processus permanent qui se déroule pendant toute la durée de l'exploitation d'une route, les coordonnées du tronçon étudié devraient être enregistrées et être accompagnées des références de tout rapport antérieur concernant ce même tronçon. De plus, il faut procéder à une analyse des rapports d'accidents et tenir compte du nombre d'accidents mortels et du nombre d'accidents graves au cours des trois années qui précèdent.

La série de mesures correctives proposée peut se décomposer en mesures à court terme et mesures à long terme en fonction du temps qu'il faut pour les mettre en œuvre et des avantages que l'on espère en tirer. Par exemple, les mesures correctives pouvant être mises en œuvre en un an peuvent concerner le retrait ou la protection d'obstacles fixes en bordure de route, la redéfinition des limites de vitesse et l'intensification des contrôles localement, l'amélioration de la visibilité par tous les temps et dans différentes conditions de luminosité, l'amélioration de la lisibilité et du positionnement des marquages (y compris la pose de ralentisseurs sonores continus), des panneaux de signalisation et des feux et les interventions concernant l'adhérence de la chaussée.

Les mesures correctives à long terme nécessitant plus d'une année pour leur mise en œuvre concernent par exemple la modification des systèmes routiers de retenue, l'amélioration de la protection centrale, l'amélioration des intersections, y compris des passages à niveau, les modifications apportées aux caractéristiques géométriques de la route telles que son tracé, sa largeur (ajout d'un accotement), l'installation de systèmes de gestion et de régulation de la circulation, l'analyse de conflits potentiels avec des usagers vulnérables, la mise à niveau de la route pour la rendre conforme aux normes en vigueur et la réfection ou le remplacement du revêtement de la chaussée.

Un programme efficace de gestion de la sécurité du réseau se fonde essentiellement sur les données concernant les accidents et sur les inspections et, généralement, est porteur d'un fort potentiel immédiatement après sa mise en œuvre. On peut considérer que ses coûts opérationnels sont comparables à ceux des inspections de routine de la sécurité routière, mais ils varient d'un pays à l'autre en fonction de la portée de sa mise en œuvre. En Allemagne, on tente d'améliorer la sécurité du réseau routier dans les régions qui semblent avoir une fréquence élevée d'accidents graves. Ce travail se base sur les lignes directrices allemandes concernant les analyses de la sécurité des réseaux routiers. Les accidents au kilomètre de route sont convertis en pertes économiques afin d'obtenir des indications sur les économies qui auraient été réalisées si la route concernée avait été construite conformément aux normes nationales de conception. En Finlande la gestion de la sécurité du réseau consiste en un suivi de tronçons d'une certaine longueur (généralement 20-50 km), qui sont classés en fonction de leur densité d'accidents mortels (c.-à-d. morts/100 km/an). Des Investissements sont consentis pour améliorer la sécurité des routes en fonction de cette densité. Au Royaume-Uni, la *Highways Agency* a introduit une stratégie de sécurité routière dont l'objectif est de gérer la sécurité du réseau principal et elle a élaboré des documents à cet effet tels qu'un manuel d'exploitation. L'efficacité de la gestion de la sécurité du réseau est fonction de la disponibilité de données pertinentes concernant les accidents, du degré de compréhension des diverses composantes du réseau (pas seulement des tronçons dangereux) et d'une planification systématique. Les priorités doivent viser à encourager les automobilistes à emprunter les routes appropriées avec une vitesse appropriée.

3.1.3.1 Prise en charge des points dangereux (points noirs)

Description

La prise en charge des points dangereux (points noirs) est un élément très important de la gestion de la sécurité du réseau dans son ensemble, car les accidents ont tendance à se produire souvent au même endroit. Une concentration d'accidents en un point spécifique peut être due à un mauvais tracé de la route ou à une mauvaise régulation du trafic en ce point. Dans ce cas, on peut éviter cette accumulation d'accidents ou l'atténuer en améliorant le tracé de la route ou la régulation du trafic (Elvik, Vaa, 2004). La majorité des points dangereux sont situés à une intersection ou proche d'une intersection.

La définition du point dangereux peut varier d'un pays à l'autre et d'une analyse à l'autre. Par exemple, dans certains cas, les points dangereux sont définis comme étant des tronçons de route d'une longueur maximale de 100 mètres, alors que dans d'autres cas les points noirs peuvent atteindre une longueur de 1 kilomètre.

Les méthodes d'identification des points dangereux varient, elles aussi, considérablement. Dans certains cas, elles sont fonction de la fréquence des accidents. Or, il vaut mieux avoir recours aux taux relatifs d'accidents (par exemple, accidents par million de véhicules-kilomètres), qui tiennent compte du degré de fréquentation de la route en question.

La prise en charge des points dangereux peut se faire à l'échelon national, régional (axe ou municipalité) ou local (en un point spécifique) et peut porter sur diverses mesures appliquées seules ou en conjonction.

Impact sur la sécurité

De nombreuses études ont mis en exergue les effets positifs sur la sécurité routière de la prise en charge des points dangereux. Mais, certaines n'ont pas tenu compte de deux facteurs importants : la régression vers la moyenne et la migration des accidents. Le premier des ces facteurs concerne le fait que le nombre d'accidents avant et après la prise en charge doit être comparé au nombre d'accidents qui se seraient produits si la prise en charge n'avait pas eu lieu. Le second concerne le fait que le nombre d'accidents dans des lieux proches du point noir considéré risque d'augmenter après la prise en charge de ce dernier.

Autres effets

En fonction du type de mesure appliquée, la mobilité peut se trouver améliorée (par exemple, la création de ronds-points, le traitement des revêtements, la mise en place d'une régulation du trafic) ou entravée (par exemple, réduction de la vitesse autorisée). De même, lorsque ces mesures entraînent un changement important en termes de densité du trafic ou de vitesse (par exemple, plus ou moins d'encombrements), les effets environnementaux doivent aussi être étudiés.

Exemples de coûts et d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Les coûts de cette prise en charge peuvent varier considérablement en fonction du type et du niveau de mise en œuvre, allant de mille à un million d'euros. Cependant, dans bien des cas, les points dangereux (points noirs) peuvent être initialement pris en charge par l'application de mesures de sécurité routière peu onéreuses.

Bien que ses effets en termes de sécurité, ses autres effets et ses coûts varient considérablement, comme indiqué ci-dessus, la prise en charge des points dangereux a généralement un excellent rapport coût-efficacité. Pourtant, on ne peut pas formuler de règle générale. On peut toutefois dresser un tableau d'ensemble en étudiant tous les traitements individuels présentés ci-après. Par exemple, la prise en charge des points dangereux en Suisse a fait l'objet d'une évaluation dans le cadre du projet VESIPO (2002) et un ratio coût-bénéfice de 13:1 a ainsi été calculé. Newstead et Corben (2001) ont évalué un programme d'envergure de prise en charge des points dangereux en Australie pendant la période 1992-1996 et ont calculé un ratio entre 4:1 et 5:1.

3.1.4 Inspections de sécurité routière

Description

Les inspections de sécurité routière consistent en un examen périodique de la sécurité d'une route en service. Elles font partie intégrante de l'entretien régulier des routes et permettent de détecter et de réduire de façon préventive les risques d'accident grâce à l'application de mesures efficaces. Les inspections de sécurité peuvent être régulières ou ponctuelles et jouent un rôle majeur dans la prévention. Les inspections régulières sont un outil essentiel pour la prévention de dangers potentiels pour tous les usagers de la route, y compris les usagers vulnérables, et jouent aussi un rôle en cas de travaux. Elles doivent identifier les changements temporaires susceptibles d'avoir un impact sur l'état et la visibilité des panneaux et des marquages par exemple, mais elles permettent aussi d'inspecter et de corriger les carences en termes de sécurité sur les tronçons n'ayant pas, jusque là, présenté un nombre élevé d'accidents. Ces inspections de sécurité sont effectuées périodiquement dans le cadre d'un programme de sécurité et ciblent les points sensibles tels que les travaux routiers, les passages à niveau, la signalisation, les rangées d'arbres et la visibilité de nuit.

La procédure d'inspection de sécurité routière ne requiert pas la saisie préalable de données et les inspecteurs doivent être des experts de la sécurité routière qualifiés et expérimentés. Leur évaluation des «éléments de risque» de la route et de ses abords non seulement identifie les situations dangereuses, mais elle permet aussi une analyse des risques plus poussée qui révèle tant les points où les accidents risquent de se produire que les actions qu'il est nécessaire d'entreprendre (AIPCR, 2007). L'analyse du risque établit le lien entre certains éléments du tracé et les accidents afin de comparer les tronçons de routes et les principes de sécurité recherchés. Les constats d'accidents peuvent aussi jouer un rôle important dans l'amélioration des infrastructures routières, car ils permettent d'identifier les différents types d'accidents. Ces informations sont rendues disponibles et permettent d'identifier les sites présentant un risque élevé ou les points noirs, ainsi que l'ensemble des mesures correctives et leur niveau de priorité.

42% des pays membres de la CEDR effectuent des inspections de sécurité routière et dans environ un quart des pays, cette mesure est prioritaire. Pour 12% des pays, cette mesure n'est pas prioritaire.

Coûts

Pour ce qui est des inspections de sécurité routière dans les pays européens dans lesquels elles sont effectuées régulièrement, les coûts s'échelonnent de 600 à 1 000 € par km d'autoroute. Si l'on considère les routes sur lesquelles la directive européenne s'appliquera de façon obligatoire (réseau routier trans-européen de l'UE-25, dont la longueur totale était d'environ 85 000 km en 2005), on estime que le coût global de l'inspection de l'ensemble du réseau s'élèvera entre 50 et 85 millions €. Par conséquent, pour les pays ayant une grande superficie et environ 5 000 km de réseau routier trans-européen sur leur territoire, cela se traduira par des coûts d'inspection allant de 3 à 5 millions €.

3.2 Autoroutes

3.2.1 Construction d'autoroutes

Description

Les autoroutes sont conçues de telle sorte à faciliter la circulation d'un nombre important de véhicules à une vitesse élevée avec le moins d'accidents possible. Elles accueillent le trafic longue distance provenant d'autres routes afin d'éviter les conflits entre ce type de trafic et le trafic local (Elvik, Vaa, 2004). La définition européenne la plus courante décrit l'autoroute comme étant une *"route spécialement conçue et construite pour la circulation de véhicules motorisés, qui ne dessert pas ses riverains et qui : (a) dispose (sauf en certains points ou de façon temporaire) de voies de circulation dans les deux sens séparées soit par une bande centrale qui n'est pas prévue pour la circulation, soit, dans des cas exceptionnels, par d'autres moyens ; (b) n'a pas de croisement avec d'autres routes, des voies ferrées ou de tramway ou avec des voies piétonnières ; (c) est clairement signalée comme étant une « autoroute » et est réservée à certaines catégories de véhicules routiers motorisés "* (Eurostat / CEE-ONU / CEMT, 2003). Les autoroutes urbaines sont également couvertes par cette définition. Toutefois, les définitions nationales et le type de routes couvertes par la définition peuvent varier légèrement d'un pays de l'UE à l'autre (NTUA, 2005).

Impact sur la sécurité

Bien qu'en général, la construction d'une autoroute n'ait pas pour objectif principal la sécurité, les **autoroutes** présentent un taux d'accidents bien inférieur à celui des autres routes en milieu urbain ou rural. Selon les données concernant les accidents de la base de données CARE, en 2005 dans 14 pays de l'UE, le pourcentage de morts sur les autoroutes, par rapport à l'ensemble du réseau routier national allait de 2,6% en Finlande à 14,8% en Belgique. Le pourcentage moyen pour ces 14 pays de l'UE était de 8%, alors qu'en moyenne, les morts sur le reste du réseau routier représentaient 92% du nombre total de morts (base de données CARE, données extraites le 7/3/2007). Toutefois, une simple comparaison dans l'absolu du nombre de morts sur les routes ne permet pas nécessairement de mieux comprendre les problèmes de sécurité car les données concernant l'exposition au risque doivent aussi être prises en compte pour élaborer des indicateurs de risque adéquats. Ces données concernant l'exposition peuvent inclure le nombre de véhicules-kilomètres parcourus par type de route (autoroute et autres types), ou bien la longueur du réseau routier (par type de route). Or, la plupart des pays de l'UE ne disposent pas de données exhaustives et fiables concernant l'exposition au risque (NTUA, 2005). Lorsqu'une nouvelle autoroute est construite, la diminution du nombre total d'accidents, mais aussi la diminution de la gravité des accidents, sont significatives par rapport aux chiffres pour les autres types de routes. Les autoroutes sont donc considérées comme étant les routes les plus sûres, surtout comparées aux routes urbaines et routes en milieu rural. Pourtant, certaines études indiquent que les avantages résultants de la construction d'une autoroute ne sont pas aussi importants qu'on pourrait s'y attendre et ce, pour deux raisons : premièrement, l'ensemble du trafic ne passe pas des routes existantes à l'autoroute et deuxièmement, l'autoroute génère un nouveau trafic et absorbe ainsi une demande latente potentielle résultant de la congestion des routes existantes. D'un autre côté, le fait est que dans de nombreux pays de l'UE, les autoroutes ne représentent qu'un faible pourcentage du réseau routier, alors qu'elles jouent un rôle important puisqu'elles répondent à une demande importante du pays en termes de mobilité. En conséquence, il apparaît clairement que le taux de 8% de morts évoqué ci-dessus pour les autoroutes en 2005 est un excellent résultat.

La plupart des études font état d'un impact positif sur la sécurité routière lors de la construction d'une nouvelle autoroute. L'ampleur de cet impact dépend de la répartition du trafic entre la nouvelle autoroute et les routes existantes et du volume du trafic généré. D'après la littérature, on peut espérer une réduction moyenne de 7% du nombre d'accidents corporels non mortels (de 4% à 9%) lorsqu'une nouvelle autoroute est construite (Elvik, Vaa, 2004).

Autres effets

La construction d'autoroutes a un impact positif sur la mobilité des véhicules motorisés et améliore notablement la vitesse et la durée des déplacements. Pourtant, dans certains cas, cela peut donner lieu à des problèmes relativement limités concernant l'environnement, tels que des incursions dans le paysage (par exemple, ponts) et une augmentation du bruit et de la pollution du fait de l'augmentation de la vitesse.

Coûts

Les coûts de mise en œuvre et d'entretien des autoroutes varient considérablement d'un pays à l'autre, parfois à cause des différences dans les systèmes d'appels d'offres, mais ils sont généralement élevés par rapport aux coûts de mise en œuvre d'autres initiatives portant sur les infrastructures et visant à améliorer la sécurité routière.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

La rentabilité des autoroutes varie aussi au cas par cas, surtout à cause des variations de coûts de mise en œuvre. Dans la plupart des cas, les ACB révèlent des ratios assez faibles pour la construction de nouvelles autoroutes comparés aux ratios d'autres investissements de sécurité routière, et ce, du fait des coûts très élevés de mise en œuvre. Pourtant, même ces ratios sont considérés comme assez bons pour justifier la construction d'une nouvelle autoroute ou transformation d'un réseau rural en autoroute. Et, outre les critères purement financiers, les avantages importants sur le plan social pour les usagers de la route peuvent rehausser la rentabilité de l'investissement et doivent être pris en compte par les autorités compétentes.

- La transformation en autoroute d'une partie du réseau routier interurbain en Grèce au début des années 90, a été soumise à une évaluation portant uniquement sur son impact sur la sécurité. Un rapport coût-bénéfice d'environ 2:1 indiquait que l'impact sur la sécurité à lui seul justifie la construction d'autoroutes (Yannis et al. 2005)

3.2.2 Echangeurs

Description

Les échangeurs sont des intersections sur lesquelles les principaux flux de circulation sont séparés les uns des autres car la circulation se fait sur différents niveaux, afin d'améliorer la fluidité du trafic et de limiter les possibilités de conflits entre ces différents flux. Ces intersections peuvent être complètement ou partiellement dénivelées, car certains flux de circulation peuvent continuer à se croiser à niveau (Elvik, Vaa, 2004). Il existe différents types d'échangeurs comme par exemple, les échangeurs en losange, les échangeurs en trompette et les échangeurs complètement ou partiellement en feuille de trèfle (cf. figure 3.1).

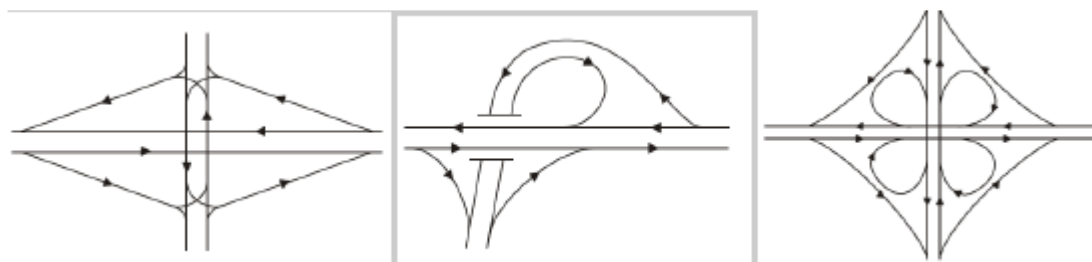


Figure 3.1. Echangeurs en losange, en trompette, en feuille de trèfle

On peut par ailleurs intervenir sur des échangeurs déjà en service, afin d'améliorer leurs performances en termes de sécurité. On peut notamment reconstruire les zones de convergence et de divergence des flux, qui sont définies comme étant "les parties d'un échangeur où les véhicules entrants et sortants doivent changer de voie pour poursuivre leur trajet dans la direction souhaitée". On peut améliorer les rampes d'accès, qui sont définies comme étant "des connexions au niveau de la rue permettant aux véhicules d'entrer ou de sortir d'une autoroute" (TRB, 2000) ou allonger les voies d'accélération et de décélération vers la rampe d'accès.

De plus, on peut avoir recours à divers dispositifs et programmes opérationnels de régulation du trafic tant au niveau de l'échangeur qu'au niveau des intersections vers les rampes d'accès. Parmi ces dispositifs, on peut citer la signalisation aux intersections, le comptage d'accès, les messages aux usagers et portiques de signalisation, les panneaux en bord de route avec matériaux rétro réfléchissants ou illuminés et autres systèmes de signalisation tels que les noms de rue ou le numéro de la route, le marquage de la chaussée et les balises, les délinéateurs, surtout à l'entrée et à la sortie d'un échangeur.

Impact sur la sécurité

L'impact sur la sécurité de la construction d'un nouvel échangeur ou du remplacement d'un croisement à niveau par un échangeur a fait l'objet de nombreuses études dans plusieurs pays, surtout pour les routes qui ne sont pas des autoroutes. Les échangeurs semblent être plus sûrs que les croisements, puisque après le remplacement d'un croisement par un échangeur à plusieurs niveaux, on peut observer une diminution de 50% du nombre total d'accidents.

Pour estimer l'impact sur la sécurité du **remplacement d'une intersection par un échangeur**, il faut tenir compte de plusieurs éléments. Premièrement, il faut inclure le nombre d'accidents qui se produisent sur les rampes d'accès de l'échangeur. Plusieurs études adoptent "l'équivalent de la longueur de rampe" dans la zone de l'intersection (par exemple, sur les branches de l'intersection), pour la longueur de l'approche de l'intersection. En général, cette démarche aboutit à un résultat supérieur en termes d'impact sur la sécurité ; or, les rampes étant des éléments routiers nouveaux sur les échangeurs, l'adoption de "l'équivalent de la longueur de rampe" entraîne une surestimation de l'impact sur la sécurité. La plupart des études qui tiennent compte des accidents sur les rampes et qui n'adoptent pas "l'équivalent de la longueur des rampes" pour les branches de l'intersection, révèlent un impact important sur la sécurité lorsqu'un croisement est remplacé par un échangeur. Mais on n'identifie aucun effet systématique lorsqu'une intersection en T est remplacée par un échangeur.

De plus, plusieurs études se sont penchées sur l'impact en termes de sécurité des modifications sur le tracé d'une intersection. Améliorer le tracé d'une intersection peut présenter des avantages importants surtout lorsque les modifications visent à réduire la courbure de la rampe, pour avoir un tracé plus lisible avec une longueur et une déclivité plus appropriées à l'accélération ou décélération. Notamment (Elvik, Vaa, 2004) :

- les échangeurs en losange semblent être les échangeurs les plus sûrs, du fait de leur simplicité, du fait que leurs rampes sont droites et que généralement la route secondaire se situe au-dessus de la route principale. Selon des études pertinentes, lors de la mise en place d'un échangeur en losange, l'impact sur la sécurité est tel que le nombre total d'accidents peut diminuer de 6% à 39% par rapport aux autres types d'échangeurs.
- Les échangeurs où la route secondaire se situe au-dessus de la route principale semblent conférer la meilleure sécurité pour l'accélération/la décélération et leur mise en œuvre peut donc donner lieu, dans certains cas, à une réduction du nombre total d'accidents de 4%.

- De toutes les mesures de modification du tracé de l'échangeur, la réduction de la courbure de la rampe semble être celle qui a le plus d'impact sur la sécurité puisqu'elle permet d'enregistrer une diminution du nombre total d'accidents d'environ 20%.
- Des études pertinentes montrent que l'allongement de la voie d'accélération/décélération entraîne également une amélioration significative de la sécurité (réduction de 7-11% du nombre total d'accidents lorsque la voie d'accélération/décélération est allongée d'environ 30 m).

Comme les exemples susmentionnés le démontrent, la plupart des études portent sur le nombre total d'accidents de la route (y compris les accidents uniquement matériels), et ne permettent pas d'évaluer l'impact sur la sécurité en termes de gravité des accidents.

Autres effets

Les échangeurs ont un effet positif sur la mobilité et sur la durée des trajets. On pourrait toutefois noter des effets négatifs sur l'environnement du fait de la dissociation des niveaux de circulation (par exemple, une superficie supérieure est nécessaire), mais aucune étude n'a été en mesure de quantifier cet aspect.

Coûts

Les coûts de mise en œuvre des échangeurs sont généralement élevés mais varient considérablement d'un pays à l'autre et/ou d'un chantier à l'autre, si bien qu'il n'est pas possible d'avancer un chiffre général. Les coûts de mise en œuvre pour la modification du tracé d'un échangeur s'assortissent d'encore plus d'incertitudes. Notons toutefois, que l'amélioration de la signalisation aux intersections et l'installation de panneaux et de délinéateurs adéquats peuvent améliorer le niveau de sécurité routière des échangeurs à moindre coût.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

A première vue, la construction d'un échangeur pour remplacer une intersection à niveau ne semble pas toujours rentable du fait des coûts élevés de mise en œuvre et de la nature purement locale de cette mesure. On peut toutefois augmenter l'efficacité des échangeurs en modernisant l'infrastructure sur l'ensemble d'un axe ou d'une zone, par exemple, par l'introduction d'une autoroute pour remplacer un réseau rural ou interurbain existant.

3.3 Routes en milieu rural

3.3.1 Traitement de la courbure horizontale

Description

La majorité des accidents sur des courbes horizontales (virages) sont des sorties de route mono-véhicule ou des collisions frontales (Torbic et al., 2003). Le **rayon de courbure** horizontal joue un rôle important dans la sécurité routière. Les virages ayant un faible rayon de courbure engendrent des problèmes de sécurité. Cette corrélation générale, confirmée par une analyse minutieuse de la littérature de la part de Hauer (1999), est présentée ci-dessous en figure 3.2. Par ailleurs, les petits angles assortis d'une distance de visibilité suffisante sont recommandés afin d'assurer une certaine cohérence dans le tracé (Al-Masaeid et al. 1999).

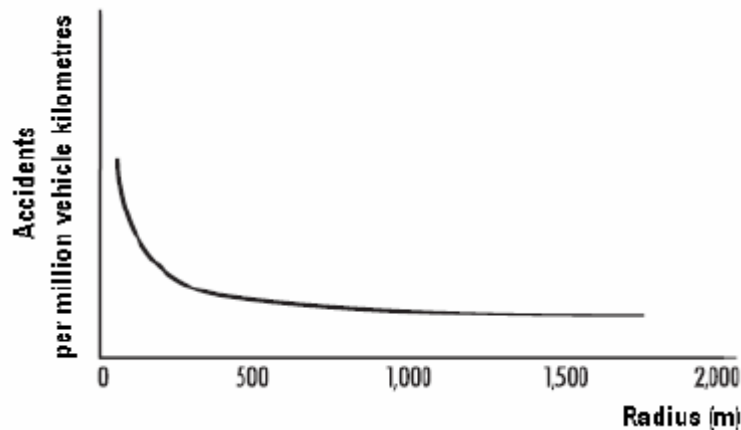


Figure 3.2. Risque d'accident en fonction du rayon de courbure horizontale (Hauer 1999, AIPCR 2003)

Il est par ailleurs, recommandé d'intégrer une **courbe de transition** à toute courbe horizontale, avec un tracé clothoïde (c.-à-d. une courbe dont le rayon décroît linéairement en fonction de la longueur de l'arc), de sorte que les conducteurs puissent suivre la courbe en tournant le volant à un taux constant en direction de la courbe et évitent ainsi tout mouvement brusque (Elvik, Vaa 2004).

La **fréquence des courbes horizontales** le long de l'axe a une incidence importante sur la sécurité (Matthews, Barnes, 1988). Une seule courbe de rayon faible après une longue ligne droite présente plus de risques qu'une série de courbes de rayons similaires. Par conséquent, la transition vers un virage plus serré doit se faire en réduisant progressivement le rayon de courbure sur une série de courbes successives (figure 3.3 - Lamm et al. 1999).

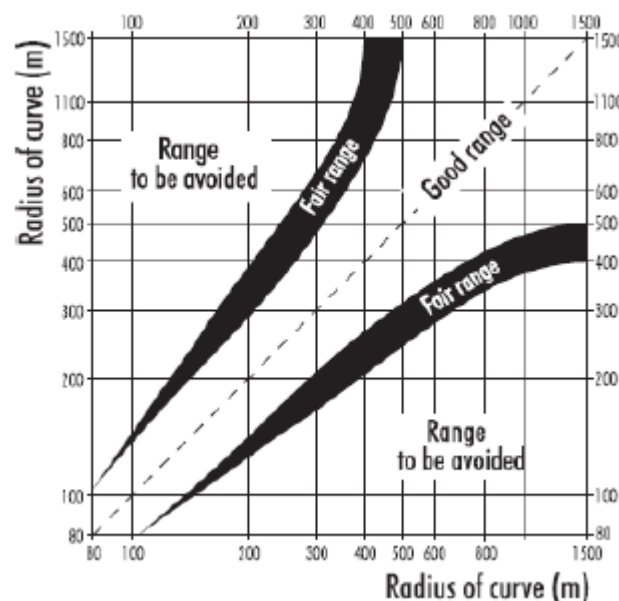


Figure 3.3. Ajustement des rayons de courbure sur une série de courbures horizontales (Lamm et al. 1999)

La surélévation ou dévers est définie comme étant l'inclinaison transversale de la route vers l'intérieur d'une courbe horizontale (figure 3.4). Cela permet de réduire légèrement le frottement requis pour contrer la force centrifuge et permet d'augmenter le confort de conduite et la sécurité des automobilistes. Les lois de la physique établissent le lien entre vitesse, rayon, dévers et frottement latéral. Ces lois se résument en une formule mathématique simple, que l'on peut utiliser lors de la conception de la route. Par conséquent, la vitesse maximale en courbe augmentant avec la surélévation (ERSO, 2006), une zone de transition entre la tangente et la courbe horizontale est requise afin d'introduire progressivement la surélévation (c'est en général à cette fin que l'on a recours à une courbe de transition).



Figure 3.4. Surélévation ou dévers de courbe horizontale (AIPCR 2003)

Impact sur la sécurité

Comme nous venons de la voir, **l'augmentation du rayon de courbure des courbes horizontales** peut considérablement réduire le nombre d'accidents, surtout lorsque le rayon initial était inférieur à 2 000 m. (Elvik, Vaa, 2004). Il est intéressant de noter que, selon Hauer (1999), que le rayon initial ait été de 100 m ou de 1 000 m, l'impact de l'augmentation du rayon sur le nombre d'accidents ne varie pas.

L'introduction de courbes de transition (clothoïdes) peut donner lieu à une diminution de 10% du nombre d'accidents corporels.

La plupart des études montrent que lorsque l'on diminue la proportion de la longueur de la route qui est en virage serré cela a aussi un impact important sur la sécurité. En revanche, **l'augmentation de la distance entre les courbes horizontales** ne donne pas lieu à un impact positif sur la sécurité, car les virages après une longue ligne droite tendent à prendre le conducteur par surprise (Elvik, Vaa, 2004).

Le calcul de l'impact sur la sécurité qui découle de la surélévation a démontré que ce type d'investissement peut présenter un rapport de rentabilité variable en fonction de l'envergure de la mesure mais aussi d'autres conditions liées à l'environnement routier. Harwood et al. (2000) ont tenté de décrire la relation entre le taux de **surélévation** (dévers) et la fréquence des accidents. Leur analyse indique que la fréquence des accidents est plus élevée sur les routes présentant une déficience en termes de surélévation. La déficience en termes de surélévation est définie comme étant la différence entre le dévers apporté à la courbe et celui spécifié dans le document intitulé *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (AASHTO, 2004). La fréquence des accidents semble être plus élevée lorsque la déficience de surélévation augmente, notamment, une déficience de surélévation de 5% donnerait lieu à une augmentation de 15% du nombre d'accidents. Selon une autre étude pertinente, l'amélioration de la surélévation a un impact positif sur la sécurité et mène à une réduction du nombre d'accidents allant de 5 à 10% (Zegeer et al., 1992).

Autres effets

Suite à des interventions sur des courbes, des effets sur la mobilité peuvent être observés du fait de leur impact sur la vitesse. Mais ces effets ne sont pas documentés.

Exemples de coûts et d'analyses coût-bénéfice (ACB)

La plupart du temps, l'amélioration du tracé des courbes horizontales n'est pas rentable du fait des coûts élevés de mise en œuvre. Elvik et Vaa (2004) rappellent que d'autres mesures telles qu'un marquage routier et une signalisation appropriés mettant en garde les conducteurs contre les déficiences d'une courbe, sont au contraire tout à fait rentables. On en déduit qu'il est très important de suivre les lignes directrices pour la conception des courbes horizontales pendant le processus de planification et de mise en œuvre.

3.3.3 Traitement des courbures verticales

Description

La courbure verticale d'une route est un facteur de sécurité important. Le risque d'accident est plus important sur les tronçons **en pente** que sur les tronçons plats et le taux d'accidents augmente avec la déclivité (Harwood et al., 2000). Sur les tronçons ayant une forte déclivité, des problèmes de sécurité peuvent résulter de la différence de la vitesse entre les véhicules légers et les poids lourds (par exemple, à cause du ralentissement en montée des poids lourds), mais aussi à cause des véhicules qui freinent en descente (par exemple, augmentation de la distance de freinage et possibilité de surchauffe des freins des poids lourds). En montée, la distance de visibilité n'est souvent pas suffisante pour permettre le dépassement, surtout lorsque le rayon de courbure du point haut est faible. On rencontre aussi des problèmes de distance de visibilité dans les courbes de point bas. (ERSO, 2006).

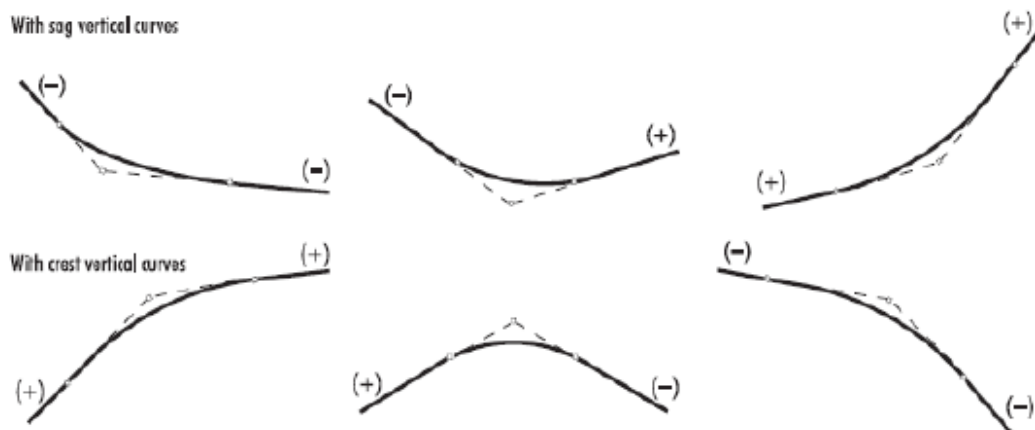


Figure 3.5. Courbes verticales de point haut (angle saillant) et de point bas (angle rentrant) (AIPCR, 2003)

Il faut noter qu'en virage, le rayon de la courbe horizontale n'est pas correctement perçu lorsque cette courbe se superpose à une courbe verticale de point haut ou de point bas (Hassan et al. 2002). En particulier, la superposition d'une courbe horizontale et d'une courbe verticale de point haut peut réduire la distance de visibilité et empêcher le conducteur de jauger rapidement la courbe, alors que la superposition d'une courbe horizontale et d'une courbe verticale de point bas peut donner une impression erronée du degré de courbure (Smith, Lamm, 1993).

Impact sur la sécurité

Des études montrent que le fait de **réduire la déclivité** permet de réduire le nombre d'accidents. Selon Harwood et al. (2000), sur les routes rurales à deux voies, une augmentation de la pente de 2% entraîne une augmentation du nombre total d'accidents de 3%, alors qu'une augmentation de la déclivité de 6% entraîne une augmentation du nombre total d'accidents de 10%. De plus, Hauer (2001) cite une étude antérieure de Miaou, selon laquelle une réduction de la déclivité de 1% réduit le nombre d'accidents de la route de 8,1%.

Lorsque l'on diminue la portion de la route se trouvant en courbes de point haut avec forte pente, cela aussi a un impact important sur le nombre d'accidents, car les automobilistes sont plus prudents lorsque la distance de visibilité est restreinte en montée et adaptent leur comportement en conséquence, notamment en ralentissant. D'un autre côté, selon des études pertinentes, sur les courbes de point bas, les traitements peuvent entraîner une augmentation de la vitesse de la part des conducteurs, en conséquence de l'accroissement de la sécurité (Elvik, Vaa, 2004).

Autres effets

Le traitement du profil en long et de la déclivité peut améliorer grandement la mobilité, car il permet d'augmenter la vitesse. Quant à l'environnement, on peut s'attendre à une augmentation des nuisances sonores et de la pollution du fait d'une moindre variation de la vitesse de déplacement.

Analyse coût-bénéfice (CBA)

Les coûts attachés aux mesures d'alignement du profil en long peuvent varier considérablement d'un chantier à l'autre et dépendent énormément du type de mesure appliquée. Comme on peut s'y attendre, les traitements liés à l'amélioration du profil en long ne sont pas très rentables. En revanche, les mesures de dégagement de la visibilité sont rentables. Notons toutefois que le nombre limité d'études portant sur les traitements d'alignement vertical ne permet pas de tirer des conclusions fiables.

3.3.4 Traitement transversal

Description

Il est important que la route soit suffisamment large et bien conçue dans sa largeur, surtout sur les routes sans séparation centrale, et ce, pour permettre le dépassement en toute sécurité, pour permettre le mouvement des poids lourds et pour assurer une bonne distance de visibilité. La largeur totale joue un rôle important en matière de sécurité (Zegeer et Council., 1995)

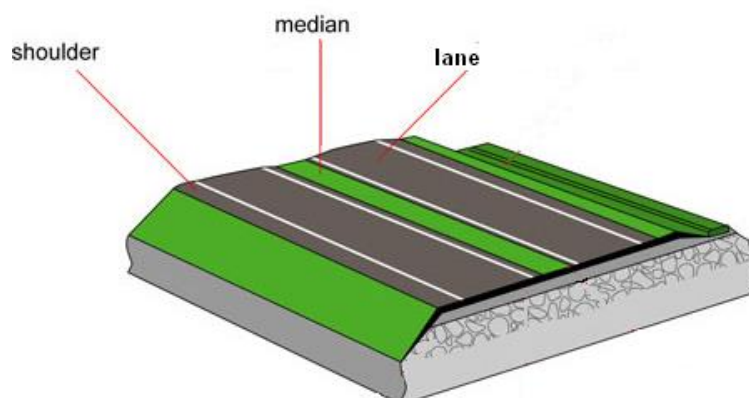


Figure 3.6. Principaux éléments du profil en travers

Les divers éléments transversaux peuvent donc avoir un effet important sur le risque d'accident sur une route. Par exemple, la **largeur des voies** doit correspondre à la vitesse prévue car elle est un facteur important dans certains types d'accidents, surtout sur les routes à double sens sans terre-plein central. Parmi ces accidents, on peut citer les collisions hors route n'impliquant qu'un seul véhicule, les chocs latéraux donnés par un véhicule roulant dans la même direction, et les accidents impliquant plusieurs véhicules venant de directions opposées (Harwood et al, 2000). L'élargissement des voies de roulement améliore normalement la sécurité routière dans une certaine mesure et selon Hauer (2000b), on ne tire que peu d'avantage d'un élargissement supérieur à 3 – 3,5 m. Un élargissement supérieur à 3,5 m peut même entraver la sécurité (sur les routes à deux voies). De plus, les voies très larges peuvent entraîner une augmentation de la vitesse et donc avoir un effet négatif sur la sécurité routière (IHT, 1990).

La création d'un **accotement** (surtout goudronné) améliore aussi la sécurité des routes en milieu rural. Plusieurs études indiquent que la largeur de l'accotement a un impact plus important sur la sécurité lorsque le volume de circulation est élevé. De plus, d'autres études indiquent que pour ce qui est des accidents corporels, il existe une largeur d'accotement spécifique (entre 1,8 et 2,5 m) au-delà de laquelle le nombre d'accidents corporels augmente. Les routes qui ont un accotement goudronné enregistrent moins d'accidents que celle du même type avec un accotement engazonné. Par ailleurs la mise en place d'un véritable accotement plutôt que seulement d'un caniveau et d'un trottoir sur des routes multivoie périurbaines s'assortit d'un taux d'accidents inférieur de 10% (Hauer, 2000c). Cependant, les accotements très étroits (par exemple <0,5 m) ou les bandes d'arrêt d'urgence très larges (par exemple >3 m) risquent d'être utilisés par les conducteurs comme voies de roulement et cela peut conduire à une augmentation du nombre d'accidents (Ogden, 1997, IHT, 1990). Pourtant, parfois, il peut s'avérer utile d'avoir une bande d'arrêt d'urgence large d'environ 3 m, car elle peut servir de voie de circulation pendant les travaux d'entretien avec le concept zéro-quatre. Tout comme pour la largeur des voies, les accotements très larges risquent d'avoir un impact négatif sur la sécurité.

L'introduction d'un **terre-plein central**, zone qui sépare les voies roulant en directions opposées, peut aussi permettre de réduire le nombre d'accidents, surtout sur les routes à deux voies. Ces terre-pleins centraux ont surtout une incidence sur les collisions frontales, les chocs latéraux donnés par un véhicule venant en direction inverse et ceux dus aux sorties de route du côté gauche. Les séparations centrales peuvent prendre diverses formes : d'une simple double ligne blanche centrale hachurée, à une zone dégagée transformée en «zone verte», en passant par les glissières en acier ou en béton placées sur la partie centrale de la chaussée pour la diviser en deux. Pourtant, des accidents continuent de se produire lorsque des automobilistes traversent la séparation centrale et pénètrent dans le flux venant en direction opposée (ERSO, 2006). Le nombre total de ces accidents diminue lorsque la largeur du terre-plein central augmente et cette réduction peut varier de 35% à 44%, en fonction du type de route (rurale/urbaine, autoroute/non-autoroute) (Hadi et al., 1995). Plus le terre-plein central est large, et aussi peut-être plus la séparation initiale était large, meilleure est la sécurité (Knuiman et al.1993, Hauer, 2000a).

Les routes de type deux-plus-un (2+1) sont des routes à trois voies sans séparation et dont la voie du milieu change de direction tous les 1-2,5 kilomètres. Cette méthode peut s'appliquer aussi à la construction de nouveaux tronçons mais dans la mesure où ce type d'aménagement est une mesure peu onéreuse comparée, par exemple, à la construction d'une nouvelle autoroute, on l'applique généralement aux routes existantes. En principe, la mise en place de tronçons 2+1 se fait sur des routes de 13 mètres de large et est considérée comme un bon moyen de réaménager des solutions antérieures (essentiellement les accotements ou les voies larges). La figure 3.7 (ROSEBUD, 2005) illustre les principales différences entre ces trois approches.

L'avantage incontestable de la solution 2+1 est qu'elle permet d'éviter les collisions frontales, alors que les accotements larges et les voies larges confèrent plus de marge de manœuvre au conducteur et peuvent éviter les accidents en sortie de route.

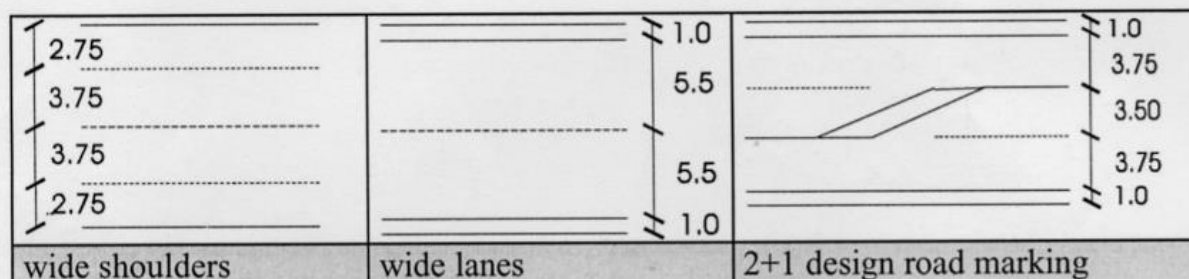


Figure 3.7. Principaux éléments transversaux

Impact sur la sécurité

Elvik et Vaa (2004) résument comme suit les conclusions de plusieurs études sur les traitements transversaux : **l'augmentation du nombre de voies de circulation** doit surtout être considérée comme une mesure permettant d'augmenter la capacité de la route, car dans les cas extrêmes de très faible densité de circulation, et donc de vitesses élevées, cette mesure peut entraîner une augmentation du taux d'accidents. Cependant, dans d'autres cas, tels que l'augmentation du nombre de voies de circulation (passage de 4 à 6) sur des routes en milieu urbain ou rural, le nombre total d'accidents corporels diminue de 11% et 32% respectivement. De plus, une augmentation du nombre de voies de circulation (de 2 à 3) sur les routes en zone urbaine peut entraîner une diminution de 12% du nombre total d'accidents de la route. Un **élargissement** de faible ou moyenne envergure **de la largeur totale** de la route (par exemple, de 1-3 mètres) s'accompagne normalement d'une réduction du nombre d'accidents; il en va de même pour les élargissements du même ordre des voies et de l'accotement. La **mise en place et/ou l'élargissement d'un terre-plein central**, s'accompagnent généralement d'une réduction du nombre des accidents, mais dans une mesure qu'il n'est pas toujours facile de déterminer. Notons par ailleurs, que la densité de population dans la zone considérée et le volume de circulation doivent être pris en compte pour le calcul de l'impact sur la sécurité qui découle d'un traitement transversal.

Pour ce qui est des routes **2+1**, l'impact le plus évident est celui de la réduction du nombre de collisions frontales. Cet impact sur la sécurité est encore plus marqué lorsque la séparation centrale est physique plutôt que marquée au sol (par exemple, séparation par câbles) (Bergh et al., 2005).

Autres effets

Les traitements transversaux ont un impact important sur la capacité de la route et améliorent la mobilité. Les nuisances environnementales ne devraient pas être significatives sauf en cas d'élargissement important de la route.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Les coûts engendrés par les traitements transversaux peuvent varier considérablement d'un chantier à l'autre et dépendent fortement du type de traitement considéré. Normalement, ce type de traitement n'est pas rentable du point de vue de la sécurité car les coûts élevés de mise en œuvre ne sont pas compensés par le gain en sécurité et en mobilité, et ce, parce que dans de nombreux pays, certaines parties du réseau routier sont très anciennes et mal entretenues par les autorités compétentes.

- Les rapports de rentabilité pour les routes 2+1 en Finlande et en Suède varient de 1,25:1 à 2,25:1 (ROSEBUD, 2005), ce qui indique que des résultats positifs peuvent être obtenus même si, tant en Finlande qu'en Suède, on enregistre de très faibles densités de circulation.

3.3.5 Traitement des abords

Description : Les **abords de la route** correspondent à la zone qui se trouve entre la bordure extérieure de la chaussée et la limite extérieure de l'accotement (AASHTO, 2002) et sont un élément important de la route, puisqu'ils ont un impact tant sur la survenue d'accidents que sur leur gravité. Une bonne configuration des abords peut non seulement réduire la probabilité d'accident grâce, notamment, à une meilleure visibilité, mais aussi atténuer les conséquences des accidents, grâce à l'élimination des obstacles et l'absence de fortes pentes. On peut donc affirmer que l'abord de la route est un élément de première importance pour la création d'un environnement routier sécuritaire. La mise en place de bords de route indulgents est l'une des principales priorités à court terme des directeurs des routes en Europe (CEDR, 2006).

Les traitements des abords consistent essentiellement en : l'aplanissement des **talus**, la création ou l'extension des **zones de sécurité**, l'introduction d'un marquage et d'une signalisation appropriés et le retrait ou la neutralisation des éléments dangereux le long de la route. De plus, on installe souvent des **glissières de sécurité** afin d'éviter les collisions avec les obstacles situés en bord de route, lorsque ces obstacles (par exemple, les arbres) ne peuvent pas être éliminés ou déplacés.

Une zone de sécurité est définie dans le manuel de conception des bords de route de l'AASHTO (*Roadside Design Guide*) comme comprenant l'intégralité de la zone adjacente à la chaussée sur laquelle les véhicules en difficulté peuvent s'arrêter en toute sécurité. Cette zone peut comprendre un accotement, une zone de récupération, une zone de gravité limitée et/ou une berme dégagée. En règle générale, une zone de sécurité plus large confère un environnement plus sûr pour les véhicules en détresse.

Les glissières de sécurité sont des barrières longitudinales qui permettent de protéger les automobilistes des obstacles naturels ou artificiels situés le long de la route. Les glissières de sécurité peuvent être installées le long du remblai et peuvent notamment remplacer des glissières de sécurité plus anciennes et moins souples, elles peuvent être installées le long du terre-plein central sur les routes où les deux sens de circulation sont séparés ou peuvent être installées entre les voies de directions opposées sur les routes sans terre-plein central.

Impact sur la sécurité : Plus la zone de sécurité est large et plus fortes sont les chances d'éviter les accidents (AIPCR, 2003). Zegeer et al. (1988) ont estimé les effets de l'élargissement de la **zone de sécurité** sur des routes à deux voies en milieu rural et a calculé le pourcentage de réduction des accidents caractéristiques de ce type de routes (total des accidents frontaux, latéraux ou hors-route), qui va de 13% pour un élargissement de 1,5 m de la zone de récupération dégagée de tout obstacle à 44% pour un élargissement de 6,2 m.

Par ailleurs, l'**aplanissement des talus** permet de réduire les probabilités de tonneaux lorsque le véhicule quitte la route et les zones dégagées de tout obstacle ont une meilleure visibilité et offrent moins de possibilités de collision avec des objets fixes (obstacle) lorsqu'un véhicule quitte la route. Ces deux traitements s'accompagnent d'un impact important sur la sécurité (Graham, Harwood, 1982, Zegeer et al. 1988). Neuman et al. (2003) indiquent que le nombre de tonneaux est considérablement plus élevé sur les talus ayant une pente de 1:4 ou plus par rapport aux pentes de 1:5 ou moins. Ils concluent que le nombre d'accidents hors-route n'impliquant qu'un seul véhicule (incluant, entre autres, les tonneaux) peut être considérablement réduit par l'aplanissement des talus existants à 1:4 ou moins et que la réduction du nombre total d'accidents qui en découle sera d'environ 15%. Allaire et al. (1996) ont étudié la corrélation entre aplanissement des talus et fréquence et gravité des collisions hors-route en se servant d'une méthode 'avant-après' portant sur une soixantaine de projets pour lesquels l'aplanissement des talus était prévu sur, au moins, une partie du tronçon. Ils ont découvert que l'aplanissement des talus engendre une amélioration statistiquement significative, car la réduction du taux de collisions hors-route varie (en comparaison et par catégorie de gravité des blessures) de 3% à 50%.

Quant aux **glissières de sécurité**, leur remplacement par des glissières de sécurité conformes à la norme EN 1317 permet d'atténuer les dégâts matériels, mais cet impact est plus modeste que celui obtenu par l'installation de glissières de sécurité là où elles étaient inexistantes. De plus, l'effet positif des glissières de sécurité n'est pas le même pour tous les types d'obstacles. En effet, on observe une diminution notable de la gravité des blessures lors de collisions avec des arbres ou des rochers ou lorsqu'un véhicule quitte la route sur une pente raide. Mais l'atténuation de la gravité des blessures est moins marquée en cas de collision avec un panneau de signalisation ou lorsque le véhicule finit dans le fossé. En général, les glissières de sécurité semblent avoir un impact important sur la sécurité puisqu'elles permettent de diminuer de 45% le nombre de morts et de blessés (Elvik, Vaa, 2004).

Autres effets

L'amélioration de la visibilité peut aussi donner lieu à une augmentation de la vitesse de parcours, et donc à une meilleure mobilité. L'aspect environnemental peut être plus ou moins important en fonction de la largeur de la zone dégagée.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Les coûts d'amélioration des bords de routes varient d'un pays à l'autre et d'un chantier à l'autre et il n'est pas possible d'établir une règle générale. Par exemple, l'aplanissement des talus peut être plus ou moins onéreux en fonction de la topographie. Toutefois, en règle générale, l'aplanissement des abords et la création d'une zone de sécurité engendrent des coûts de mise en œuvre plus importants que l'installation de glissières de sécurité ou le remplacement des glissières existantes pour les rendre conformes à la norme EN 1317. Comme on peut le voir ci-dessous, il existe peu d'études spécifiques sur la rentabilité de ces mesures.

- Une évaluation de la rentabilité de l'installation de glissières de sécurité le long des routes d'un réseau rural dans la forêt des Landes en France pour éviter les collisions avec les arbres, a révélé un rapport bénéfice-coût fort impressionnant de 8,7:1 (ROSEBUD, 2005).
- Dans le cadre du projet VESIPO (2002), l'installation de glissières de sécurité le long de routes rurales en Suisse a donné un rapport bénéfice-coût de 32:1.
- Elvik et Vaa (2004) font état d'une expérience norvégienne selon laquelle les glissières de sécurité en bord de route ne sont rentables que sur les routes ayant un trafic moyen journalier annuel supérieur à 3 000, mais ce chiffre ne peut pas être considéré comme représentatif pour tous les pays européens du fait des différences de volume de circulation et de densité de population.

3.3.6 Régulation du trafic et éléments opérationnels

Description

La régulation du trafic et les éléments opérationnels concernent plusieurs investissements routiers susceptibles d'améliorer le niveau de sécurité d'un tronçon donné. On peut citer : la signalisation, le balisage, le marquage de la chaussée et les balises, les ralentisseurs sonores continus etc.

Les panneaux de signalisation sont normalement classés en trois catégories : les panneaux réglementaires, les panneaux de danger et les panneaux de direction. La "Convention sur la signalisation routière" de l'ONU/CE (ONU-CE, 1968) et le manuel intitulé "*Manual on Uniform Traffic Control Devices*" (*Federal Highway Administration*, 2003) définissent les panneaux comme suit : les panneaux réglementaires fournissent des informations sur les règles de circulation, les panneaux de danger signalent un danger qui peut ne pas être apparent et les panneaux de direction indiquent les noms/numéros des routes, les destinations, les directions, les distances, les services, les points présentant un intérêt et toute autre information d'ordre géographique ou culturel.

Les mesures portant sur les panneaux de signalisation (à l'exception des PMV et des panneaux aux intersections, qui sont analysés séparément) peuvent concerner la modification de panneaux existants, l'installation de panneaux signalant une distance insuffisante avec le véhicule qui précède, de panneaux d'avertissement de réduction de la distance de visibilité ou des panneaux statiques de danger (panneau annonçant un virage et la vitesse recommandée) dans les virages.

Les délinéateurs, les balises et le marquage routier sont considérés depuis longtemps comme des éléments essentiels pour guider les conducteurs. Il s'agit de toute méthode permettant de délimiter, pour les conducteurs, la zone de roulement sur la chaussée à l'aide notamment de dispositifs de balisage : marquages en divers matériaux, dispositifs de marquage en relief, dispositifs de marquage et délinéateurs montés sur support.

Les ralentisseurs sonores continus sont des équipements routiers de sécurité qui avertissent l'automobiliste lorsque son véhicule se déporte vers le bord de la route ou vers la voie opposée en générant une vibration et un avertissement sonore. Ils visent à réduire le nombre d'accidents causés par des automobilistes inattentifs ou qui s'endorment au volant. On fait la distinction entre les ralentisseurs sonores continus le long de l'accotement, sur la bande centrale ou transversaux. Les ralentisseurs sonores continus permettent aussi de lutter contre l'hypnose de l'autoroute (lorsque les lignes blanches et lignes discontinues jaunes sur de longues et monotones lignes droites autoroutières «hypnotisent» l'automobiliste et lui font perdre sa concentration). Dans la littérature, plusieurs problèmes liés à l'utilisation de ralentisseurs sonores continus ont été identifiés concernant le bruit qu'ils génèrent et qui dérange les riverains, les objections des cyclistes et motocyclistes, les réactions inattendues des automobilistes et la migration d'accidents. Pourtant, leurs avantages pèsent généralement plus lourd dans la balance que leurs inconvénients (Griffith, 1999). Les coûts d'installation de ralentisseurs sonores continus sont faibles et ils nécessitent peu ou pas d'entretien. On n'observe aucune détérioration de la chaussée du fait des ralentisseurs sonores continus et de plus, ils restent efficaces par temps de neige ou de verglas et peuvent, par mauvais temps, guider les poids lourds.

Impact sur la sécurité

Elvik et Vaa (2004), lors de l'analyse d'une étude antérieure de Lyles et al., ont trouvé que l'ajustement et **l'amélioration des panneaux existants**, en fonction de certaines normes, semblent réduire le nombre d'accidents corporels et matériels et plus précisément, appliquée de façon localisée, cette mesure permet de réduire de 15% les accidents corporels et de 7% les accidents matériels. Pourtant, l'installation de panneaux de limitation de vitesse avant les virages semble généralement n'avoir aucun effet comme le démontrent plusieurs études, par ex. Fitzpatrick et al. (2000), alors que l'installation d'un radar fixe s'avère efficace et permet de réduire effectivement la vitesse.

Une étude de Neuman et al. (2003), portant sur l'efficacité des délinéateurs montés sur support dans les virages serrés, a révélé une réduction de 15% des accidents en sortie de route. Mais une analyse récente de Forbes (2003) d'une étude antérieure montre que l'installation de délinéateurs montés sur support, de balises à chevrons et de délinéateurs en relief dans les virages donne lieu à une augmentation de la vitesse la nuit. Ces résultats semblent concorder avec ceux d'une autre étude récente de Bahar et al. (2004) qui portait sur l'impact sur la sécurité des délinéateurs dans les courbes horizontales et qui concluait que les conducteurs tendent à ne pas réduire leur vitesse lorsque la visibilité est mauvaise et sur les tronçons ayant une géométrie moins bonne. De plus, la mise en place de ces traitements encourage les conducteurs à s'éloigner des délinéateurs lorsqu'ils conduisent de nuit ou avec une mauvaise visibilité. Par exemple, pour les **marquages en relief centraux**, les conducteurs s'éloignent du milieu de la route et se rapprochent des accotements. Ce comportement peut certes réduire le nombre de collisions frontales, mais il peut augmenter les sorties de route et collisions hors-route surtout sur les routes dont la conception n'est pas optimale (c.-à-d. avec un accotement plus étroit et/ou gravelé).

La même étude examinait l'impact sur la sécurité des balises à **chevrons** et démontrait qu'elles sont visibles de beaucoup plus loin que les marquages routiers du fait de leur orientation. Des études portant sur la relation entre la vitesse en courbe et la géométrie de la courbe montrent que le rayon de courbure et l'angle de la courbe peuvent permettre de prédire la vitesse et des études sur les réactions des conducteurs montrent que lorsqu'on leur montre des images de courbes, les conducteurs (qui ne connaissent pas ces courbes) indiquent que l'angle de déflexion est plus important que le rayon pour déterminer la vitesse d'approche. C'est pourquoi, les balises à chevrons qui délimitent l'ensemble de l'angle du virage sont généralement recommandées dans les virages serrés, même si leur impact sur la sécurité n'est pas vraiment significatif. Elles sont considérées comme plus efficaces du fait de leur taille, et leur positionnement, bien au-dessus de la surface de la chaussée, les rend plus visibles, même si leur effet sur le placement latéral, la vitesse et les variations de vitesse reste modeste.

Des diverses études qui ont examiné l'impact sur la sécurité des **ralentisseurs sonores continus**, on peut conclure que ceux-ci peuvent réellement permettre de réduire le nombre de certains types d'accidents, tels que les dérapages, les sorties de route en virage ou les accidents qui résultent d'un non-respect des instructions données par les dispositifs de régulation du trafic ou parce que le conducteur n'a pas adapté sa conduite aux nouvelles conditions rencontrées en un point donné. Toutefois, il faut noter que les données quantitatives ne sont pas toujours disponibles car il est parfois difficile d'isoler l'impact de ces mesures de celui d'autres mesures de sécurité routière. En règle générale, on met en place sur des tronçons choisis un ensemble de mesures de régulation du trafic et d'éléments opérationnels. Une étude à ce sujet entreprise dans l'Etat de la Pennsylvanie a révélé que l'installation de ralentisseurs sonores continus sur 53 tronçons sur un total de 560 km a donné lieu à une réduction de 60% du nombre d'accidents évitables, ou une diminution du taux de 1,43 par 100 millions de véhicules-kilomètres (Hickey, 1997).

3.3.7 Limitation de la vitesse /réduction de la vitesse autorisée

Description

Dans la pratique, la vitesse à laquelle différents conducteurs conduisent, toutes conditions externes étant égales par ailleurs, varie énormément. De plus, de nombreux conducteurs pensent de façon peu réaliste qu'ils peuvent garder le contrôle de leur véhicule à une vitesse bien supérieure à celle autorisée (Elvik et Vaa, 2004).

La gestion de la vitesse couvre un grand nombre d'actions de planification, d'aménagement et d'interventions qui visent à contrôler la vitesse des véhicules, faire respecter la vitesse autorisée et réduire les excès et les vitesses inadéquates en vue de garantir une meilleure sécurité pour tous les usagers de la route. Cette question est une priorité absolue dans 34% des pays et pour 35% des pays, il s'agit d'une priorité assez importante (CEDR, 2006).

Les mesures les plus appropriées varient en fonction des circonstances. En principe, une bonne gestion de la vitesse nécessite une approche intégrée, systématique et échelonnée. Dans le cadre du système actuel de **limitations fixes de la vitesse**, les étapes suivantes sont importantes (ERSO, 2006) :

- **Limitation de la vitesse** : la limitation de la vitesse est à la base de toute politique de gestion de la vitesse. Les limites de vitesse doivent refléter la vitesse qui permet de rouler en toute sécurité sur la route considérée et dépendent de la fonction de cette route, du type de circulation et des caractéristiques du tracé de la route. Qui plus est, les limites de vitesse doivent être crédibles, elles doivent être logiques et correspondre aux caractéristiques de la route et de son environnement.
- **Information concernant la vitesse autorisée** : le conducteur doit savoir, à tout moment et en tout point quelle est la vitesse autorisée. Normalement, cela se fait par l'installation de panneaux en bord de route et par un marquage au sol. Les systèmes embarqués signalant au conducteur la vitesse autorisée seront certainement introduits progressivement.
- **Mesures de génie civil** : en certains points, il peut s'avérer indispensable de limiter fortement la vitesse pour garantir la sécurité (perçue ou réelle).

Par exemple, près des écoles ou des résidences de personnes âgées, aux passages cloutés, aux intersections. A l'approche de ces points, des mesures physiques de réduction de la vitesse telles que des dos d'âne, un rétrécissement de la chaussée ou un rond-point peuvent permettre de garantir le respect des limites de vitesse.

- **Interventions de la police** pour contrôler les excès de vitesse délibérés : lorsque les trois actions ci-dessus sont appliquées correctement, les dépassements involontaires de la limite de vitesse sont rares. Les conducteurs qui commettent un excès de vitesse le font sciemment. Les contrôles de police sont donc nécessaires pour contrôler et sanctionner ce groupe d'automobilistes.

Plusieurs des actions et mesures qui viennent d'être présentées sont analysées dans d'autres parties de ce document (voir chapitre 3.2.6 : Régulation du trafic et éléments opérationnels, chapitre 3.2.8 : Systèmes de eSécurité et chapitre 3.4.1 : Mesures d'apaisement de la circulation). La présente section analyse l'un des principaux outils pour la prise en charge de la vitesse à savoir la limitation de la vitesse.

La limitation de la vitesse vise à établir un compromis entre le besoin de mobilité des automobilistes et les besoins en termes de sécurité et de protection de l'environnement pour tous les usagers des infrastructures routières. La vitesse autorisée doit correspondre à la fonction et la qualité de la route concernée et à l'objectif de sécurité fixé. Qui plus est, pour être crédible vis à vis des usagers, la limitation de la vitesse doit reposer sur les caractéristiques (éventuellement modifiées) de la route et de son environnement (ERSO, 2006). En outre, les limites de vitesse sur différents types de routes varient énormément d'un pays à l'autre (Vis et Van Gent, 2007). Pourtant, de facto, la norme dans l'UE est : 80, 90 ou 100 km/h pour les routes en milieu rural, 50km/h en agglomération, 30 km/h dans les zones résidentielles et 120 km/h ou 130 km/h sur les autoroutes (CEDR, 2006).

Les interventions concernant la limitation de la vitesse peuvent être de trois ordres (Elvik et Vaa, 2004, Cohen et al. 1998)):

- augmentation de la limite de vitesse
- limitation de la vitesse dans une zone où elle n'était pas limitée
- abaissement de la vitesse autorisée

Les mesures complémentaires, telles que les **zones de transition**, permettent de signaler le passage d'un environnement de circulation à un autre, d'un comportement de conduite à un autre, et surtout, d'une vitesse à une autre (Herrsted et al. 1993). Lorsque le conducteur entre dans une zone où la vitesse autorisée est plus faible, surtout après une période de conduite à vitesse élevée (par exemple, à l'entrée d'un village à partir d'un axe routier important), il a tendance à sous-estimer sa vitesse et donc à ne pas l'adapter correctement (ERSO, 2006). Le premier principe est de mettre en place impérativement des mesures complémentaires sur l'axe principal à l'entrée de la zone urbaine. Le second principe est de mettre en place les mesures dans la zone de transition de telle sorte qu'elles aient un effet cumulatif culminant à l'entrée de la ville ou du village. Cela peut se faire par un ensemble d'interventions : rétrécissement de la route et introduction d'équipements verticaux, atteignant leur apogée à l'entrée de l'urbanisation (ETSC, 1995).

Notons que les contrôles de police font partie intégrante de toute politique de limitation de la vitesse. L'installation de panneaux de vitesse ou la modification de la vitesse autorisée sans contrôles de police risquent de ne pas donner les résultats escomptés.

On trouvera les renseignements concernant l'impact sur la sécurité des informations sur la limite de vitesse aux paragraphes 3.2.6 : Régulation du trafic et éléments opérationnels et 3.2.8 : Systèmes d'eSécurité. Les informations concernant l'impact sur la sécurité des mesures de génie civil dans le cadre d'une prise en charge de la vitesse se trouvent aux paragraphes 3.2.6 : Régulation du trafic et éléments opérationnels et 3.4.1 : Mesures d'apaisement de la circulation.

Impact sur la sécurité

La limitation de la vitesse dans une zone où elle n'était pas limitée entraîne une diminution du nombre d'accidents à tous les degrés de gravité. Notamment, les résultats statistiquement significatifs de méta-analyses présentées par Elvik et Vaa (2004) indiquent que :

- dans tous les cas d'abaissement de la vitesse autorisée, les accidents mortels chutent de 11-13% et l'ensemble des accidents corporels diminue de 13% en moyenne.
- une limitation de la vitesse à plus de 100 km/h dans une zone qui n'était pas limitée, entraîne une diminution des accidents mortels de 11% et une réduction de tous les accidents corporels de 16%
- une limitation de la vitesse à 80-97 km/h dans une zone pas limitée, entraîne une diminution des accidents mortels de 19% et une réduction de tous les accidents corporels de 22%

On peut en déduire que plus la vitesse autorisée est faible, meilleure est la sécurité.

L'abaissement de la vitesse autorisée s'accompagne d'effets impressionnants en termes de sécurité. Par exemple (Elvik et Vaa, 2004) :

- abaisser la vitesse autorisée de 130 à 120 km/h, de 130 à 110 km/h et de 120 à 110 km/h fait chuter de 11% le nombre total d'accidents. Mais aucune réduction du même ordre du nombre de morts n'est observée.
- abaisser la vitesse autorisée de 115 ou 100 km/h à environ 90 km/h (88-97) entraîne une diminution du nombre total d'accidents de 9% et une réduction du nombre d'accidents mortels pouvant atteindre 55%.
- abaisser toute vitesse inférieure à 100 km/h (c.-à-d. 90-80) de 15%, en moyenne, s'accompagne d'un impact important sur la sécurité et sur le nombre total d'accidents. Il est intéressant de noter que, dans ce cas, la réduction du nombre d'accidents mortels est systématiquement deux fois plus élevée que la réduction du nombre d'accidents occasionnant des blessures.

Les zones de transition peuvent aussi présenter des avantages importants en termes de sécurité. Taylor et Wheeler (2000) ont évalué les effets de 56 programmes d'apaisement de la circulation dans des villages britanniques situés sur des axes interurbains importants où la vitesse à l'approche des agglomérations était en général de 90 km/h. Ils ont découvert que les programmes qui ne comportaient que des mesures à l'entrée du village entraînaient une réduction du nombre d'accidents mortels et graves dans le village de 43%. Dans le même temps, le nombre d'accidents corporels sans gravité augmentait de 5%. Des réductions plus importantes du taux d'accident ont été observées dans le cadre de programmes comportant des mesures supplémentaires à l'intérieur du village (rétrécissement de la route, mini ronds-points, dos d'âne), avec des diminutions du nombre d'accidents mortels et graves d'environ 70% et du nombre de blessures sans gravité d'environ 37% (ERSO, 2006).

Autres effets

Limiter la vitesse limite aussi la mobilité, puisque les temps de parcours augmentent. D'un autre côté, une répartition plus équitable des vitesses de parcours devrait, en théorie, augmenter la capacité de l'infrastructure routière. De plus, l'abaissement des vitesses autorisées et donc l'allongement des temps de trajet devrait présenter des avantages au niveau de l'environnement, tant en termes de nuisances sonores que d'émissions.

Coûts

Les coûts de la prise en charge de la vitesse et des mesures connexes sont relativement faibles, surtout lorsque cette prise en charge se fait par l'installation de panneaux de signalisation. Les mesures de génie civil supplémentaires (par exemple, dos d'âne) sont aussi assez peu onéreuses par rapport à d'autres mesures portant sur les infrastructures. Ces coûts peuvent augmenter de façon considérable lorsque l'on a recours à des systèmes de transport intelligents (STI) pour fixer et faire respecter les limites de vitesse.

3.3.8 Systèmes d'eSécurité

Description

L'eSécurité est un ensemble de systèmes qui visent à améliorer la sécurité routière grâce aux nouvelles technologies de l'information et des communications, en l'occurrence les applications de **systèmes de transport intelligents (STI)** (Commission européenne, 2002). Ces applications visent à réduire ou à éliminer les facteurs de risque associés à l'environnement humain et à l'environnement routier. Les systèmes d'eSécurité peuvent potentiellement améliorer la sécurité routière en influant sur l'exposition à la circulation, en réduisant les probabilités de collisions et en atténuant les conséquences des dégâts corporels. Par exemple, les systèmes de conduite assistée modifient la conduite en fournissant des informations, des conseils et une assistance au conducteur et ils influencent directement et indirectement le comportement des automobilistes (Golias et al. 2002).

Il existe déjà plusieurs systèmes fort répandus qui aident le conducteur à garder le contrôle de son véhicule même lorsqu'il a dépassé ses propres limites (par exemple, ABS, ESP (contrôle de trajectoire), assistance au maintien sur la voie, système de suivi). Vient se greffer à ces applications une nouvelle génération de systèmes de sécurité actifs et de systèmes avancés d'aide à la conduite (ADAS). Ces systèmes tiennent compte non seulement du conducteur et du véhicule, mais aussi de l'environnement du véhicule. Dans le présent chapitre, l'analyse se focalise sur l'infrastructure et le conducteur et donc les facteurs de risque liés aux interactions avec les infrastructures, que l'on peut résoudre grâce à des systèmes d'eSécurité. Par conséquent, les applications qui impliquent la participation ou une action de la part des exploitants du réseau routier sont également analysées.

En termes d'infrastructure et d'environnement, les facteurs les plus importants en termes d'impact sur la sécurité routière sont la géométrie de la route, l'état des chaussées, les conditions météorologiques et les conditions d'éclairage de la route (Spyropoulou et al., 2007). Les systèmes d'eSécurité qui réduisent le nombre d'accidents causés par l'interaction du conducteur avec l'environnement routier visent essentiellement à modifier le comportement du conducteur par rapport aux règles de circulation ou lorsqu'il conduit dans des conditions dangereuses et ce, en attirant son attention sur lesdites règles ou conditions, grâce à des systèmes qui l'informent ou l'avertissent. Les principaux systèmes dans cette catégorie sont décrits brièvement ci-dessous :

Les systèmes classiques d'information au conducteur sont ceux de **navigation**, qui fournissent au conducteur des renseignements sur sa localisation et sur son itinéraire. Basés sur des technologies existantes telles que le **système de radiodiffusion des données (RDS)**, les **canaux de messages concernant la circulation et la téléphonie mobile**, ces systèmes combinent des informations statiques, fournies par des sources de type CD ou DVD, à des informations limitées concernant la circulation, la météo ou les conditions de sécurité le long du parcours.

Les systèmes d'information en temps réel sur la circulation ou le trajet associent des informations disponibles aux utilisateurs de systèmes de navigation classiques à des informations concernant leur itinéraire qu'ils reçoivent en temps réel des infrastructures (par exemple, par une chaîne de radio dédiée, par des balises le long de la route ou par des transmissions longue-distance). **Les panneaux à message variable (PMV)** sont des panneaux de signalisation sur lesquels on peut afficher des messages et les modifier en fonction des besoins. On peut ainsi réduire le nombre de panneaux de signalisation requis et modifier plus facilement les messages lus par les automobilistes.

On peut faire une distinction entre les PMV à information individuelle ou collective. Un panneau individuel fournit des informations à un automobiliste donné sur son comportement (par ex, excès de vitesse) et un panneau collectif fournit des informations qui s'adressent à tous les usagers (informations sur un temps de trajet estimé ou sur un ralentissement).

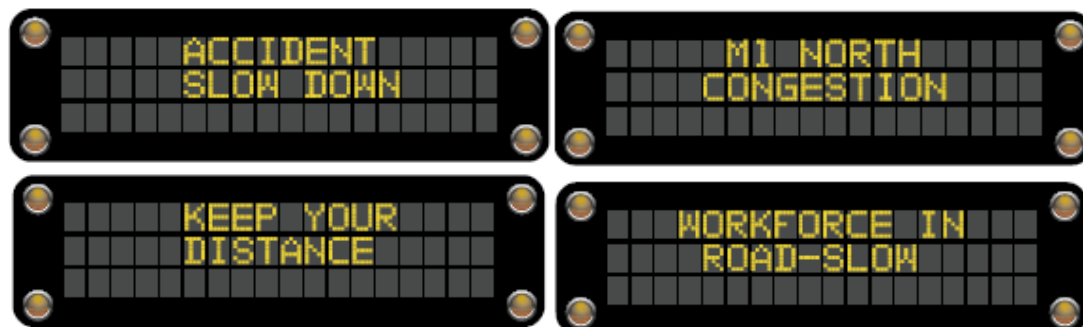


Figure 3.8. Exemples de PMV d'information collective

Les systèmes d'amélioration de la vision (VES) (CRA, 1998, Golias et al. 2002) sont des systèmes qui visent à améliorer la visibilité pour le conducteur lorsque les conditions de visibilité sont mauvaises (nuit, brouillard) en fournissant des informations visuelles supplémentaires par le truchement d'un écran embarqué, à l'aide de technologies telles que des phares spécialement conçus ou des radars et capteurs à infrarouges.

Une catégorie de systèmes d'information du conducteur particulièrement prometteuse est celle des systèmes qui recueillent et analysent des données sur **l'état de la chaussée** grâce à des capteurs montés sur le véhicule ou sur des équipements en bord de route (Golias et al. 2002). Les données collectées sont transmises au système embarqué où elles sont traitées. Lorsque des conditions dangereuses sont détectées en aval du véhicule, le conducteur peut en être informé par un message audio ou visuel. De plus, ces informations peuvent être transmises au centre d'information sur la circulation concerné et, à partir de là, être envoyées à d'autres usagers de la route et aux autorités compétentes.

Les STI coopératifs (Tsugawa et al. 2000) coordonnent des données reçues de différentes sources (le véhicule de l'utilisateur, d'autres véhicules, l'équipement routier (feux tricolores) etc.) et sont potentiellement porteurs pour l'avenir de solutions visant les facteurs de risques liés aux infractions au code de la route. Toutefois, à ce jour, ces systèmes ne sont pas encore suffisamment développés (Spyropoulou et al. 2007).

Enfin, en ce qui concerne les fonctions post-accident, le plus populaire de ces systèmes est celui qui permet d'appeler les secours (**e-Call**). Après l'accident, les services de secours sont alertés automatiquement ou manuellement et les données indispensables, y compris l'emplacement exact de l'accident, les informations concernant le conducteur et les caractéristiques de l'accident, sont transmises. L'initiative européenne e-Call doit être lancée en 2009 et proposera un numéro unique (112) pour tous les appels d'urgence (Commission européenne, 2005).

Impact sur la sécurité

La procédure de mise en place et d'évaluation des systèmes d'eSécurité semble être assez lente. La quantification de l'impact d'un système sur le taux d'accidents ne peut être établie qu'une fois que le système fonctionne depuis assez longtemps pour que ses spécificités, y compris ses caractéristiques technologiques, son taux de pénétration et le comportement du conducteur lorsqu'il utilise ce système, soient stables. On peut tout de même estimer indirectement certains aspects spécifiques de l'impact de certains de ces systèmes (Spyropoulou et al, 2007).

En règle générale, les critères utilisés pour évaluer l'impact sur la sécurité des systèmes d'eSécurité sont les suivants (Golias et al., 2002) :

- Evitement des vitesses inadéquates
- Maintien des distances longitudinale et latérale
- Aide à l'information des conducteurs

Les **systèmes de navigation** classiques ne fournissent pas de renseignements en temps réel, ils se contentent d'utiliser des données historiques sur la circulation ; par conséquent, ils ne devraient pas conférer directement des avantages notables en termes de sécurité (Golias et al., 2002).

En revanche, les **systèmes d'information sur la circulation et d'information aux voyageurs en temps réel** s'accompagnent d'avantages importants en termes de sécurité. Dans la plupart des cas, les **PMV** à messages collectifs ont un impact important sur la sécurité. Cependant, Elvik et Vaa (2004) soulignent qu'il faut faire preuve de prudence lorsqu'on analyse certains des résultats disponibles. Les PMV ont le plus d'impact sur la sécurité lorsqu'ils fournissent des informations sur un accident ou sur les conditions météorologiques (par exemple, brouillard) puisqu'ils donnent lieu à une réduction de 45-85% du nombre d'accidents, mais, bien entendu, cet aspect est plus pertinent dans les pays de l'hémisphère nord où le mauvais temps a un impact important sur la sécurité routière. D'un autre côté, les avertissements concernant les ralentissements ou les embouteillages sur les autoroutes s'assortissent d'un impact sur la sécurité bien moins impressionnant; entre autres parce que le nombre d'accidents corporels tend à diminuer légèrement alors que le nombre d'accidents matériels, lui, augmente. On peut en déduire que les PMV qui fournissent des informations sur les ralentissements entraînent des changements de voie fréquents de la part des automobilistes qui essaient d'éviter le ralentissement ou qui cherchent à sortir, et ce type de comportement peut augmenter la probabilité d'accident. Il n'existe aucune donnée statistiquement significative concernant l'impact sur la sécurité des PMV à messages individuels.

Les systèmes d'amélioration de la visibilité améliorent généralement la sécurité routière, puisqu'ils permettent au conducteur de 'voir' les objets (ou les piétons) qui se trouvent sur sa route mais ne sont pas visibles à la lumière des phares, la nuit ou en cas de mauvaise visibilité, et ce, en transmettant leur image à un écran qui se trouve à bord du véhicule (Staahl et al., 1995). Pourtant, il n'existe aucune donnée quantitative validée. De même, on manque de données concernant **les systèmes d'information concernant l'état de la chaussée** qui, normalement, devraient avoir un impact important sur la sécurité, puisque lorsque le conducteur connaît l'état de la chaussée cela a un impact positif considérable tant sur la sécurité (adoption d'une vitesse appropriée, d'une distance de sécurité appropriée et d'une attitude plus prudente) que sur la fluidité du trafic (conduite plus adaptée en termes de vitesse) (Golias et al., 2002).

Une analyse détaillée finlandaise sur l'impact du système **e-Call** indique une réduction potentielle du nombre de morts d'environ 5% grâce à une gestion des incidents plus efficace (Virtanen, 2005).

Notons que l'on peut craindre les adaptations comportementales de la part des conducteurs utilisateurs de ces systèmes car, se sentant plus en sécurité, ils risquent de conduire plus vite. Par ailleurs, on peut aussi s'inquiéter du fait que les conducteurs partagent leur attention entre l'environnement extérieur et l'environnement intérieur (CRA, 1998, Golias et al. 2002).

Autres effets

Certains systèmes d'eSécurité (par exemple les PMV) qui affichent des informations sur la vitesse (c.-à-d. messages individuels) ou sur la météo (c.-à-d. messages collectifs) entravent probablement la mobilité, puisqu'ils réduisent la vitesse de déplacement. Cette réduction de la vitesse peut aussi avoir un impact sur le bruit et sur les émissions. Toutefois, pour l'instant, aucune étude n'a quantifié ces effets environnementaux.

Coûts

Certains systèmes d'eSécurité coûtent plus cher que des systèmes ordinaires de régulation du trafic, car leur mise en œuvre nécessite l'installation d'équipements mécaniques et électriques, mais aussi d'équipements de détection et leur exploitation et mise à jour requiert l'intervention d'un poste central de régulation. Qui plus est, l'entretien des panneaux à messages variables est plutôt coûteux.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

En général, du fait de leur impact positif sur la sécurité, normalement les PMV s'avèrent (marginale) rentables, surtout ceux qui fournissent des informations sur les accidents / incidents ou sur les conditions météorologiques. Aucun résultat ACB n'est disponible pour les autres systèmes d'eSécurité liés aux infrastructures ou aux interactions conducteur-infrastructure.

3.2.9 Traitements du revêtement de la chaussée

Description

Les traitements de la chaussée comprennent la simple réfection du revêtement (par exemple, dans le cadre de l'entretien courant de la chaussée) ou le remplacement par un revêtement spécial (par exemple, revêtement avec une meilleure brillance, revêtement avec une meilleure adhérence etc.), et ce, en vue d'éviter les irrégularités dangereuses de l'uni ou la détérioration de la chaussée, d'atténuer l'usure des véhicules et d'augmenter le confort de conduite et la sécurité.

La réfection du revêtement est le remplacement normal du revêtement existant par un revêtement neuf. Pour améliorer l'**uni** de la chaussée, il faut combler les ornières, boucher les fissures et, plus généralement, réparer tout dégât causant des irrégularités de l'uni et susceptible de faire perdre au conducteur le contrôle de son véhicule. Pour améliorer l'**adhérence** de la chaussée, on peut poser un revêtement à forte adhérence (bitume poreux) ou creuser des rainures pour assurer un bon drainage. L'amélioration de la **brillance** passe par l'utilisation de bitume plus brillant, ce qui permet d'améliorer les conditions de visibilité pour les conducteurs.

Impact sur la sécurité

La **réfection** ordinaire de la chaussée ne semble pas entraîner une diminution du nombre d'accidents, au contraire, celui-ci aurait plutôt tendance à augmenter. Vraisemblablement, les automobilistes profitent d'une chaussée plus performante pour augmenter leur vitesse. Hauer et al. (1994) ont conclu que dans les projets qui portent uniquement sur la réfection de la chaussée, la sécurité, dans un premier temps, pâtit, alors que dans les projets qui prévoient aussi d'autres mesures d'amélioration de la chaussée, elle peut s'améliorer. En outre, ils ont conclu qu'au cours des 6-7 premières années de vie d'un revêtement, la sécurité s'améliore au fur et à mesure que le revêtement prend de l'âge. Pourtant, une étude plus récente, visant à évaluer l'impact de la réfection (avec ou sans action complémentaire) sur la sécurité, n'a pas réussi à tirer de conclusions tranchées à ce sujet et recommande que de nouvelles recherches soient entreprises (Hughes et al., 2001).

Pour les mêmes motifs (augmentation de la vitesse), l'amélioration de l'**uni** de la chaussée semble avoir un impact négatif sur la sécurité. En revanche, l'amélioration de l'**adhérence** de la chaussée s'accompagne d'un impact positif sur la sécurité et plus l'adhérence initiale était mauvaise, plus important est cet impact. Notons toutefois qu'il porte uniquement sur les accidents qui se produisent sur chaussée mouillée (Elvik, Vaa, 2004, AIPCR, 2003), mais cette mesure ne semble pas avoir d'incidence sur le nombre d'accidents qui se produisent sur chaussée sèche.

Par ailleurs, selon les rares études qui se sont penchées sur cette question, l'amélioration de la **brillance** ne semble pas avoir d'impact sur le nombre d'accidents.

Autres effets

Les traitements de la chaussée doivent favoriser la mobilité, puisque la vitesse de parcours augmente du fait d'un meilleur confort de conduite. L'augmentation de la vitesse dépend du volume du trafic et de l'envergure des traitements mis en œuvre.

On peut aussi espérer une diminution des nuisances sonores, suite à l'amélioration ou au remplacement du revêtement par un revêtement d'une épaisseur idoine. Toutefois, cet effet est de courte durée et disparaît rapidement (par exemple, après le premier hiver).

Coûts

Les coûts associés au traitement de la chaussée dépendent du type de traitement mis en œuvre (par exemple, le bitume poreux coûte plus cher) et de la durée de vie escomptée du revêtement.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Les traitements de la chaussée sont généralement rentables, surtout sur les routes à forte circulation. Mais les résultats dépendent du type de traitement mis en œuvre. Généralement, la réfection ordinaire du revêtement et l'amélioration de l'adhérence s'avèrent rentables sur les routes très fréquentées, alors que sur les routes ayant un faible trafic, les avantages sont à peu près équivalents aux coûts. Notons, que les principaux avantages résultent des effets sur la mobilité et non d'un impact sur la sécurité.

3.3.10 Eclairage

Description

Un **éclairage des routes** suffisant permet, la nuit tombée, de réduire le nombre d'accidents car on voit mieux la route, les autres véhicules et les abords de la route. Il est important de mettre en place un éclairage uniforme sur l'ensemble de la chaussée. L'éclairage doit donc être choisi en fonction des propriétés de réflexion du revêtement. La mise en place d'un éclairage peut être prioritaire à l'approche d'intersections, d'agglomérations et sur les routes ayant une forte densité de circulation et/ou une vitesse de circulation élevée (ERSO, 2006).

Impact sur la sécurité

Plusieurs études ont montré que la mise en place d'un **éclairage artificiel** suffisant permet de réduire de façon significative le nombre d'accidents après la tombée de la nuit, même si, dans certains cas, la vitesse des véhicules augmente considérablement. Notons que cet impact concerne plus les accidents qui touchent les piétons que les autres types d'accidents. Par ailleurs, les effets de l'éclairage des routes ne varient pas beaucoup d'un environnement routier à un autre (autoroutes, zones urbaines, rurales). **L'amélioration de l'éclairage existant** a aussi un impact considérable sur la sécurité comme le démontrent la plupart des études (Elvik, Vaa, 2004).

Il faut noter, toutefois, que les effets peuvent varier en fonction de la zone ou des conditions dans lesquelles ces mesures sont appliquées (par exemple, axes ou intersections).

Autres effets

Il n'existe aucune étude sur les effets de l'éclairage des routes sur la mobilité ou sur l'environnement. On peut observer une légère augmentation du trafic pendant les heures d'obscurité. Le principal point faible des mesures d'éclairage réside dans leurs coûts d'exploitation et le gaspillage d'énergie qui a un impact négatif bien documenté sur l'environnement. Par exemple, depuis quelques années, on éclaire de plus en plus les réseaux routiers en Europe ce qui génère un gaspillage important d'énergie et des ressources financières et cet état de fait risque d'aboutir à l'abandon de l'éclairage sur les routes en milieu rural ou sur les autoroutes. C'est ce qui s'est passé en Belgique wallonne, où toutes les autoroutes étaient éclairées et il a été décidé de ne plus les éclairer à cause des coûts énergétiques trop élevés que cela engendrait.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Le coût de l'éclairage des routes varie énormément en fonction du type d'installation. Du fait du fort impact sur la sécurité et des coûts relativement faibles, par rapport à d'autres mesures d'infrastructure, l'installation ou la modernisation de l'éclairage des routes s'avère en général rentable. Exception faite, peut-être, des routes en milieu rural ayant un très faible volume de circulation (Elvik, Vaa, 2004).

- L'éclairage des routes en Norvège s'est avéré très rentable avec un rapport bénéfice-coût allant de 7:1 à 9:1 (PROMISING, 2001). La modernisation d'un système d'éclairage existant semble s'accompagner d'une rentabilité moindre mais qui reste tout de même satisfaisante (2,5:1 à 4:1) (Elvik, Vaa, 2004).

3.3.11 Passages à niveau

Description

Les mesures qui portent sur les passages à niveau visent à réduire les probabilités d'accidents entre les trains et les usagers de la route, soit par l'élimination des passages à niveau, soit en les équipant de signaux d'avertissement du danger et de barrières de sécurité (Elvik, Vaa, 2004).

Les croisements rail/route dénivelés ont pour vocation d'éliminer les probabilités d'accident en séparant complètement les flux qui se croisent.

Une autre option est de **protéger les passages à niveau**, grâce à des panneaux de signalisation ou des barrières de sécurité automatiques qui s'accompagnent en général de feux clignotants et d'un avertissement sonore. La réussite de ce type de traitement dépend aussi du degré d'obéissance des automobilistes face à ces équipements; on a constaté qu'un temps d'attente trop long entre le début du signal et l'arrivée du train peut avoir un impact négatif sur le respect par les conducteurs de l'interdiction de traverser.

Impact sur la sécurité

Les **passages dénivelés** s'accompagnent d'un impact important sur la sécurité, puisque l'on élimine les conflits entre les différents mouvements de croisement ce qui entraîne une absence totale d'accidents après le croisement.

La protection des passages à niveau a aussi un impact positif sur la sécurité. L'ampleur de cet impact dépend du type d'équipement installé ainsi que de la portée de la modernisation, et donc des équipements qui existaient avant le traitement. Notamment, plus le traitement est ambitieux, plus l'impact sur la sécurité est élevé. L'installation de panneaux de signalisation avertissant de la présence d'un passage à niveau peut permettre de réduire d'environ 25% le nombre d'accidents, alors que l'installation de barrières de sécurité automatiques avec avertisseur sonore et lumineux peut réduire de 45-65% le nombre d'accidents.

Autres effets

Les passages à niveau entraînent des temps d'attente supplémentaires pour les automobilistes; mais, en fonction de la fréquence des trains et du volume de circulation, seul un petit nombre d'usagers de la route est touché. On observe une augmentation des nuisances sonores et des émissions du fait de l'arrêt et du redémarrage des véhicules; mais ces effets ne sont quantifiés dans aucune étude. Dans certains pays, les décideurs tiennent compte aussi du confort et de la sécurité dans les déplacements, même lorsqu'il n'est pas possible de les quantifier.

Coûts

Les passages dénivelés coûtent beaucoup plus cher que la simple protection des passages à niveau. Le coût des traitements des passages à niveau dépend du site et du type de traitement.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Cet investissement est généralement rentable. Plusieurs exemples, surtout dans des régions à forte densité de population en Europe, révèlent que les traitements des passages à niveau sont très efficaces. Mais le choix entre un passage à niveau ou un passage dénivelé dépend de plusieurs critères. Le nombre de trains quotidiens et le volume du trafic routier sont les principaux paramètres à prendre en compte, car ils ont une incidence tant sur la fréquence des accidents que sur le ralentissement de la circulation au point de passage. Dans certains cas, on peut envisager la création d'un passage dénivelé pour répondre à des préoccupations météorologiques ou à des problèmes de visibilité, même si, d'un point de vue strictement financier, cela ne semble pas avantageux. Cependant, on ne peut tirer aucune conclusion générale.

- Les croisements rail/route dénivelés ont été évalués dans le cadre du projet ROSEBUD (2005). Les résultats finlandais mettent en évidence une rentabilité marginale; or, un rapport bénéfice-coût satisfaisant de 1:1 à 3:1 a été calculé en Israël.

3.4 Intersections

3.4.1 Impact du type d'intersection sur la sécurité routière

Le choix du tracé d'une intersection dépend de plusieurs facteurs dont l'importance varie d'un cas à l'autre et qui doivent faire l'objet d'une évaluation minutieuse. Ces facteurs comprennent essentiellement (AIPCR, 2003, ERSO, 2006) : la sécurité du trafic, le type et la fonction de la route, le nombre de branches qui convergent, la densité de la circulation, le tracé et la vitesse, les priorités fixées, la superficie disponible, l'occupation des sols voisins, la cohérence du tracé du réseau, les facteurs environnementaux et les coûts.

Le type d'intersection doit correspondre au type de la route, à son environnement et à sa capacité, afin d'assurer une bonne lisibilité tant de la route que de l'intersection, et un niveau de sécurité satisfaisant. De ce fait, les intersections ou ronds-points par exemple, ne devraient pas être utilisés sur les autoroutes, et les carrefours avec feux tricolores ne devraient pas être utilisés sur les routes en milieu rural, sauf dans des cas bien précis. La figure 3.9 ci-dessous donne des indications quant au type d'intersection qu'il faut choisir en fonction des flux de circulation.

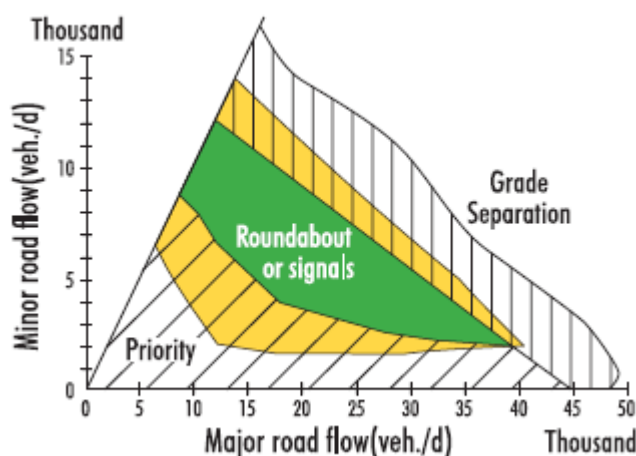


Figure 3.9. Type d'intersection en fonction de la densité du trafic (IHT, 1987)

Les paragraphes suivants présentent de façon détaillée l'efficacité des différents types d'intersection.

3.4.2 Ronds-points

Description

Les ronds-points sont des intersections sur lesquelles la circulation tourne dans le sens inverse des aiguilles d'une montre (pour les pays avec conduite à droite) autour d'un terre-plein circulaire (Elvik, Vaa, 2004). Persaud et al. (2001) estiment que la conversion d'une intersection classique avec panneaux 'stop' ou avec feux de circulation en rond-point peut permettre de réduire considérablement le nombre d'accidents de la route et surtout les accidents corporels car les ronds-points améliorent la fluidité du trafic et la sécurité routière en ralentissant la circulation, mais aussi en éliminant ou atténuant certains types de points de conflits que l'on trouve généralement aux intersections faisant un angle (voir figure 3.10). Ces conflits opposent ceux qui veulent tourner à gauche au trafic circulant dans le même sens ou en sens inverse, ils concernent les collisions arrières et les conflits à angle droit tant aux feux de circulation qu'aux panneaux STOP. La configuration spécifique des ronds-points permet à l'ensemble du trafic de circuler dans une direction avec des règles de priorité uniformes (par exemple, céder la priorité à ceux qui se trouvent déjà sur le rond-point). Les conflits des virages à gauche qui s'opposent à la circulation en sens inverse disparaissent et la vitesse est réduite.

Impact sur la sécurité

On constate un impact important sur la sécurité lors de la création d'un **rond-point** (Elvik et Vaa, 2004; Brenac, 1994; Persaud et al. 2001). Selon ces études, en général, la création de ronds-points donne lieu à une diminution substantielle du nombre d'accidents corporels, allant de 20% à environ 80%. Certaines études semblent indiquer que les ronds-points ont un impact négatif sur la sécurité pour ce qui est des accidents matériels. Et les ronds-points semblent avoir moins d'impact sur la sécurité lorsqu'ils remplacent des intersections contrôlées par un feu tricolore, que lorsqu'ils remplacent des intersections contrôlées par des panneaux «Cédez le passage».

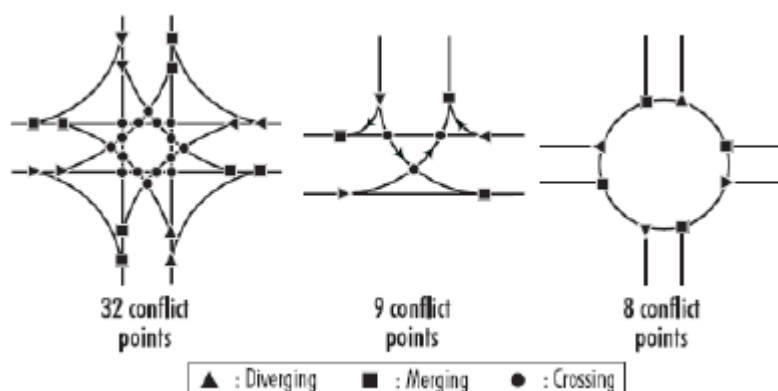


Figure 3.10. Points de conflit des différents types d'intersection

Autres effets

Bien que les ronds-points se caractérisent par des vitesses de circulation moins importantes, les automobilistes ont moins l'impression de perdre du temps, surtout parce qu'ils acceptent une réduction de la distance entre véhicules sur le rond-point. L'amélioration globale de la mobilité dépend de la répartition des arrivées des véhicules et des variations quotidiennes des conditions de circulation; il est donc difficile d'établir une règle générale. Pour ce qui est des émissions, on peut observer une réduction lorsque l'on remplace une intersection contrôlée par des feux tricolores par un rond-point, et une augmentation lorsque l'on remplace une intersection contrôlée par des panneaux «Cédez le passage» par un rond-point. Aucune conclusion générale ne peut être tirée en la matière.

Coûts

Les coûts de création d'un rond-point varient d'un pays à l'autre et d'un site à l'autre et varient en fonction du type de rond-point.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Dans la plupart des études pertinentes, les ronds-points apparaissent comme rentables du fait des avantages incontestables qu'ils présentent en termes de sécurité et de mobilité, et qui s'accompagnent de coûts de mise en œuvre relativement peu élevés (comparé à d'autres infrastructures). Pourtant, l'efficacité dépend aussi du type de rond-point et de la densité de trafic que le rond-point peut accepter.

- La rentabilité des ronds-points en zone urbaine correspond généralement à des rapports bénéfice-coût de l'ordre de 1,25:1 à 8:1. Ces résultats proviennent de la République Tchèque (ROSEBUD, 2005) et de Norvège (PROMISING, 2001)

3.4.3 Aménagement des intersections

Description

La canalisation de la circulation aux intersections vise à séparer les flux de circulation et à réduire les zones de conflit entre les différents flux qui se croisent, mais aussi à favoriser la visibilité, à définir les comportements de conduite en indiquant les priorités. Pour ce faire, on peut utiliser des îlots de séparation (canalisation physique de la circulation) ou un marquage au sol (canalisation de la circulation peinte), on peut avoir une canalisation de la circulation mineure ou intégrale et on peut inclure les virages à gauche, à droite et les voies de dépassement, en fonction du type d'intersection concernée. Pour être plus précis, on peut envisager les mesures suivantes : création de voies (une, deux ou trois) pour tourner à gauche ou pour tourner à droite (une ou deux) à l'approche d'une intersection sur les grands axes, l'allongement des voies existantes, la création de voies d'accélération pour les virages à droite vers un grand axe ou pour les virages à gauche aux intersections avec séparation des sens de circulation. L'installation de terre-pleins centraux pour séparer les deux sens de circulation ou l'élargissement des terre-pleins existants peut aussi être envisagée. La création d'un accotement sur les axes secondaires a aussi un impact positif sur la sécurité aux intersections.

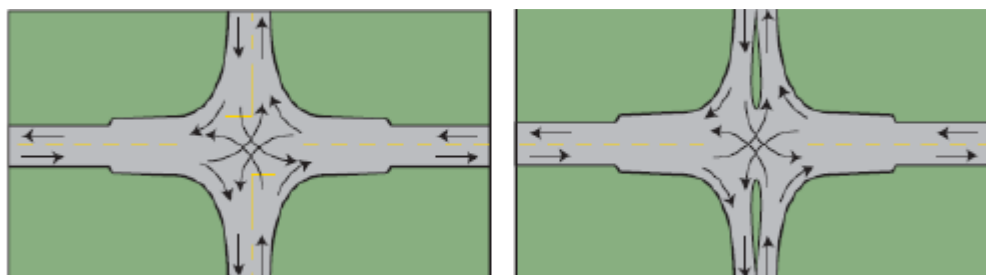


Figure 3.11. *Canalisation de la circulation aux intersections*

Les intersections à quatre branches (en croix) présentent des taux d'accidents plus élevés que les intersections à trois branches (en T), car les points de conflit qui opposent les divers flux de circulation sont plus nombreux. Selon Bared et Kaiser (Bared, Kaiser, 2001), l'une des mesures de sécurité routière le plus souvent utilisée pour diminuer le nombre d'accidents aux intersections est la mise en place d'une 'chicane' (pour transformer un croisement en deux intersections en T).

Ces **intersections en baïonnette** ont pour objectif de réduire le nombre de points de conflit (Elvik, Vaa, 2004) et peuvent être construites de deux façons: chicane gauche-droite et chicane droite-gauche.

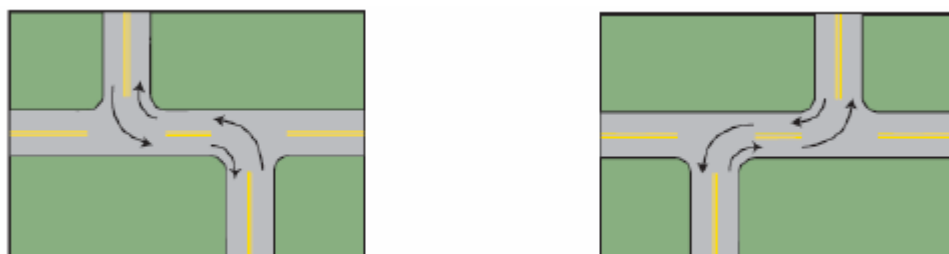


Figure 3.12. *Intersections en baïonnette*

Le **réalignement** d'une intersection peut comprendre un changement de l'angle entre les routes, un changement de la déclivité des routes et/ou toute autre mesure supplémentaire susceptible d'améliorer les conditions de visibilité à l'approche de l'intersection.

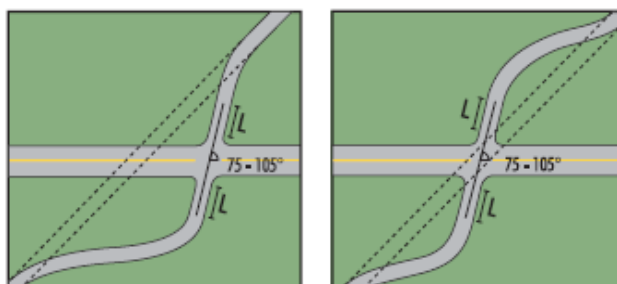


Figure 3.13. *Réalignement des intersections*

Impact sur la sécurité

La majorité des mesures de **canalisation de la circulation** semble avoir plus d'impact sur le nombre d'accidents sur les croisements en croix que sur les intersections en T. Plus la méthode utilisée pour canaliser la circulation est intégrale, plus son impact sur les accidents est important (ERSO, 2006).

L'impact des **intersections en baïonnette** dépend de la densité du trafic sur l'axe secondaire avant l'intersection. Le nombre d'accidents corporels n'est significativement réduit que si la densité de circulation sur l'axe secondaire est importante.

Les résultats des recherches au sujet du **réalignement des intersections** sont peu concluants (Elvik, Vaa, 2004). On peut toutefois déduire qu'un angle inférieur à 90 degrés donne lieu à moins d'accidents corporels et l'inverse semble être vrai pour les accidents matériels. A l'approche de l'intersection, une réduction de la déclivité de plus de 3% à moins de 3% semble s'accompagner d'une réduction du nombre d'accidents corporels mais aussi d'une augmentation du nombre d'accidents matériels. Dans certaines études, les effets de l'amélioration des triangles de visibilité aux intersections ne sont pas significatifs sur le plan statistique.

3.4.4 Régulation du trafic aux intersections

Description

La plupart des pays (avec conduite à droite) appliquent la règle de la priorité à droite sur les intersections sans signalisation en milieu rural. Cependant, dans la plupart des cas, c'est sur ces intersections non contrôlées que l'on rencontre des problèmes de sécurité, avec un plus grand nombre d'accidents (matériels et/ou corporels). Pour augmenter la sécurité, améliorer la fluidité du trafic et simplifier la prise de décision pour les conducteurs sur ces intersections non contrôlées, divers programmes de contrôle de la circulation et des priorités peuvent être envisagés.

Les panneaux 'Cédez le passage' à l'approche d'une intersection, assortis de marquages au sol appropriés, sont le moyen le plus simple de réguler la circulation et de garantir le respect des priorités.

Les panneaux STOP (sur deux ou sur toutes les branches) donnent au conducteur plus de temps pour observer la circulation à l'intersection et pour céder le passage à qui de droit. Sur les intersections avec deux panneaux STOP, les automobilistes qui circulent sur l'axe secondaire doivent céder le passage aux automobilistes qui circulent sur l'axe principal. Pour les intersections avec des panneaux STOP à toutes les branches, c'est la règle du « premier entré / premier sorti » qui s'applique (c.-à-d. c'est le premier arrivé qui passe en premier).

Les feux de circulation aux intersections permettent de séparer les différents flux de trafic. Les feux de circulation peuvent être minutés (nombre et durée fixes des phases) ou activés par l'arrivée d'un véhicule (ou d'un usager), la durée d'une phase étant alors optimisée en fonction du nombre de véhicules qui arrivent à l'intersection ou du nombre de piétons qui attendent, avec une durée maximale fixe. Il est aussi possible de superposer des phases correspondant à différents flux de circulation (par exemple, véhicules tournant à droite synchronisés avec la phase piétons, ou véhicules tournant à gauche synchronisés avec les flux venant en sens inverse).

Impact sur la sécurité

On ne peut observer qu'une petite diminution du nombre d'accidents après la mise en place de **panneaux 'Cédez le passage'** aux intersections non contrôlées. Les résultats des études sont peu concluants et ne peuvent être validés sur le plan statistique. Cet impact limité sur la sécurité s'explique peut-être par l'augmentation de la vitesse sur l'axe principal (Elvik, Vaa, 2004).

En revanche, la mise en place de **panneaux STOP** aux intersections sans feux, semble avoir un impact important sur la sécurité avec une réduction d'environ 20-45% du nombre d'accidents corporels. De même, l'installation de **feux de circulation** semble avoir un effet positif sur les croisements d'environ 30%. Les chiffres pour les Intersections en T sont un peu moins élevés. Il faut tout de même noter que le degré d'impact varie énormément en fonction du type d'accident.

La modification des **feux existants**, telle que la réorganisation des phases, l'élimination des phases partagées, la mise en place d'une phase séparée pour tourner à gauche, l'introduction d'une phase piétons séparée etc., a un impact positif sur la sécurité, mais certains des résultats disponibles sont peu concluants.

Autres effets

L'installation de panneaux 'Cédez le passage' peut entraîner une augmentation de la vitesse sur l'axe principal et une diminution de la vitesse sur l'axe secondaire. Dans le cas des panneaux STOP, les automobilistes qui circulent sur l'axe secondaire peuvent être retardés. La régulation du trafic augmente aussi les temps d'attente aux intersections. Cependant, pour les intersections ayant une forte densité de circulation, la régulation du trafic peut améliorer le temps d'attente global de l'ensemble des flux de circulation. Il existe des études spécifiques qui ont quantifié ces effets dans des circonstances spécifiques, mais l'ampleur de ces effets dépend de la route et des conditions de circulation propres à chaque cas.

Pour ce qui est des effets sur l'environnement, plusieurs études sur l'impact des panneaux STOP confirment une augmentation des nuisances sonores et des émissions.

Coûts

Bien évidemment, les coûts d'installation et d'entretien de panneaux STOP et de panneaux de priorité sont bien moins élevés que ceux des feux de circulation.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Les incertitudes qui entourent l'impact sur la sécurité des panneaux de priorité sont telles qu'aucun résultat fiable de rentabilité ne peut être identifié. Quant aux panneaux STOP, les exemples étudiés par Elvik et Vaa (2004) montrent que cette mesure est rentable surtout en milieu rural avec une faible densité de circulation. Le contrôle par feux tricolores semble être rentable aux croisements en croix, mais on ne dispose d'aucun indice permettant d'affirmer que cette mesure est rentable pour les intersections en T.

- Une évaluation de la rentabilité de l'installation de feux de circulation sur les intersections en milieu rural a révélé un rapport bénéfice-coût légèrement positif (1,25:1), en ne tenant compte que de l'impact sur la sécurité. Le gain de temps est considéré comme un avantage supplémentaire (ROSEBUD, 2005)

3.5 Zones urbaines

3.5.1 Plans d'apaisement du trafic

Description

La modération ou apaisement de la circulation fait intervenir de façon coordonnée des techniques d'ingénierie de la circulation et des mesures de régulation sur l'ensemble d'un quartier/d'une zone afin d'y améliorer la circulation et l'environnement (Elvik, Vaa 2004), et ce en diminuant ou interdisant le passage des voitures, en limitant la vitesse et en modifiant les règles qui régissent l'accès et le stationnement dans les quartiers résidentiels. Les **plans d'apaisement du trafic** peuvent comprendre :

- l'aménagement de rues piétonnes
- la création de cours urbaines (*woonerfs*) (cf. figure 3.14)
- l'introduction de dos d'âne
- l'abaissement de la vitesse autorisée
- l'instauration d'un sens de circulation dans les rues résidentielles
- la mise en place d'une régulation de la circulation automobile et piétonnière par des feux
- la création de places de stationnement réservées aux habitants du quartier

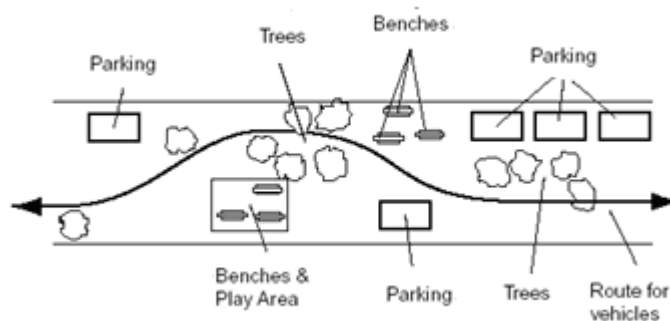


Figure 3.14. Plan d'une cour urbaine (*woonerf*)

Chacune de ces actions peut être considérée séparément, mais les plans d'apaisement du trafic sur l'ensemble d'un quartier conjuguent généralement plusieurs de ces mesures et, dans ce cas, on évalue le plan dans son ensemble.

Impact sur la sécurité

Plusieurs études se sont penchées sur les **plans d'apaisement du trafic** à l'échelon d'un quartier. Elvik et Vaa (2004) font la synthèse des conclusions de plusieurs de ces études et signalent un impact important sur la sécurité en termes de réduction du nombre d'accidents corporels allant d'environ 15% sur l'ensemble du quartier étudié à environ 30% dans les rues résidentielles de ce quartier. Les résultats d'autres études de cas du même ordre (ROSEBUD, 2005) confirment ces tendances générales.

Autres effets

Les niveaux de bruit baissent considérablement dans les rues résidentielles qui bénéficient de ces plans d'apaisement de la circulation. Plusieurs études le confirment. Quant à la pollution de l'air, on observe une amélioration notable surtout sur les routes locales et cet effet est fortement lié à la réduction du trafic. Cependant, cet effet positif est en partie neutralisé par le fait que l'utilisation de régimes de vitesses plus faibles et l'utilisation du ralenti provoquent plus d'émissions. Notons par ailleurs que l'effet environnemental positif dans les rues résidentielles s'assortit généralement d'effets négatifs sur les grands axes qui accueillent le trafic après les zones de restrictions. L'apaisement de la circulation a un impact négatif sur la mobilité (augmentation des temps de trajet), du fait des restrictions et de la limitation de la vitesse.

Il faut aussi noter que les plans d'apaisement du trafic sont parfois mal acceptés du fait des inconvénients qu'ils entraînent en termes de temps de trajet.

Coûts

Les coûts des plans d'apaisement du trafic sur l'ensemble d'un quartier varient énormément en fonction du type de mesures d'ingénierie de la circulation mises en œuvre et en fonction de l'étendue du quartier concerné. D'un autre côté, il est possible de mettre en œuvre des mesures d'apaisement peu onéreuses telles que les dos d'âne. Les frais d'entretien doivent aussi être inclus dans le calcul des coûts de mise en œuvre.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Les études existantes indiquent que les plans d'apaisement du trafic se caractérisent généralement par une rentabilité allant de marginale à satisfaisante (ROSEBUD, 2005, Elvik, Vaa, 2004). Le coût relativement faible des mesures d'ingénierie de la circulation associé à leur impact important sur la sécurité, les rendent rentables dans la plupart des cas. Il faut tout de même prendre soin d'intégrer aux calculs et de quantifier les effets (négatifs) sur la mobilité et (positifs) sur l'environnement.

- Un plan important d'apaisement du trafic dans un quartier résidentiel d'Athènes, Grèce, a donné des résultats satisfaisants avec un rapport bénéfice-coût de 1,8:1 (ROSEBUD, 2005).

3.5.2 Routes de contournement

Description

Les routes de contournement sont des routes qui permettent au trafic longue distance d'éviter les zones urbaines, ce qui permet d'éviter les conflits entre le trafic local et le trafic longue distance. Les routes de contournement visent aussi à débarrasser les zones urbaines des poids lourds et du trafic en transit, afin d'assurer une circulation plus fluide, de meilleures conditions pour l'environnement et de sorte à faciliter la mobilité des piétons, des cyclistes et autres usagers du réseau routier local à l'intérieur de ces zones. Les routes de contournement sont généralement conçues à partir de normes applicables aux routes interurbaines, avec des limites de vitesse plus élevées, des connexions limitées vers le réseau local et des intersections ou des échangeurs d'un très haut niveau pour assurer ces connexions.

La construction de routes de contournement peut aussi faciliter la mise en œuvre de plans d'apaisement du trafic à l'intérieur de l'agglomération (ou même en être à l'origine).



Figure 3.15. Route de contournement

Impact sur la sécurité

Plusieurs études ont mis en évidence l'impact très positif sur la sécurité des nouvelles **routes de contournement**. L'impact moyen sur le nombre d'accidents corporels se traduit par une réduction d'environ 25% tant sur la route de contournement que sur le réseau local. Qui plus est, plus le taux d'accident était élevé avant la construction de la route de contournement, plus le déplacement du trafic de transit du réseau urbain local vers celle-ci est important, et plus l'impact sur la sécurité de la nouvelle route de contournement est important.

Mais cet impact positif sur la sécurité est en partie annihilé par l'augmentation de la vitesse à l'intérieur de l'agglomération, résultant de la diminution de la densité du trafic. Lorsque la construction d'une route de contournement s'assortit d'un abaissement de la vitesse autorisée ou d'autres mesures d'apaisement de la circulation à l'intérieur de la zone urbaine, l'impact sur la sécurité est normalement plus important.

Il faut porter une attention particulière aux intersections entre les routes de contournement et le réseau routier existant, car dans certains cas, on observe de nombreux accidents sur les nouvelles intersections, surtout pendant les mois qui suivent leur construction.

Autres effets

Les routes de contournement améliorent la mobilité tant pour le trafic automobile local que pour le trafic longue distance. On peut également en attendre une amélioration de la mobilité des piétons et des cyclistes du fait de la diminution de la densité du trafic, sauf en cas d'augmentation de la vitesse à l'intérieur de la zone urbaine.

On peut aussi compter sur un effet positif sur l'environnement à l'intérieur de l'agglomération, qui se traduit par une diminution du bruit et des émissions car la circulation est moins dense et moins congestionnée. Toutefois, la construction d'une route de contournement porte atteinte au paysage, ce qui peut être considéré comme un effet négatif. De plus, les routes de contournement peuvent donner naissance à une expansion urbaine tentaculaire et un développement urbain menant, à terme, à une densification des transports (Elvik, Vaa, 2004)

Coûts

Les coûts de mise en œuvre et d'entretien des routes de contournement varient en fonction du type de route et de la topographie.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Les routes de contournement se caractérisent par des coûts de mise en œuvre et d'entretien élevés, mais ont un impact positif important sur la sécurité, sur la mobilité et sur l'environnement. En général, ces investissements s'avèrent très rentables. Là encore, la portée de cette rentabilité dépend des caractéristiques du réseau routier et de la région. Elle est élevée dans les zones à forte densité de population avec un réseau routier connaissant une densification de son trafic.

- ROSEBUD (2005) indique un rapport bénéfice-coût marginal de 1:1 pour la construction de routes de contournement en Suède, certainement à cause de la faible densité du trafic.

3.5.3 Amélioration de la réglementation concernant l'occupation des sols

Description

Des études ont montré que le développement de superficies importantes sans plan d'occupation des sols à long terme peut donner lieu à un accroissement inutile du trafic ou à un système de circulation dangereux et compliqué pouvant ensuite entraîner une augmentation du nombre d'accidents de la route (Fridstrom et al., 1995). Dans les zones urbaines, où le risque d'accident corporel par kilomètre parcouru est plus élevé qu'en milieu rural, un accroissement de la taille de la conurbation peut entraîner une augmentation du taux d'accidents. C'est en ce sens que l'occupation des sols et les plans d'occupation des sols peuvent, dans certains cas, être considérés comme des mesures de sécurité routière. Définir clairement les activités spécifiques à une zone donnée (résidentielle, commerciale, industrielle ou occupation mixte) de sorte à minimiser la densité de la circulation et les distances à parcourir, définir un réseau routier qui permette de filtrer le trafic en transit, concevoir chaque route avec des spécifications précises afin de minimiser le risque d'accidents, simplifier le système de circulation et le rendre plus lisible, sont autant d'actions que l'on peut entreprendre pour améliorer le niveau de sécurité routière en milieu rural ou urbain. De plus, la séparation des trafics piétonnier, cycliste et automobile (roulant à plus de 30 km/h) dans et autour des villes, agglomérations et villages doit être une priorité importante de la planification du réseau et de la planification de l'occupation des sols. Par ailleurs, il faut s'assurer que la sécurité fasse partie intégrante et soit inhérente à toute réglementation en matière d'occupation des sols. Bien que la réglementation en matière d'occupation des sols soit en voie d'amélioration dans 65% des pays membres de la CEDR, à l'exception de la Grèce, seuls 16% de ces pays envisagent d'aborder cette question à court ou moyen terme, ce qui tend à indiquer que cette mesure de sécurité routière n'est pas considérée comme prioritaire par ces pays.

Impact sur la sécurité

En général, les plans d'occupation des sols et l'occupation des sols elle-même ont une incidence sur la sécurité routière non seulement parce qu'ils répartissent le trafic dans une zone donnée, mais aussi par la façon qu'ils ont de répartir ce trafic sur différents types de routes, ce qui a des répercussions sur le choix des modes de transport et sur le taux d'accidents sur chaque type de routes (surtout sur les routes d'accès vers les zones résidentielles).

Selon une étude à ce sujet mentionnée par Elvik et Vaa (2004), il existe une forte corrélation inverse entre la densité du développement urbain et la densité du trafic puisqu'une augmentation de 50% de la densité du développement (de 600m² à 300 m² par habitant) entraîne une réduction de la densité du trafic d'environ 33%. La densité ou volume de trafic est directement corrélée au taux d'accident et, par exemple, toutes les routes en zone urbaine présentent un taux d'accidents corporels supérieur à la moyenne de toutes les voies publiques. Le taux d'accident sur les routes de desserte dans les zones à forte densité de population est sept fois plus élevé que celui des autoroutes.

Par conséquent une augmentation de la circulation dans ces zones à forte densité de population entraîne une augmentation du nombre d'accidents. Pour limiter cette densité de la circulation et donc limiter le nombre d'accidents dans un quartier donné, on peut par exemple construire des routes permettant de dévier le trafic en transit et construire de courtes routes d'accès de telle sorte à limiter la vitesse.

D'autres études montrent que dans les quartiers résidentiels totalement séparés et différenciés, on observe moins d'accidents que dans les quartiers qui ne sont pas isolés (différentiel du risque pour la santé attribuable aux accidents de la route : -64%). Pour ce qui est de la connexion entre le réseau routier local et le réseau principal, l'alimentation externe s'accompagne d'un risque moins élevé que l'alimentation interne (différentiel du risque pour la santé attribuable aux accidents de la route : -33%). Enfin, les routes qui n'accueillent pas le trafic en transit sont plus sûres que celles qui accueillent ce type de trafic (différentiel du risque pour la santé attribuable aux accidents de la route : -72%). Le déplacement de zones de travail et d'industries dans une région peut avoir des conséquences importantes sur le transport et représente une autre façon de maîtriser le trafic et donc d'avoir une emprise sur le niveau de sécurité routière, puisque, lorsqu'on installe une entreprise au centre-ville plutôt qu'en périphérie, on encourage les gens à utiliser les transports publics plutôt que la voiture pour aller au travail (Elvik, Vaa, 2004).

Autres effets

Même s'il est difficile à quantifier, les plans d'occupation des sols ont aussi un impact sur la mobilité. Pourtant, on sait que la vitesse moyenne augmente lorsque le kilométrage annuel parcouru par habitant augmente. Par conséquent, on peut en déduire que la vitesse moyenne est plus élevée dans une conurbation étendue ayant une faible densité de développement et moins élevée dans les conurbations plus denses avec une occupation des sols relativement modeste (Newman, Kenworthy, 1989).

Les questions environnementales liées à la circulation routière sont aussi impactées par les plans d'occupation des sols de plusieurs façons, puisque, en général, un schéma d'occupation des sols qui permet de limiter la densité du trafic permet aussi d'atténuer les nuisances sonores et la pollution. D'un autre côté, la limitation de la vitesse sur les routes de desserte dans les quartiers résidentiels peut avoir un effet négatif tant en termes de bruit (augmentation du bruit causée par les dos d'âne) qu'en termes de pollution de l'air (à très faible vitesse, les émissions de gaz d'échappement augmentent).

Coûts

Les coûts de la planification de l'occupation des sols et du développement d'une région varient considérablement d'un pays à l'autre, mais aussi d'une région à l'autre dans un même pays, en fonction des conditions locales. Les principaux facteurs ayant une incidence sur les coûts sont : la topographie, le type de sols et de constructions, la densité de construction, l'installation de systèmes techniques indispensables etc.

Exemples d'analyses coût-bénéfice (ACB)

Il est très difficile d'effectuer une analyse coût-bénéfice de la planification de l'occupation des sols dans laquelle on quantifie les coûts et les avantages des divers principes de développement, car ces mesures visent un large éventail d'objectifs qui sont souvent difficiles à quantifier en termes monétaires. Par exemple, dans les quartiers d'habitation, les habitants privilégient surtout la vue, le faible taux de délinquance, la proximité à la campagne, le faible coût de la vie, la tranquillité et le silence alors que dans les zones industrielles, on privilégie l'accès.

4 CHOIX DES INVESTISSEMENTS LES PLUS PROMETTEURS

Dans la présente synthèse, les caractéristiques, l'impact sur la sécurité et les coûts de mise en œuvre de plusieurs investissements d'infrastructure ont été analysés de façon détaillée, suite à une étude de la CEDR (2006) portant sur un large éventail de domaines d'intervention concernant les conducteurs, les véhicules et les infrastructures qui ont été évalués et classés par les directeurs des routes européennes par ordre de priorité à court, moyen et long terme. Cette analyse est présentée dans les chapitres précédents, qui proposent une première évaluation de la rentabilité sur le plan de la sécurité des investissements considérés. Le présent chapitre fait la synthèse des résultats présentés. Qui plus est, un classement définitif des investissements est proposé, en fonction de leurs caractéristiques, de leur impact sur la sécurité et de leurs coûts de mise en œuvre. Les résultats concernant une liste préliminaire d'investissements prometteurs en matière de sécurité routière sont analysés de façon plus détaillée.

4.1 Récapitulatif des investissements

Le tableau 4.1 présente plusieurs investissements de sécurité routière et fait la synthèse des résultats d'une analyse exhaustive. La liste des **investissements de sécurité routière étudiés** est ainsi présentée. Les investissements de sécurité routière de cette liste sont classés en fonction du type d'infrastructure sur lesquelles on peut les mettre en œuvre (autoroutes, routes en milieu rural, intersections, zones urbaines). Notons que le classement proposé porte sur le principal type d'infrastructure auquel peut s'appliquer chaque investissement; mais n'oublions pas que certains investissements pour la sécurité routière peuvent s'appliquer à plusieurs types d'infrastructures. Les investissements sont aussi classés en fonction du domaine d'investissement, c'est à dire en fonction de l'aspect opérationnel ou de l'élément d'infrastructure auxquels ils s'appliquent (par ex. courbes, bords de route, régulation du trafic etc.).

Cinquante cinq investissements de sécurité routière spécifiques ont été analysés ; ils se répartissent en dix huit **domaines d'investissement**, chacun de ces domaines appartenant à une ou plusieurs des quatre catégories d'infrastructure. L'analyse qui suit porte sur chaque niveau d'investissement. Notamment, le tableau 4.1 indique si les investissements considérés peuvent s'appliquer à des tronçons simples, à des courbes ou à des intersections. Sur les cinquante cinq investissements considérés, trente six peuvent s'appliquer à des tronçons simples, trente huit investissements peuvent s'appliquer à des tronçons en courbe et trente sept à des intersections. La moitié des investissements peuvent s'appliquer à plusieurs éléments de l'infrastructure, et quinze investissements peuvent s'appliquer aux trois éléments d'infrastructure.

3. Suite à l'analyse, une note ("élevé" ou "faible") a été donnée tant **aux coûts de mise en œuvre qu'aux effets en termes de sécurité**. Dans la présente synthèse, les investissements entraînant une réduction statistiquement significative du nombre d'accidents ont un classement «élevé», alors qu'une mesure qui ne porte pas à une réduction statistiquement significative du nombre d'accident, ou qui porte à une réduction statistiquement marginale ou à une augmentation du nombre d'accidents est considérée comme «faible». En outre, les investissements dont le montant ne dépasse pas 50 000-60 000 € (en moyenne par unité) ont été classés comme ayant un coût "faible" (bien que ces coûts puissent varier d'un pays à l'autre).

Il faut noter que ces classements reposent sur une **évaluation globale**, car les coûts et les effets sur la sécurité d'un investissement peuvent aussi dépendre de la portée de sa mise en œuvre (par exemple locale ou régionale) ou du type de mise en œuvre (par ex. mise en œuvre simple ou plus complexe).

Dans certains cas, les résultats de l'analyse n'étant pas probants, on a attribué à la fois l'étiquette "élevé" et "faible". Sur les cinquante cinq investissements analysés, quarante quatre ont un effet élevé sur la sécurité (en général, ou dans des conditions particulières). Or, seulement vingt cinq des cinquante cinq investissements ont un faible coût de mise en œuvre.

En règle générale, **un investissement alliant un niveau élevé de sécurité et un faible coût de mise en œuvre est considéré comme étant une solution optimale**. Cependant, sur les 55 investissements étudiés, 21 présentent un coût élevé de mise en œuvre et ont un effet important (élevé) sur la sécurité, 4 présentent un coût élevé de mise en œuvre et ont un effet moindre (faible) sur la sécurité, 7 ont un faible coût de mise en œuvre et un effet faible sur la sécurité et 10 allient faibles coûts de mise en œuvre et effet important (élevé) sur la sécurité. Notons par ailleurs que 5 investissements ont des coûts élevés de mise en œuvre et un effet sur la sécurité qui peut être soit élevé, soit faible, et 3 investissements présentent de faibles coûts de mise en œuvre et un effet sur la sécurité qui peut être soit élevé, soit faible. Enfin, 4 investissements ont un effet important (élevé) sur la sécurité et des coûts de mise en œuvre qui peuvent être soit élevés, soit faibles et 1 investissement a un coût de mise en œuvre faible ou élevé et un effet sur la sécurité qui peut être soit élevé, soit faible.

Nombre d'investissements étudiés	Coûts de mise en œuvre	Impact sur la sécurité
10	Faible	Elevé
21	Elevé	Elevé
3	Faible	Elevé/faible
5	Elevé	Elevé/Faible
4	Elevé/Faible	Elevé
1	Elevé/Faible	Elevé/Faible
7	Faible	Faible
4	Elevé	Faible
55		

Enfin, un paramètre supplémentaire a été analysé dans le tableau 4.1, il s'agit de **l'acceptabilité** des mesures mises en œuvre. Ce paramètre est très important pour le choix des investissements les plus prometteurs et on lui a aussi attribué une note «élevée» ou «faible». Notons, toutefois, qu'il s'agit d'une évaluation générale et grossière de l'acceptabilité de chaque investissement à la lumière de l'expérience internationale. En tout, quarante sept des cinquante cinq investissements devraient avoir un niveau élevé d'acceptabilité, alors que six investissements pourraient avoir un niveau soit élevé, soit faible d'acceptabilité, en fonction des conditions de leur mise en œuvre.

Tableau 4.1. Récapitulatif des investissements

	Domaine d'investissement	Investissements	Coûts mise en oeuvre		Impact sur la sécurité		Zone d'intervention			Acceptabilité	
			Elevés	Faibles	Elevé	Faible	Courbe	Intersection	Tronçon	Elevée	Faible
Auto- routes	Construction d'autoroutes	Construction d'autoroutes	•		•		X	X	X	•	
	Construction d'échangeurs	Construction d'échangeurs	•		•			X		•	
Routes rurales	Traitement de la courbure horizontale	Augmentation du rayon de courbure	•		•		X			•	
		Introduction de courbes de transition	•		•		X			•	
		Diminution de la fréquence des virages	•		•	•	X			•	
		Surélévation/dévers	•		•	•	X			•	
	Traitement de la courbure verticale	Atténuation de la déclivité	•		•				X	•	
		Diminution de la fréquence des courbes	•		•	•	X			•	
		Amélioration des distances de visibilité	•		•		X	X	X	•	
	Traitements transversaux	Augmentation du nombre de voies	•		•	•	X		X	•	
		Elargissement des voies	•		•**		X		X	•	
		Création d'un accotement	•		•		X		X	•	
		Elargissement de l'accotement	•		•**		X		X	•	
		Introduction d'un terre-plein central	•	•	•		X		X	•	
		Elargissement du terre-plein central	•		•	•	X		X	•	
		Introduction de routes de type 2+1	•	•	•		X		X	•	
	Traitement des abords	Aplanissement des talus	•		•		X		X	•	
		Mise en place de zones de sécurité	•		•		X		X	•	
		Installation de glissières de sécurité		•	•		X		X	•	
		Remplacement des glissières par des glissières conformes à la norme EN 1317		•	•		X		X	•	
	Limitation de la vitesse	Limitation de la vitesse dans une zone non limitée		•	•		X	X	X		•
		Abaissement de la vitesse autorisée		•	•		X	X	X		•
		Création d'une zone de transition	•	•	•			X	X	•	•
	Régulation de la circulation et éléments opérationnels	Signalisation (réglementaire)		•	•			X		•	
		Signalisation (dangers)		•	•	•	X	X	X	•	
		Signalisation (directions)		•	•		X	X	X	•	
		Délinéateurs et marquage routier		•		•	X	X			•
		Marquage routier en relief		•		•	X	X			•
		Chevrons		•		•	X	X			•
		Délinéateurs sur support		•		•	X	X			•
		Ralentisseurs sonors continus		•	•		X	X	X		•
	Systèmes de e-Sécurité	Systèmes de Navigation		•		•	X	X	X	•	
		PMV Météo	•		•			X	X	•	
		PMV encombrements	•		•			X	X	•	
		PMV messages individuels	•		•	•		X	X		•
		Systèmes d'amélioration de la visibilité	•		•		X	X	X	•	
	Traitements de la chaussée	Réfection ordinaire	•		•***		X	X	X	•	
		Amélioration de l'uni de la chaussée	•		•		X	X	X	•	
		Amélioration de l'adhérence	•		•***		X	X	X	•	
		Amélioration de la brillance de la chaussée	•		•		X	X	X	•	
	Eclairage	Installation d'éclairage artificiel		•	•***	•***	X	X	X	•	
		Amélioration de l'éclairage existant		•	•***	•***	X	X	X	•	
	Passages à niveau	Introduction de passages dénivelés	•		•			X		•	
		Protection des passages à niveau		•	•			X		•	
Intersections	Construction de ronds-points	Création de ronds-points	•		•			X		•	
	Aménagement des intersections	Canalisation de la circulation aux intersections		•	•			X		•	•
		Intersection en baïonnette	•		•***			X		•	•
		Réalignement de l'intersection	•		•	•		X		•	
	Régulation de la circulation aux intersections	Installation de panneaux de priorité		•		•		X		•	
		Installation de panneaux STOP		•	•***			X		•	
		Installation de feux tricolores	•		•			X	X	•	
		Modernisation des feux existants		•	•			X	X	•	
Zones urbaines	Plans d'apaisement du trafic	Plans d'apaisement du trafic	•	•	•	•		X	X	•	•
	Construction de routes de contournement	Construction de routes de contournement	•		•***				X	•	•
	Amélioration des plans d'occupation des sols	Amélioration des plans d'occupation des sols	•	•	•			X	X	•	•

* mise en œuvre sur l'ensemble d'un axe ou d'une zone

** élargissement petit ou moyen

*** dépend de la densité de la circulation

Remarque : les effets en termes de sécurité correspondent à une réduction du nombre d'accidents. Tant l'impact sur la sécurité que les coûts de mise en œuvre peuvent varier d'un pays à l'autre car ils dépendent de la situation au niveau national/local

4.2 Identification des investissements les plus prometteurs pour la sécurité routière

Comme indiqué ci-dessus, on privilégie les investissements pour la sécurité routière ayant un fort impact sur la sécurité et un faible coût de mise en œuvre. Cependant, les **investissements qui ont un fort impact sur la sécurité, mais présentent un coût de mise en œuvre élevé doivent aussi être pris en compte**. Les catégories d'infrastructure, les domaines d'investissement et les investissements individuels ayant un effet important sur la sécurité ont été identifiés et analysés et l'accent a été mis particulièrement sur ceux qui ont un faible coût de mise en œuvre.

En matière de sécurité routière, les investissements tels que le développement d'autoroutes ou la construction d'échangeurs, ont un effet important sur la sécurité, mais engendrent des coûts de mise en œuvre élevés.

La majorité des investissements de sécurité routière étudiés s'applique en premier lieu aux routes en milieu rural. Pour cette catégorie d'infrastructure, aucune tendance systématique de rentabilité n'a pu être identifiée ; en fait, il faut étudier les résultats au niveau des domaines d'investissement ou au niveau des investissements individuels. En particulier, les divers traitements appliqués aux infrastructures (tels que le traitement des courbures, des intersections et des chaussées) s'accompagnent généralement d'effets importants sur la sécurité et de coûts élevés de mise en œuvre, à quelques exceptions près pour lesquelles l'impact sur la sécurité n'est pas très élevé (par ex. réduction de la fréquence des virages). De plus, les domaines d'investissement liés à la route dans son ensemble, tels que la limitation de la vitesse et les traitements des abords, s'accompagnent en général d'effets importants sur la sécurité et de coûts de mise en œuvre relativement faibles, bien que dans certains cas, ces coûts puissent être plus élevés (par ex. mise en place de zones dégagées de tout obstacle dites 'de sécurité'). D'un autre côté, la régulation du trafic et les traitements opérationnels ont, dans la plupart des cas, des coûts de mise en œuvre faibles, mais donnent lieu à une moindre amélioration de la sécurité. Cependant, certains investissements spécifiques dans ce domaine ont un impact important sur la sécurité (par ex. signalisation réglementaire et panneaux d'avertissement aux intersections, ralentisseurs sonores continus). Les investissements dans le domaine des systèmes d'eSécurité sont, eux aussi, prometteurs. Ceci étant, certains investissements tels que les panneaux à messages variables (PMV) présentent des coûts d'installation élevés, or on ne connaît pas bien leurs effets en terme de sécurité.

Pour ce qui est des investissements qui s'appliquent essentiellement aux intersections, les résultats sur l'ensemble des domaines d'investissement sont un peu plus constants. Par exemple, tous les investissements ont un impact important sur la sécurité. Les investissements liés aux infrastructures ont des coûts de mise en œuvre élevés (par ex. ronds-points, baïonnettes) alors que les investissements liés à la régulation de la circulation ont un coût de mise en œuvre faible (par ex. panneaux STOP).

Enfin, les investissements en **milieu urbain** que nous avons étudiés ont un fort impact sur la sécurité et des coûts élevés de mise en œuvre. Il faut toutefois noter que les plans d'apaisement du trafic et les plans d'occupation des sols ont des coûts de mise en œuvre qui peuvent varier en fonction du traitement considéré.

A partir de cette analyse globale, on notera que, bien qu'il ne soit pas possible de formuler des règles générales pour une catégorie d'infrastructure ou pour un domaine d'investissement, on peut trouver dans chaque catégorie et dans la plupart des domaines d'investissement correspondant à ces catégories, des investissements individuels qui répondent aux exigences fixées. En conséquence, il est important de souligner que pour différents types d'infrastructures et différents problèmes de sécurité routière, des solutions rentables et appropriées existent, soit sous forme d'un investissement individuel, soit dans le cadre d'un ensemble d'investissements.

Tableau 4.2 Evaluation préliminaire des investissements les plus prometteurs

		Impact sur la sécurité	
		Elevé	Faible
Coût de mise en œuvre	Faible	Mise en place d'une séparation centrale sans élargissement de la route Introduction de routes de type 2+1 Installation de glissières de sécurité Remplacement des glissières conforme à la norme EN 1317 Abaissement de la vitesse autorisée Limitation de la vitesse Création d'une zone de transition de limitation de vitesse Signalisation (réglementaire) Signalisation (avertissements)* Ralentisseurs sonores continus Amélioration des feux tricolores existants Installation d'éclairage Modernisation de l'éclairage existant Protection de passages à niveau Canalisations de la circulation aux intersections Installation de panneaux STOP Plans mineurs d'apaisement de la circulation* Amélioration de l'occupation des sols	Signalisation (directions) Signalisation (avertissements)* Délinéateurs et marquages routiers Dispositifs de marquage routier en relief Balise à chevrons Délinéateurs montés sur supports Guidage d'itinéraire Installation de panneaux de priorité Installation d'éclairage Modernisation de l'éclairage existant Plans mineurs d'apaisement de la circulation*
	Elevé	Construction et aménagement d'autoroutes Construction d'échangeurs Augmentation du rayon de courbure Augmentation du nombre de voies* Introduction de courbures de transition Surélévation/dévers* Réduction de la déclivité Amélioration des distances de visibilité Elargissement des voies de roulement Introduction d'un accotement Elargissement de l'accotement Introduction d'un terre-plein central avec élargissement de la route Elargissement du terre-plein central* Aménagement de routes de type 2+1 Aplanissement des talus Instauration de zones de sécurité Création de zones de transition de limitation de vitesse PMV infos météo PMV infos encombrements PMV infos spécifiques* Systèmes d'amélioration de la visibilité Réfection ordinaire de la chaussée Amélioration de l'adhérence Introduction de passages dénivelés Mise en place de ronds-points Intersections avec baïonnettes Réalignement d'une intersection* Installation de feux tricolores Plans majeurs d'apaisement de la circulation* Construction de routes de contournement Amélioration des plans d'occupation des sols	Réduction de la fréquence des courbes (horizontales) Réduction de la fréquence des courbes (verticales) Surélévation/dévers* Augmentation du nombre de voies* Elargissement du terre-plein central* PMV infos spécifiques* Amélioration de l'uni de la chaussée Amélioration de la brillance de la chaussée Réalignement des intersections*

* Remarque : l'impact sur la sécurité et les coûts de mise en œuvre peuvent varier d'un pays à l'autre, car ils dépendent de la situation au niveau national/local

Une analyse plus détaillée des effets en termes de sécurité et des coûts de mise en œuvre de chaque investissement a permis d'identifier les investissements les plus prometteurs. Dans le tableau 4.2, les investissements sont **classés dans quatre catégories**, en fonction de la note qu'ils ont reçue pour leurs effets sur la sécurité et pour leurs coûts de mise en œuvre.

Dans le tableau 4.2, la première case (en haut à gauche) couvre les investissements ayant un faible coût et un impact important sur la sécurité, la case en bas à gauche couvre les investissements ayant un coût élevé et un effet important sur la sécurité, la case en haut à droite correspond aux investissements ayant un faible coût et un impact faible sur la sécurité et la case en bas à droite correspond aux investissements ayant un coût élevé et un impact faible sur la sécurité. Il faut noter que les investissements susceptibles de tomber dans les deux catégories (élevé et faible), tant en termes d'impact sur la sécurité qu'en termes de coûts de mise en œuvre, ont été placés dans les deux cases correspondantes.

Les investissements prioritaires en matière de sécurité routière sont les investissements qui ont un faible coût de mise en œuvre et un impact élevé sur la sécurité. La case qui correspond à ces priorités (en haut à gauche) dans le tableau 4.2, comprend dix-huit (18) investissements qui répondent ou peuvent répondre à tous les critères. Le lecteur notera que la plupart de ces investissements portent sur la limitation de la vitesse, la régulation du trafic ou des traitements légers d'infrastructure, ces mesures s'appliquant essentiellement au niveau local. Il est donc évident que cette liste ne peut, en aucun cas, couvrir tous les besoins en termes d'investissements de sécurité routière. En effet, dans certains cas, les problèmes de sécurité routière rencontrés nécessitent un traitement plus complexe ou plus exhaustif. Pour ces situations, il est peu probable que l'on puisse trouver dans cette liste des investissements à faible coût/fort impact, un investissement adéquat.

C'est pourquoi il s'avère nécessaire d'étudier d'autres investissements et notamment ceux qui présentent un coût élevé de mise en œuvre tout en ayant un impact important sur la sécurité. Malgré le coût supérieur de ces investissements, leur fort impact en termes de sécurité se traduit par une rentabilité allant de marginale à satisfaisante. Ces investissements sont énumérés dans la case du bas à gauche du tableau 4.2. On constate que ces trente et un (31) investissements couvrent un éventail important de solutions sur tous les types d'infrastructures et dans tous les domaines d'investissement. De plus, certains d'entre eux peuvent être mis en œuvre à une échelle régionale.

Grâce à ces résultats, nous constatons qu'il existe un grand nombre d'investissements de sécurité routière qui présentent un bon niveau de rentabilité et qui peuvent permettre de résoudre divers problèmes de sécurité routière. La recherche portant sur la rentabilité des investissements pour la sécurité routière a fourni des résultats intéressants et des indications utiles quant à l'efficacité de diverses mesures de sécurité routière.

Les résultats disponibles ont permis de retenir un ensemble d'investissements ayant un impact important sur la sécurité et que l'on peut considérer comme représentant de bonnes pratiques en matière d'investissements d'infrastructure rentables améliorant la sécurité routière. Parmi ce groupe d'investissements, nous avons surtout mis l'accent sur ceux qui ont un impact important sur la sécurité routière et qui, de préférence, engendrent des coûts de mise en œuvre peu élevés, c'est à dire, ceux qui se trouvent dans la colonne de gauche (surtout en haut à gauche) du tableau 4.2.

Les investissements pour la sécurité routière les plus prometteurs en termes de rentabilité constituent un groupe de cinq domaines d'investissement spécifiques, repris dans le tableau 4.3 ci-dessous.

Tableau 4.3. *Sélection des investissements les plus prometteurs soumis à une analyse plus approfondie*

- **Traitement des abords**
(zones de sécurité, glissières de sécurité)
- **Limitation de la vitesse / abaissement de la vitesse autorisée**
- **Aménagement des intersections**
(ronds-points, réalignement, intersections en baïonnette, canalisation de la circulation)
- **Régulation du trafic aux intersections**
(panneaux de signalisation, feux de circulation)
- **Programme d'apaisement de la circulation**

Pour ces investissements les plus prometteurs, nous avons analysé de façon plus poussée, au chapitre suivant, leurs effets sur la sécurité, leurs autres effets (mobilité, environnement etc.) et leurs coûts de mise en œuvre. Ensuite, le rapport coût-bénéfice de chaque investissement est donné ; ce ratio est considéré comme étant une mesure encore plus précise et représentative de la rentabilité que le ratio coût-efficacité. Les conditions dans lesquelles la rentabilité de chaque investissement peut être maximisée ou minimisée sont décrites et analysées, ce qui permet d'identifier les meilleures pratiques. De plus, à partir de cette analyse approfondie, nous présentons les points forts et les points faibles de chacun de ces investissements prometteurs, ainsi que les entraves éventuelles à leur mise en œuvre.

5 ANALYSE DÉTAILLÉE DES INVESTISSEMENTS LES PLUS PROMETTEURS POUR LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE

5.1 Traitement des abords

5.1.1 Description

Les **abords de la route** correspondent à la zone qui se trouve entre la bordure extérieure de l'accotement et celle de la chaussée (AASHTO, 2002) et représentent un élément routier important susceptible d'avoir un impact tant sur la survenue des accidents que sur leur gravité. Une configuration adéquate des abords peut non seulement réduire la probabilité d'accident, mais peut aussi atténuer les conséquences de ceux qui surviennent, grâce à l'élimination des obstacles et des fortes pentes. En conséquence, l'abord de la route est un élément de première importance pour la création d'un environnement routier sécuritaire. La création de bords de route indulgents est l'une des principales priorités à court terme des directeurs des routes en Europe (CEDR, 2006). De nombreux directeurs des routes considèrent que le traitement des arbres et des autres dangers le long des routes ainsi que l'amélioration globale du niveau de qualité des routes sont parmi les mesures liées aux infrastructures les plus prometteuses et ce, quels que soient les délais qu'on se fixe (CEDR, 2006).

Le traitement des abords concerne essentiellement les routes interurbaines et les routes en milieu rural. Les traitements des abords consistent principalement en : l'aplanissement des **talus**, la création ou l'extension des **zones de sécurité**, l'introduction d'un marquage et d'une signalisation appropriés et le retrait ou la sécurisation des éléments dangereux le long de la route. En outre, on peut établir une distinction supplémentaire entre «zone de sécurité», c'est à dire une zone contiguë à la route, dégagée de tout obstacle susceptible de gêner les véhicules en détresse (dans de nombreux pays l'accotement fait partie de la zone de sécurité), et la «zone de récupération», qui est la zone qui permet au conducteur de reprendre la maîtrise de son véhicule (qui peut aussi fournir un espace supplémentaire pour éviter que les véhicules ne dévient de leur trajectoire, pour les arrêts d'urgence, pour la circulation des cyclistes, des piétons etc.) (RISER, 2007).

De plus, on procède souvent à l'installation de **glissières de sécurité**, afin d'éviter les collisions avec les obstacles latéraux lorsque ces obstacles (par exemple, les arbres) ne peuvent pas être supprimés ou déplacés. La norme européenne concernant les glissières de sécurité (CEN, 1998), stipule que celles-ci doivent pouvoir se déformer sans céder. La norme EN 1317 adoptée par l'UE spécifie les performances et définit les critères d'essais pour différents types de glissières. Ce sont en général les autorités nationales compétentes qui déterminent leurs besoins en glissières de sécurité.

Le manuel de conception des routes de l'AASHTO définit la zone de sécurité comme étant la zone qui borde la chaussée et qui peut être utilisée en toute sécurité par les véhicules en difficulté. Cette zone peut comprendre un accotement, une zone de récupération, une zone de gravité limitée et/ou une berme dégagée. Il est généralement reconnu qu'une zone de sécurité plus large confère un environnement plus sûr pour les véhicules qui quittent la chaussée. Selon plusieurs études, une zone de sécurité bien conçue doit avoir les caractéristiques suivantes :

- i) avoir une largeur suffisante pour que les véhicules qui quittent la chaussée ne débordent pas de ses limites
- ii) avoir des talus ou fossés dont la pente ne favorise pas les tonneaux
- iii) avoir une surface qui ne favorise pas les tonneaux

Toujours concernant le dégagement des abords de la route, des études ont été effectuées sur l'élimination ou le traitement des obstacles latéraux. Dans la majorité des pays, les actions suivantes ont été mises en œuvre (RISER, 2007):

1. Supprimer l'obstacle
2. Reconcevoir l'obstacle de sorte qu'on puisse le traverser en toute sécurité
3. Déplacer l'obstacle
4. Atténuer la gravité d'un impact potentiel grâce à un dispositif escamotable approprié
5. Protéger les véhicules de l'obstacle à l'aide d'un dispositif de retenue
6. Baliser l'obstacle

Les glissières de sécurité sont des barrières longitudinales qui servent à protéger les automobilistes des obstacles naturels ou artificiels qui bordent la route. Elles sont conçues de sorte à limiter les dégâts matériels et corporels en cas d'accident et sont généralement installées sur des tronçons où une sortie de route ou une collision contre un obstacle seraient plus dangereux. Les glissières de sécurité peuvent être installées le long du remblai. On peut aussi remplacer des glissières de sécurité existantes par des glissières conformes à la norme EN1317. Elles peuvent être installées le long du terre-plein central sur les routes à chaussées séparées ou bien entre les deux chaussées sur les routes sans terre-plein central. Il faut noter que les glissières de sécurité doivent être installées de sorte à ne pas entraver la visibilité des conducteurs ou fausser l'appréciation de l'alignement de la route.

5.1.2 Impact sur la sécurité

Plus la zone de sécurité est large, plus les chances d'éviter l'accident sont élevées (AIPCR, 2003). Zegeer et al. (1988) ont évalué les effets de **l'élargissement des zones de sécurité** sur les routes à deux voies en milieu rural et ont calculé le pourcentage de réduction du nombre prévisible d'accidents sur ce type de routes (total des sorties de route, des collisions frontales, des collisions latérales), qui va de 13% pour un élargissement de 1,5 m de la zone dégagée à 44% pour un élargissement de 6,2 m. De plus, selon une étude australienne (Corben et al., 1997), la suppression des obstacles latéraux peut diminuer de 2% le nombre d'accidents corporels, alors que le marquage des obstacles peut aussi donner lieu à une réduction substantielle du nombre d'accidents (jusqu'à 23%).

L'aplanissement des talus permet de réduire les probabilités de tonneaux lorsque le véhicule quitte la chaussée et les zones dégagées de tout obstacle ont une meilleure visibilité et offrent moins de possibilités de collision avec des objets fixes (obstacle) lorsqu'un véhicule quitte la chaussée. Ces deux traitements ont un impact important sur la sécurité (Graham, Harwood, 1982, Zegeer et al., 1988, Miaou, 1996). Neuman et al. (2003) indiquent que les taux de tonneaux sont considérablement plus élevés sur les talus ayant une pente de 1:4 ou plus que sur les pentes de 1:5 ou moins. Ils en concluent que le nombre d'accidents hors-route n'impliquant qu'un seul véhicule (dont les tonneaux font partie) peut chuter considérablement lorsque l'on aplanit les talus existants à 1:4 ou moins. Allaire et al. (1996) ont étudié la corrélation entre l'aplanissement des talus et la fréquence et la gravité des accidents en sortie de route en se servant d'une méthode «avant-après» portant sur une soixantaine de projets pour lesquels l'aplanissement des talus était prévu pour au moins une partie du tronçon. Ils ont découvert que l'aplanissement des talus apporte une amélioration statistiquement significative, puisque la réduction du taux d'accident en sortie de route varie (en comparaison et par catégorie de gravité des blessures) de 3% à 50%. Selon l'analyse des études existantes conduite par Elvik et Vaa (2004), l'aplanissement des talus de 1:3 à 1:4 permet de réduire le nombre d'accidents corporels d'environ 40% et le nombre d'accidents matériels d'environ 30%. On enregistre une réduction supplémentaire du nombre d'accidents d'environ 20% lorsqu'on aplanit de 1:4 à 1:6. Cela s'explique par le fait qu'un talus plus plat peut permettre au conducteur de reprendre plus facilement le contrôle de son véhicule en cas de sortie de route. De plus, les talus plus plats, en général, présentent moins d'obstacles fixes que les talus plus pentus, et donc ont une meilleure distance de visibilité ce qui permet de réduire les probabilités de collision avec ces obstacles.

Quant aux **glissières de sécurité**, le remplacement par des glissières conformes à la norme EN 1317 permet d'atténuer les dégâts, mais cet impact est plus modeste que celui obtenu par l'installation de glissières de sécurité là où elles étaient inexistantes. En outre, l'effet positif des glissières de sécurité n'est pas le même pour tous les types d'obstacles. En effet, on observe une diminution importante de la gravité des blessures lors de collisions avec des arbres ou des rochers ou lorsqu'un véhicule quitte la route sur une pente raide. Mais la gravité des blessures est atténuée dans une moindre mesure en cas de collision avec un panneau de signalisation ou lorsque le véhicule finit dans le fossé.

Selon plusieurs études analysées par Elvik et Vaa (2004), l'installation de **glissières de sécurité le long du remblai** permet de diminuer considérablement le nombre d'accidents mortels et corporels, surtout en cas de sortie de route. Une réduction de 44% du nombre d'accidents mortels et de 47% du nombre d'accidents corporels a été enregistrée. Le remplacement de glissières le long du remblai par des glissières conformes à la norme EN 1317 a aussi un impact important sur les accidents, mais dans une moindre mesure.

Pour ce qui est de l'installation de **glissières de sécurité le long du terre-plein central sur les routes à chaussées séparées**, l'analyse d'un certain nombre d'études a mis en évidence une réduction du nombre d'accidents mortels d'environ 40% et une réduction du nombre d'accidents corporels de 30%. Pourtant, dans le même temps, on constate une augmentation de 25% du nombre d'accidents matériels, en fonction du type de glissières installées (Elvik et Vaa, 2004). En Suède, l'installation de **câbles de sécurité** en partie centrale sur des routes sans séparation des chaussées pour éviter les collisions frontales, a donné lieu à une augmentation de 32% du nombre d'accidents matériels. Or, une diminution importante du nombre d'accidents corporels a été observée (Carlsson et al., 2001).

En France, la mise en place sur une route nationale d'un **ensemble de mesures de sécurité en bord de route** a permis de réduire considérablement le nombre de collisions contre des arbres ainsi que le nombre de morts et la gravité des accidents. Plus précisément, l'installation de glissières de sécurité le long des tronçons bordés d'arbres et l'abattage des arbres en bord de chaussée ont permis de réduire de 95% le nombre de collisions contre des arbres (ROSEBUD, 2005).

Selon des données recueillies aux Pays-Bas, en France et en Espagne obtenues par le biais d'un questionnaire portant sur les résultats d'enquêtes sur les mesures de sécurité routières liées aux infrastructures dans les pays de l'UE, il est ressorti que l'installation de glissières de sécurité a un impact significatif sur la sécurité. Plus précisément, sur 8 sites traités en France, on a observé une réduction de 17% et de 18% du nombre d'accidents et du nombre de morts respectivement. De plus, une réduction de 50% du nombre de blessés et du nombre total d'accidents a été enregistrée aux Pays-Bas. L'Espagne a signalé une diminution de 11% du nombre d'accidents corporels et de 49% du nombre de morts. Les experts en sécurité routière de la plupart des pays européens représentant toutes les régions de l'Union européenne, ont rempli ce questionnaire, ce qui nous a permis de recueillir des données provenant d'études existantes. Cette enquête a été organisée dans le cadre des activités du groupe de travail O7 du groupe Sécurité routière de la Conférence européenne des directeurs des routes (CEDR, questionnaire 2).

Notons que dans plusieurs pays (RISER, 2007), l'installation de glissières de sécurité est la deuxième mesure prioritaire pour réduire les risques associés aux obstacles latéraux. Le manque de données quantitatives spécifiques concernant d'autres traitements connexes nous empêche d'effectuer une évaluation comparative exhaustive de tous les traitements relatifs à ces obstacles.

5.1.3 Autres effets

L'amélioration de la visibilité peut aussi entraîner une augmentation de la vitesse, et donc améliorer la mobilité. Les aspects environnementaux peuvent être plus ou moins importants, en fonction de la largeur des zones dégagées. Cependant, l'instauration de zones de sécurité suppose une intervention importante sur le paysage (abattages plus importants et remblais plus élevés), ce qui a un effet profond sur l'environnement. Planter le long des remblais peut atténuer cet effet négatif.

Seules quelques études sur les effets sur la mobilité de l'installation de glissières de sécurité ont pu être identifiées. L'une des plus récentes indique qu'en Suède, l'installation de glissières de sécurité en partie centrale sur les routes à chaussées non-séparées a donné lieu à une augmentation de la vitesse moyenne de 2km/h. Il faut noter que ce type d'effet dépend fortement de la distance qui sépare les glissières de sécurité des voies de circulation.

Tableau 5.1. Impact sur la sécurité du traitement des abords

Source	Zones de sécurité	Talus	Glissières de sécurité	Description	Pays / Région	Réseau routier				Méthode d'évaluation		Impact sur la sécurité (%)											
						Urbain	Rural	Grands axes	Nombre de sites	méta-analyses	avant/après	Meilleure estimation*	95% int. de conf.	Sorties de route et collisions frontales	Collisions hors route mono-véhicule	Collisions mono-véhicule contre arbre	Tous types d'accidents	Accidents mortels	Accidents corporels	Accidents matériels	Morts	Blessés	
Corben et al, 1997	●			Signalisation des obstacles latéraux	Australie	-	-	-	-		●	-23	s.s.						●				
Corben et al, 1997	●			Suppression des obstacles latéraux	Australie	-	-	-	-		●	-2	s.s.						●				
Zeeger et al., 1988	●			Elargissement de la zone de récupération sur les routes rurales à 2 voies (entre 1,5m - 6,2m)					-		●	(-13;-44)	s.s.	●									
ROSEBUD, 2005	●		●	Installation de glissières de sécurité et abattage d'arbres	France		●		26,5 km		●	-95	(-59;-99)				●						
Elvik et Vaa, 2004		●		Aplanissement des talus de 1:3 à 1:4 surtout sur routes à 2 voies	USA		●		-	●		-42	(-46;-38)						●				
Elvik et Vaa, 2004		●		Aplanissement des talus de 1:3 à 1:4 surtout sur routes à 2 voies	USA		●		-	●		-29	(-33;-25)							●			●
Miaou, 1996		●		Aplanissement des talus de 1:3 à 1:4 surtout sur routes à 2 voies			●		-	●		-28	s.s.		●								
Elvik et Vaa, 2004		●		Aplanissement des talus de 1:4 à 1:6 surtout sur routes à 2 voies non séparées	USA		●		-	●		-22	(-26;-18)						●				
Elvik et Vaa, 2004		●		Aplanissement des talus de 1:4 à 1:6 surtout sur routes à 2 voies non séparées	USA		●		-	●		-24	(-26;-21)							●			●
Miaou, 1996		●		Aplanissement des talus de 1:4 à 1:6 surtout sur routes à 2 voies non séparées			●		-	●		-24	s.s.		●								
Allaire et al., 1996		●		Aplanissement du talus			●		60	●		(-3;-50)	-		●				●				
CEDR (Questionnaire 2)			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	FR				8			-17	-					●					
CEDR (Questionnaire 2)			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	FR				8			-18	-									●	
CEDR (Questionnaire 2)			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	NL				-			-50	-					●					
CEDR (Questionnaire 2)			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	NL				-			-50	-										●
CEDR (Questionnaire 2)			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	ES				-			-11	-					●					
CEDR (Questionnaire 2)			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	ES				-			-49	-									●	
CEDR (Questionnaire 2)			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	ES				-			-26	-										●
Elvik et Vaa, 2004			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	USA, AUS, SE		●	●	-	●		-44	(-54;-32)						●				
Elvik et Vaa, 2004			●	Installation de glissières de sécurité le long du remblai	USA, AUS, SE		●	●	-	●		-47	(-52;-41)							●			
Elvik et Vaa, 2004			●	Remplacement des glissières de sécurité	USA, AUS, SE		●	●	-	●		-41	(-66;+2)						●				
Elvik et Vaa, 2004			●	Remplacement des glissières de sécurité	USA, AUS, SE		●	●	-	●		-32	(-42;-20)							●			
Elvik et Vaa, 2004			●	Glissières de sécurité centrales sur routes à chaussées séparées	USA, GB, FR, SE, DK			●	-	●		-43	(-53;-31)						●				
Elvik et Vaa, 2004			●	Glissières de sécurité centrales sur routes à chaussées séparées	USA, GB, FR, SE, DK			●	-	●		-30	(-36;-23)							●			
Carlsson et al., 2001			●	Câbles de sécurité au centre sur les axes sans terre-plein central	SE			●			●	-23	-										

s.s. : statistiquement significatif

Remarque : un chiffre négatif pour l'impact sur la sécurité correspond à une réduction du nombre d'accidents

5.1.4 Coûts de mise en œuvre

Nous n'avons rien trouvé dans la littérature concernant les coûts relatifs à l'instauration de zones de sécurité et à l'aplanissement des talus. On sait toutefois, qu'ils sont plutôt élevés, et varient énormément en fonction du terrain (par exemple, ces coûts augmentent beaucoup lorsque la pente du talus est raide).

Les coûts relatifs à la mise en place d'un ensemble de mesures pour éviter les collisions contre les arbres en France concernaient les aspects suivants :

- i) Gestion de la sécurité routière et rapport sur les aspects écologiques,
- ii) Plans de mise en œuvre : relevés topographiques, choix entre glissières de sécurité et abattage des arbres, rapport de projet sur le traitement des accès riverains etc.
- iii) Mise en place des mesures de sécurité, installation des glissières de sécurité, abattage des arbres, traitement des équipements routiers et traitement des accès riverains,
- iv) Supervision du chantier.

Le coût total de mise en œuvre s'est élevé à 993 000 € pour 7,8 km de glissières de sécurité. Par ailleurs, aux Pays-Bas, le coût relatif à l'installation de glissières de sécurité s'élève à 185 000 – 220 000 € au kilomètre de route. Il ne faut pas oublier de prendre en compte les coûts de la planification et de l'analyse préalable à la mise en œuvre dans le calcul des coûts de mise en œuvre.

5.1.5 Rapport coût-bénéfice (C/B)

Les coûts relatifs au traitement des abords varient d'un pays à l'autre et d'un site à l'autre et on ne peut avancer aucune règle générale en la matière. Par exemple, les coûts relatifs à l'aplanissement des talus varient en fonction de la topographie. Mais en général, l'aplanissement des talus et l'instauration d'une zone de sécurité engendrent des coûts supérieurs à ceux liés à l'installation de glissières de sécurité ou au remplacement des glissières existantes par des glissières conformes à la norme EN 1317. Il existe peu d'études qui traitent spécifiquement de la rentabilité de ces mesures et, en règle générale, les avantages sont inférieurs aux coûts. Elvik et Vaa (2004) signalent une expérience norvégienne qui révèle que les glissières de sécurité en bord de route ne sont rentables que sur les routes ayant un trafic moyen journalier annuel supérieur à 3 000.

Pourtant, à l'occasion d'une évaluation de la rentabilité des glissières de sécurité installées le long des routes sur un réseau rural dans la forêt des Landes en France pour éviter les collisions contre les arbres, un rapport bénéfice-coût fort impressionnant de 8,7:1 a été calculé (ROSEBUD, 2005). Notons tout de même que cette rentabilité n'est valide que s'il existe une possibilité de collision contre un arbre. Si on constate d'autres types d'accidents (par exemple, collisions avec des animaux ou collisions sur des accès privés) alors ce type d'intervention est quasiment sans effet. Par conséquent, l'évaluation de la rentabilité doit s'accompagner d'une analyse détaillée de l'accidentologie locale.

Dans le cadre du projet VESIPO (2002), l'installation de glissières de sécurité sur des routes rurales en Suisse a donné un rapport bénéfice-coût de 32:1.

5.1.6 Points forts, points faibles et entraves à la mise en œuvre

L'analyse que nous venons de faire montre que le traitement des abords peut avoir un impact important en termes de sécurité, non seulement sur la gravité des accidents, mais aussi sur leur nombre. Par ailleurs, on peut conjuguer les mesures entre elles de différentes façons. On peut adopter une mesure unique (comme l'installation ou le remplacement de glissières de sécurité le long du remblai, l'installation de glissières de sécurité le long du terre-plein central, le retrait ou le marquage des obstacles) ou un ensemble plus complexe de mesures, comme l'aplanissement des talus et l'instauration d'une zone de sécurité. Le principal point fort de ce type d'investissement est son impact élevé, systématique et bien documenté sur la sécurité, qui semble ne pas dépendre de l'envergure du projet.

Un autre point fort est celui de l'acceptabilité de ces mesures par les usagers de la route car les automobilistes se sentent plus en sécurité et mieux protégés lorsqu'ils conduisent sur une route où des mesures les protégeant des obstacles latéraux ou d'autres dangers ont été adoptées.

Le point faible du traitement des abords est son coût de mise en œuvre relativement élevé par rapport à celui d'autres mesures de sécurité routière, mais il dépend du type de traitement, de la topographie et certainement de l'envergure du chantier. Le coût relatif à l'installation de glissières de sécurité ou au remplacement par des glissières conformes à la norme EN1317 est assez faible, alors que d'autres traitements des abords, tels que l'instauration de zones de sécurité et l'aplanissement des talus ou un ensemble de ces mesures, peuvent être assez onéreux et leur efficacité peut dépendre d'autres paramètres (densité du trafic etc.).

Autre point faible : les effets sur l'environnement de mesures telles que la création d'une zone de sécurité et l'aplanissement des talus. La faune et la flore riveraines peuvent être sérieusement endommagées par certains traitements en bord de route et il ne faut pas oublier de prendre en compte le coût des travaux paysagers dans le calcul des coûts totaux de mise en œuvre. Enfin, l'augmentation du nombre d'accidents matériels dans certains cas peut aussi être considérée comme un point faible. Elle est toutefois largement compensée par la sérieuse diminution de la gravité des accidents et par le nombre de vies sauvées.

La longueur et la complexité des procédures administratives et financières peuvent représenter une entrave à la mise en œuvre de certains traitements des abords, d'autant que dans certaines circonstances, des agréments environnementaux sont nécessaires. Ces procédures supposent de nombreuses démarches à l'échelon national, régional et local.

5.1.7 Récapitulatif

Les résultats de l'analyse ci-dessus sont récapitulés dans le tableau 5.2 :

Tableau 5.2 Traitements des abords – synthèse des résultats

Investissement : traitement de l'abord de la chaussée

Réseau(x) : principalement interurbain / rural

Sous-investissements : (n'ont pas été étudiés séparément)

- mise en place de zones de sécurité
- aplanissement des talus
- installation de glissières de sécurité le long du remblai
- remplacement des glissières par des glissières conformes à la norme EN1317
- glissières de séparation centrale pour les routes à deux sens séparés/non séparés
- combinaison d'installation de glissières et d'élimination des obstacles latéraux

Effet maximum sur la sécurité :

- installation ou remplacement de glissières de sécurité (-47%)
 - surtout en association avec d'autres travaux en bord de route.

Effet minimum (voire négatif) sur la sécurité :

- aplanissement des talus (-22%)
 - surtout de 1:4 à 1:6 sur les routes à deux voies non séparées.

Ratio C-B Max* :

- glissières de sécurité, si l'on considère uniquement les effets en termes de sécurité 32:1

Ratio C-B Min* :

- glissières de sécurité, si l'on considère uniquement les effets en termes de sécurité 8,7:1

Coûts unitaires de mise en œuvre :

- installation de glissières de sécurité 130 500 – 220 000 € par km, en fonction du type

Autres effets :

- impact négatif sur l'environnement dans certains cas (par ex. abattage d'arbres)
- légère augmentation de la vitesse moyenne

Points forts :

- effets marqués, en termes de sécurité, sur le nombre d'accidents avec dégâts corporels, mais aussi sur la gravité des accidents
- rentabilité validée
- bien accepté par les usagers

Points faibles :

- coût de mise en œuvre relativement élevé
- effets secondaires sur l'environnement/paysage
- dans certains cas, légère augmentation du nombre d'accidents n'entraînant que des dégâts matériels

Obstacles de mise en œuvre :

- procédures administratives et financières potentiellement longues et compliquées

** Les études concernant la rentabilité de ces mesures sont limitées et concernent des situations spécifiques. Il faut donc considérer ces résultats avec circonspection.*

5.2 Limitation de la vitesse / abaissement de la vitesse autorisée

5.2.1 Description

La limitation de la vitesse vise à établir un compromis entre le besoin de mobilité des automobilistes et les besoins en termes de sécurité et de protection de l'environnement pour tous les usagers des infrastructures routières. On a constaté que, placés dans des conditions identiques, les automobilistes ne roulent pas tous à la même vitesse. De plus, de nombreux conducteurs pensent, de façon peu réaliste, qu'ils peuvent garder le contrôle de leur véhicule à une vitesse bien supérieure à celle autorisée. Dans cette optique, la gestion de la vitesse consiste en un éventail important d'actions de planification, d'aménagement et d'intervention dont le but est de contrôler et faire respecter les limites de vitesses, de réduire les excès ou les vitesses inadéquates et de garantir la sécurité de tous les usagers de la route, tout en garantissant des temps de trajet et un confort de conduite acceptables. Cette question est une priorité absolue pour 34% des pays, et une priorité secondaire pour 35% des pays (CEDR, 2006).

Par conséquent, les investissements relatifs à la limitation de la vitesse, qui vont de la modification du code de la route national aux interventions locales, visent à améliorer la sécurité routière par l'amélioration du comportement des conducteurs (SpeedAlert, 2006). Et donc, leurs avantages en termes de sécurité dépendent en grande partie du niveau d'intervention de la police. Une limitation locale de la vitesse sans contrôles de police est rarement respectée. Les outils automatisés de contrôle de vitesse et les systèmes permettant d'imposer le respect de la vitesse moyenne peuvent permettre de réduire considérablement le nombre d'excès de vitesse.

De plus, il faut souligner que toute modification de la vitesse autorisée doit correspondre au type de route auquel elle s'applique. Par exemple, un abaissement important de la vitesse sur une autoroute peut conduire à une inadéquation entre la fonction des autoroutes et les conditions de conduite qui résultent d'une vitesse trop faible, entraînant des effets négatifs sur la mobilité et un inconfort réel pour les automobilistes.

Dans le cadre du système actuel de limites de vitesse fixes qui existe dans la plupart des pays, les **phases de mise en œuvre** suivantes sont importantes (ERSO, 2006) :

- Introduction de limites de vitesse fixes : la limite de vitesse doit correspondre à la vitesse à laquelle on peut rouler en toute sécurité sur la route à laquelle elle s'applique, et dépend de la fonction de ladite route, de la composition du trafic et des caractéristiques physiques de la route. Qui plus est, la limite de vitesse doit être crédible, en d'autres termes, elle doit être logique et correspondre aux caractéristiques et à l'environnement de la route.
- Informations concernant la vitesse autorisée : le conducteur doit savoir, en tout point et à tout moment, quelle est la vitesse autorisée. Pour ce faire, généralement, on a recours à une signalisation verticale en bord de route et à un marquage au sol systématiques. Les systèmes embarqués qui informent le conducteur de la limite de vitesse seront certainement introduits progressivement.
- Mesures de génie civil : en certains points, il peut s'avérer indispensable de limiter fortement la vitesse pour garantir la sécurité (perçue ou réelle). Par exemple, près des écoles ou des résidences de personnes âgées, aux passages cloutés, aux intersections. A l'approche de ces points, des mesures physiques de réduction de la vitesse telles que des dos d'âne, un rétrécissement de la chaussée ou un rond-point peuvent permettre de garantir le respect des limites de vitesse par les automobilistes.
- Interventions de la police pour contrôler les excès de vitesse délibérés : lorsque les trois actions précédentes sont appliquées adéquatement, les dépassements involontaires de la limite de vitesse sont rares. Les conducteurs qui commettent un excès de vitesse le font sciemment. Les contrôles de police sont donc nécessaires pour contrôler et sanctionner ce groupe d'automobilistes.

Plusieurs des actions et mesures qui viennent d'être présentées sont analysées au chapitre 3 du présent rapport (par exemple, régulation du trafic et éléments opérationnels, systèmes d'eSécurité et mesures d'apaisement de la circulation). La présente section analyse les **investissements relatifs à la limitation de la vitesse**, qui sont les principaux outils de prise en charge de la vitesse et sont considérés comme étant parmi les investissements de sécurité routière les plus rentables.

Pour garantir une vitesse de déplacement sûre, la vitesse autorisée doit correspondre aux fonctions et à la qualité de la route à laquelle elle s'applique. De plus, pour qu'elle soit crédible aux yeux des automobilistes, toute limitation de la vitesse doit s'accompagner de modifications des caractéristiques de la route et de son environnement (ERSO, 2006). Bien que les limites de vitesse par catégorie de routes varient énormément d'un pays à l'autre (Vis et Van Gent, 2007), de fait, dans l'UE, les routes en milieu rural sont souvent limitées à 80, 90 ou 100 km/h, la vitesse est limitée à 50 km/h dans les zones urbaines, à 30 km/h dans les zones résidentielles et à 120 km/h ou 130 km/h sur les autoroutes (CEDR, 2006).

Les interventions et investissements relatifs à la limitation de la vitesse peuvent être **de différents types** et concerner :

- l'introduction d'une limite de vitesse (limitation de la vitesse dans une zone où la vitesse n'était pas limitée)
- l'abaissement de la vitesse autorisée
- l'augmentation de la vitesse autorisée

Ces mesures font l'objet d'une analyse exhaustive dans les sous-sections suivantes.

Des mesures complémentaires peuvent inclure les zones de transition, qui permettent de faire la transition entre un environnement de circulation et un autre, d'un comportement de circulation à un autre et surtout d'une vitesse autorisée à une autre (Herrsted et al. 1993). Lorsque le conducteur entre dans une zone où la vitesse autorisée est plus faible, surtout après une période de conduite à vitesse élevée (par exemple, à l'entrée d'un village à partir d'un axe routier important), il a tendance à sous-estimer sa vitesse et donc à ne pas l'adapter correctement (ERSO, 2006). Avant toute chose, il faut impérativement mettre en place des mesures complémentaires sur l'axe principal à l'entrée de l'agglomération. Ensuite, il faut concevoir les mesures dans la zone de transition de telle sorte qu'elles aient un effet cumulatif qui culmine à l'entrée de l'agglomération. Cela peut se faire par un ensemble d'interventions : rétrécissement de la route et introduction d'équipements verticaux, atteignant leur apogée à l'entrée de l'agglomération (ETSC, 1995).

L'analyse d'une autre mesure complémentaire, à savoir les plans d'apaisement de la circulation, fait l'objet d'un chapitre séparé du présent rapport, puisqu'elle fait partie des investissements les plus prometteurs.

5.2.2 Impact sur la sécurité

Une analyse exhaustive de la littérature a été effectuée pour définir l'impact sur la sécurité des investissements relatif à la limitation de la vitesse. Bien qu'il existe de nombreuses études sur cette question, rares sont celles qui incluent un calcul de l'impact sur la sécurité et de son intervalle de confiance en suivant une méthodologie standard et recommandée. Dans le présent rapport, qui a pour vocation de présenter les meilleures pratiques de mise en œuvre de ces investissements, seuls les résultats statistiquement significatifs reposant sur des méthodologies standard sont présentés et ce, afin d'éviter les interprétations équivoques ou empreintes d'incertitudes. Ces résultats sont récapitulés dans le tableau 5.3 et les principales conclusions sont analysées ci-dessous.

L'introduction d'une limite de vitesse correspond à la limitation de la vitesse dans une zone où la vitesse n'était jusqu'alors pas limitée.

Ces mesures permettent de réduire le nombre d'accidents quelle que soit leur gravité. Notamment, les résultats statistiquement significatifs de méta-analyses étudiées par Elvik et Vaa (2004) indiquent que :

- dans tous les cas d'abaissement de la vitesse autorisée, le nombre d'accidents mortels diminue de 11-13% en moyenne et le nombre d'accidents corporels chute en moyenne de 13%.
- lors de l'introduction d'une limite de vitesse supérieure à 100 km/h, le nombre d'accidents mortels diminue de 11% et le nombre total d'accidents corporels diminue de 16%
- lors de l'introduction d'une limite de vitesse de 80-97 km/h, le nombre d'accidents mortels chute de 19% et le nombre total d'accidents corporels diminue de 22%

On peut en déduire que plus la vitesse autorisée est faible, plus l'impact est important en termes de sécurité.

L'abaissement de la vitesse autorisée concerne tout changement à la baisse d'une limite de vitesse fixe. Dans ce cas de figure, à partir d'une méta-analyse, Elvik et Vaa (2004) mettent en évidence les résultats fort impressionnants suivants :

- abaisser la vitesse autorisée de 130 à 120 km/h, de 130 à 110 km/h ou de 120 à 110 km/h permet de diminuer le nombre total d'accidents de 11%. Mais aucune réduction corrélée du nombre de morts n'est observée
- abaisser la vitesse autorisée de 115 ou 100 km/h à environ 90 km/h (88-97) entraîne une diminution du nombre total d'accidents de 9% et une réduction du nombre d'accidents mortels pouvant atteindre 55%
- abaisser toute vitesse inférieure à 100 km/h (c.-à-d. 90-80) de 15%, en moyenne, s'accompagne d'un impact important sur la sécurité et sur le nombre total d'accidents (réduction de 24%). Il est intéressant de noter que, dans ce cas, la réduction du nombre d'accidents mortels (de 43%) est systématiquement deux fois plus élevée que la réduction du nombre d'accidents occasionnant des blessures.
- l'abaissement d'une vitesse supérieure à 50 km/h (50-60) de 15% en moyenne s'accompagne d'un impact considérable sur la sécurité en termes de nombre total d'accidents (réduction de 67%).

Notons que l'impact devient vraiment notable lorsque la vitesse autorisée est abaissée à 85-90 km/h, ce qui indique qu'il s'agit là d'un seuil en deçà duquel la gravité des accidents diminue substantiellement. A l'inverse, l'abaissement de la vitesse à 100 km/h permet de rouler à des vitesses auxquelles les accidents ont toutes les chances d'être mortels. D'autres études sur ce sujet corroborent les résultats ci-dessus :

- l'abaissement de la vitesse autorisée de 60 à 50 km/h dans les zones urbaines peut permettre de diminuer de 13% le nombre total d'accidents et de 18% le nombre total de victimes (Hoareau et al. 2006).
- l'abaissement de la vitesse autorisée de 110 à 100 km/h en milieu rural peut permettre de diminuer d'environ 20% tant le nombre d'accidents que le nombre de victimes (Long et al. 2006).
- l'abaissement de la vitesse autorisée à 30 km/h en agglomération (zones résidentielles) peut permettre de diminuer de 15% le nombre d'accidents et de victimes (Lindenmann, 2005).
- Une révision saisonnière à la baisse de la limite de vitesse de 100 à 80 km/h pendant l'hiver donne lieu à une diminution statistiquement significative du nombre d'accidents de 14% (Peltola, 2000).

En contrepartie, **l'augmentation de la vitesse autorisée** concerne tout changement à la hausse d'une limite de vitesse fixe et ces interventions sont systématiquement associées à un impact négatif sur la sécurité :

- une augmentation de 15% de la limite de vitesse peut entraîner une augmentation du nombre total d'accidents de 19% et du nombre d'accidents mortels de 26% (Elvik et Vaa, 2004).
- l'augmentation de la vitesse autorisée sur les grands axes interurbains de 90-105 à environ 115-120 km/h entraîne une augmentation d'environ 35% du nombre de morts (Patterson et al. 2002)
- sur les routes interurbaines, l'augmentation de la vitesse de moins de 105 à plus de 105 km/h donne lieu à une augmentation d'environ 13% du nombre de morts (Shafi et Gentilello, 2007)
- sur les axes interurbains, l'augmentation de la vitesse autorisée de 90-100 à 115 km/h entraîne généralement une augmentation (significative sur le plan statistique) de 3% de la gravité des accidents (Friedman et al. 2007)
- en agglomération, lorsque la vitesse autorisée passe de 50 à 70 km/h, généralement, le nombre d'accidents augmente de 15%. Une augmentation supplémentaire de 70 à 80 km/h s'accompagne d'une hausse de 18% du nombre total d'accidents et de 36% du nombre d'accidents mortels (Wong et al. 2005)

De toute évidence, l'augmentation de la vitesse autorisée n'est pas une mesure favorisant la sécurité, mais les résultats présentés ci-dessus permettent de confirmer l'impact important de la révision à la baisse des limites de vitesse.

Pour ce qui est des mesures complémentaires, les **zones de transition** présentent également des avantages importants en termes de sécurité. Taylor et Wheeler (2000) ont évalué les effets de 56 programmes d'apaisement de la circulation dans des villages britanniques se trouvant sur de grands axes interurbains où la vitesse à l'approche des villages était en générale limitée à 90 km/h. Ils ont découvert que les programmes qui comportaient uniquement des mesures à l'entrée de l'agglomération donnaient lieu à une réduction du nombre d'accidents mortels et graves à l'intérieur du village de 43%. Le nombre d'accidents légers, lui, augmentait dans le même temps de 5%. Une diminution plus conséquente du nombre d'accidents a été observée pour les programmes prévoyant des mesures supplémentaires à l'intérieur du village (rétrécissement de la route, mini ronds-points, dos d'âne), puisque le nombre d'accidents mortels et graves diminuait alors d'environ 70% et le nombre d'accidents corporels sans gravité diminuait d'environ 37% (ERSO, 2006).

En règle générale, l'impact de la limitation de la vitesse sur la sécurité augmente lorsque ces limites font l'objet de contrôles systématiques et lorsqu'elles sont associées à d'autres mesures portant sur l'infrastructure routière (par exemple, aménagement des abords) (Cohen et al. 1998). Surtout pour ce qui est de son application et respect, le fait de combiner contrôles systématiques et amendes plus lourdes permet, dans certains cas, de doubler les avantages en termes de sécurité de la limitation de la vitesse. Soulignons que les contrôles de police doivent faire partie intégrante de toute politique de limitation de la vitesse. L'installation de panneaux de limite de vitesse ou la modification des limites existantes sans contrôles de police adéquats peut ne pas donner les résultats escomptés.

Soulignons toutefois que les résultats quantitatifs présentés dans le tableau 5.3 concernent, soit des pays non européens, soit des méta-analyses fournissant la moyenne pondérée de l'impact sur plusieurs pays (c'est le cas des résultats présentés par Elvik et Vaa, 2004). Ces résultats sont très homogènes pour ce qui est du type d'impact (positif ou négatif), mais il n'existe aucun résultat spécifiquement national ou local provenant de pays européens. Bien qu'il soit peu probable que la tendance dans les pays européens s'éloigne radicalement de celle constatée ailleurs, il faut tout de même faire preuve de prudence dans l'analyse de la pertinence et dans l'extrapolation des résultats exprimés dans le tableau 5.3.

5.2.3 Autres effets

En général, l'abaissement des limites de vitesse entraîne une diminution de la mobilité, puisque les temps de trajet augmentent. Mais d'un autre côté, une répartition plus équitable des vitesses de parcours devrait, en théorie, augmenter la capacité de l'infrastructure routière. De plus, l'abaissement des vitesses autorisées et donc l'allongement des temps de trajet devraient présenter des avantages au niveau de l'environnement, tant en termes de nuisances sonores que d'émissions. En revanche, **l'augmentation de la vitesse autorisée peut entraîner une augmentation des nuisances sonores et des émissions**, mais on ne dispose pas de données scientifiques suffisantes à ce sujet.

Des résultats indicatifs provenant d'études réalisées aux Etats-Unis révèlent les éléments suivants :

- L'augmentation des limites de vitesse (à 70 miles/h ou plus) introduite dans vingt trois Etats américains, suite à l'abolition de la limite nationale fixée à 65 miles/h, a vraisemblablement donné lieu à une augmentation conséquente des émissions automobiles de NO_x et, dans une moindre mesure, de CO. Les augmentations les plus notables ont été observées dans les Etats ayant un réseau routier rural important tels que le Texas ou le Montana (Pechan, 1997).
- La révision des limites de vitesse un an après l'abolition de la limite nationale de 65 miles/h aux Etats-Unis aurait donné lieu à une augmentation de 6%, 7%, et 2% des émissions de NO_x, CO et COV respectivement. Ces augmentations ont surtout été constatées dans les Etats de l'Ouest, qui sont plus nombreux que les Etats de l'Est ou du Midwest à avoir rehaussé la limite de vitesse. Par exemple, au Texas, on estime que les émissions de NO_x ont augmenté de 35% suite à une révision à la hausse importante de la limite de vitesse sur les axes et grandes artères (Mullen et al. 1997).

L'absence d'études à ce sujet à l'échelon européen nous empêche d'évaluer correctement l'ampleur et la signification de ces effets, si bien que les exemples cités ci-dessus provenant des pays Nordiques et des Etats-Unis doivent être considérés à titre purement indicatif et non comme étant représentatifs de la situation dans les pays européens. Toutefois, ils fournissent des indications générales concernant les effets sur l'environnement de l'augmentation de la limite de vitesse et les autorités compétentes peuvent tenir compte de ces indications lorsqu'elles évaluent les divers impacts d'un investissement donné.

N'oublions pas, par ailleurs, que lorsque la vitesse est trop souvent limitée, les conducteurs risquent de moins respecter ces limitations et leur efficacité s'en trouve ainsi amoindrie.

5.2.4 Coûts de mise en œuvre

Les coûts des mesures de limitation de la vitesse sont relativement faibles, surtout lorsque cette limitation se fait par l'installation de panneaux de signalisation. Les mesures de génie civil supplémentaires (par exemple, dos d'âne) sont aussi assez peu onéreuses par rapport à d'autres mesures portant sur les infrastructures...

Les coûts d'installation de panneaux en Norvège ont été estimés à 250-700 € par panneau. Elvik et Vaa (2004) signalent que le coût moyen des panneaux de limite de vitesse tourne autour des 300 € par kilomètre de route.

Le coût des analyses concernant les accidents, des inspections et autres activités inhérentes à l'aménagement viennent se greffer aux coûts de mise en œuvre. Or, on ne connaît pas ces coûts.

Tableau 5.3. Impact sur la sécurité des investissements liés à la limitation de la vitesse

Source	Mesure			de (km/h)	à (km/h)	Pays / Région	Réseau routier			Nombre de sites / tronçons	année	Période d'évaluation	Méthode d'évaluation				Impact sur la sécurité (%)							
	Introduction d'une limite de vitesse	abaissement de la limite de vitesse	Augmentation de la limite de vitesse				Interurbain / Inter-Etat	Rural	Urbain / résidentiel				méta-analyses	avant/après (simple)	avant/après (groupe témoin)	modèle statistique	Meilleure estimation	95% int. de conf.	Tous types d'accidents	accidents mortels	accidents corporels	Tous types de victimes	morts	
Elvik et Vaa, 2004	●			sans limite	>100	-	-	-	-	-	-	-	●				-16		●					
Elvik et Vaa, 2004	●			sans limite	>100	-	-	-	-	-	-	-	●				-11			●				
Elvik et Vaa, 2004	●			sans limite	97-80	-	-	-	-	-	-	-	●				-22	(-20; -24)	●					
Elvik et Vaa, 2004	●			sans limite	97-80	-	-	-	-	-	-	-	●				-19	(-3; -32)		●				
Elvik et Vaa, 2004		●		90-80	-15%	-	-	-	-	-	-	-	●				-24	(-31; -16)	●					
Elvik et Vaa, 2004		●		90-80	-15%	-	-	-	-	-	-	-	●				-43	(-60; -19)		●				
Elvik et Vaa, 2004		●		60-50	-15%	-	-	-	-	-	-	-	●				-67	(-76; -54)			●			
Peltola, 2000		●*		100	80	Finlande	●			toutes les routes principales	1987	1987-1996					-14	s.s	●					
Hoareau et al, 2006		●		60	50	Victoria, Australie			●	toutes les routes	2001	2001-2003			●		-13	(-23; -56)	●					
Hoareau et al, 2006		●		60	50	Victoria, Australie			●	toutes les routes	2001	2001-2003			●		-18	(-22; -47)				●		
Elvik et Vaa, 2004		●		130-120	110	-	-	-	-	-	-	-	●				-11	(-10; -8)	●					
Elvik et Vaa, 2004		●		115-100	97-88	-	-	-	-	-	-	-	●				-9	(-10; -8)	●					
Elvik et Vaa, 2004		●		115-100	97-88	-	-	-	-	-	-	-	●				-54	(-62; -44)		●				
Long et al., 2006		●		110	100	Australie du sud		●		73 tronçons	2003	2001-2005			●		-20	(-4; -44)	●					
Long et al., 2006		●		110	100	Australie du sud		●		73 tronçons	2003	2001-2005			●		-19	n/d				●		
Lindenmann, 2005		●		toutes	30	Suisse			●	toutes les routes dans 31 régions	-	3 ans		●		●	-15	n/d	●					
Lindenmann, 2005		●		toutes	30	Suisse			●	toutes les routes dans 31 régions	-	3 ans				●	-15	n/d				●		
Lindenmann, 2005		●		toutes	30	Suisse		●		toutes les routes dans 31 régions	-	3 ans		●		●	-45	n/d				●		
Elvik et Vaa, 2004			●	toutes	+15%	-	-	-	-	-	-	-	●				+19	(+18; +20)	●					
Elvik et Vaa, 2004			●	toutes	+15%	-	-	-	-	-	-	-	●				+26	(+24; +28)		●				
Friedman et al. 2007			●	100-90	115	Israël	●			-		1988-1999		●			+3	s.s						●
Patterson et al. 2002			●	105-89	113	USA	●			toutes les routes dans 23 Etats	1996	1992-1999			●	●	+35	(+6; +72)					●	
Patterson et al. 2002			●	105-89	120	USA	●			toutes les routes dans 23 Etats	1996	1992-1999			●	●	+38	(+8; +78)					●	
Wong et al. 2005			●	50	70	Hong Kong	●		●	19 sites	1999	1999-2005			●		+15		●					
Wong et al. 2005			●	50	70	Hong Kong	●		●	19 sites	1999	1999-2005			●		+1			●				
Wong et al. 2005			●	70	80	Hong Kong	●		●	19 sites	1999	1999-2005			●		+18		●					
Wong et al. 2005			●	70	80	Hong Kong	●		●	19 sites	1999	1999-2005			●		+36			●				
Shafi et Gentilello, 2007			●	< 105	> 105	USA	●			toutes les routes principales	2003	2003			●	●	+13	(+3; +24)					●	

* saisonnier (hiver)

** nombre de morts pour 100 victimes dans un état grave

n/d : non disponible

s.s. : statistiquement significatif

Remarque : pour l'impact sur la sécurité, un chiffre négatif correspond à une réduction du nombre d'accidents

5.2.5 Rapport coût-bénéfice (C/B)

A partir de l'analyse ci-dessus, on peut conclure que la limitation de la vitesse et l'abaissement de la vitesse autorisée peuvent avoir un **impact considérable sur la sécurité**. Normalement, les effets sur l'environnement sont aussi positifs et le seul effet négatif concerne potentiellement l'allongement des temps de trajet (dans certains cas). Mais, un recours trop fréquent à la limitation de la vitesse peut entraîner un relâchement de la part des conducteurs eu égard au respect des limites de vitesse et ainsi en saper l'efficacité.

Notons que l'installation de panneaux de vitesse engendre des **coûts très faibles**, par rapport aux coûts d'autres investissements de sécurité routière.

Par conséquent, les investissements liés à la limitation de la vitesse sont généralement **très rentables**. Bien qu'il n'existe pas dans la littérature de données quantitatives sur les effets en termes de sécurité, Elvik et Vaa (2004) présentent certains exemples provenant de Norvège, qui indiquent qu'un abaissement de la vitesse autorisée s'avère plus rentable sur les routes en milieu rural et plus généralement dans les zones moins peuplées. La limitation hivernale de la vitesse est aussi considérée comme rentable en termes de sécurité.

5.2.6 Effets sur le comportement

Plusieurs études se sont penchées sur les **effets des mesures de limitation de la vitesse sur le comportement des automobilistes**, surtout en matière d'excès de vitesse. Les résultats suivants sont indicatifs du type d'effet que l'on peut observer :

- une étude concernant l'augmentation récente de la limite de vitesse à 70 miles/h (environ 115 km/h) sur les routes rurales inter-Etats dans l'Indiana a démontré qu'un grand nombre de facteurs (sexe, âge, revenu, nombre d'enfants, âge du conducteur au moment de l'obtention du permis de conduire, évaluation de la qualité de la chaussée et évaluation du constructeur automobile) entrent en jeu dans la vitesse et que l'influence de chacun de ces facteurs varie en fonction de la limite de vitesse affichée par panneaux (Mannering, 2007).
- une autre étude a évalué l'impact sur la mortalité d'une augmentation de 10 km/h de la vitesse autorisée sur trois grands axes interurbains en Israël. Les résultats ont montré que la vitesse a augmenté de 4,5% à 9,1% après l'augmentation de la limite de vitesse (Richter et al. 2004)
- une étude de cas sur deux tronçons de route en Norvège, où la limite de vitesse est passée de 80 ou 90 à 100 km/h, a montré que sur les deux routes la vitesse sur les tronçons adjacents a aussi augmenté, mais dans une moindre mesure (1-2 km/h) (Sagberg, 2006).
- de même, une autre étude semble indiquer qu'autoriser une vitesse supérieure sur certains axes non seulement entraîne une augmentation de la vitesse sur les routes de desserte locales du fait d'une adaptation de la vitesse rehaussée, mais peut aussi entraîner une augmentation de la vitesse sur des routes distantes qui ne sont pas reliées à cet axe et ce, par un processus indirect de généralisation de la vitesse (Casey, 1992)

5.2.7 Points forts, points faibles et entraves à la mise en œuvre

Il est donc évident que l'impact des mesures de limitation de la vitesse sur la sécurité peut être extrêmement positif, surtout lorsque l'on abaisse la vitesse autorisée. Des effets homogènes et bien documentés ont été identifiés et démontrent que l'introduction d'une limite de vitesse ou l'abaissement de la vitesse autorisée présentent des avantages indéniables en termes de sécurité dans tous les types de régions/zones et dans toutes les fourchettes de vitesse. De plus, il est démontré qu'une révision à la hausse de la vitesse autorisée altère la sécurité routière. Ces résultats, que l'on retrouve systématiquement dans différentes recherches et études de cas, et la rentabilité de ces investissements, qui s'explique par les faibles coûts de mise en œuvre et l'absence d'effets secondaires graves, peuvent être considérés comme les principaux **points forts** des investissements relatifs à la limitation de la vitesse.

Pour ces investissements, **aucun point faible** n'a pu être identifié, en tout cas lorsqu'ils sont correctement mis en œuvre. On peut supposer que toute modification de la limite de vitesse requiert une période d'adaptation de la part des conducteurs, mais cet inconvénient est largement compensé par les avantages colossaux en termes de sécurité de ces mesures.

L'aspect acceptabilité de ces mesures peut être une **entrave** à leur mise en œuvre. En règle générale, l'abaissement des limites de vitesse est mal accepté par les automobilistes, pour qui la vitesse et la fiabilité des systèmes de transport sont une priorité. Pourtant, dans certains cas, on peut envisager une bonne acceptation de ces investissements, par exemple de la part des citoyens. Les procédures administratives peuvent également représenter une entrave à la mise en œuvre de ces investissements. En tout état de cause, il est important de toujours veiller à assurer une cohérence et une continuité des limites de vitesses signalées (par exemple, dans toutes les agglomérations), ce qui nécessite une bonne coopération entre les autorités nationales, régionales et locales.

5.2.8 Récapitulatif

Les résultats de l'analyse ci-dessus sont récapitulés dans le tableau 5.4.

Tableau 5.4. *Limitation de la vitesse - synthèse des résultats*

Investissement : limitation de la vitesse

Réseau(x) : interurbain, rural, urbain

Sous-investissements :

- limitation de la vitesse (limitation de la vitesse dans une zone où la vitesse n'était pas limitée)
- abaissement de la vitesse autorisée
- augmentation de la vitesse autorisée

Effet maximum sur la sécurité :

- abaissement de la vitesse autorisée (-67%)
 - effet maximum en termes de sécurité pour les routes nationales et rurales
 - plus la vitesse est limitée, plus la mesure est efficace en termes de sécurité

Effet minimum (voire négatif) sur la sécurité :

- augmentation de la vitesse autorisée (+35%)
 - plus la vitesse initiale était élevée ou plus l'augmentation de la vitesse autorisée est élevée, plus l'impact est négatif en termes de sécurité

Ratio C-B max. : non disponible

Ratio C-B min. : devrait être >1:1 du fait des faibles coûts de mise en œuvre

Coût unitaire de mise en œuvre :

- coûts de signalisation de la limite de vitesse ~ 300 € par kilomètre de chaussée

Autres effets :

- l'abaissement de la vitesse autorisée a des effets positifs sur le bruit et sur la pollution et peut avoir un effet négatif sur la mobilité
- l'augmentation de la vitesse autorisée a des effets négatifs sur le bruit et sur la pollution et peut avoir un effet positif sur la mobilité

Points forts :

- effets sécuritaires systématiques et bien documentés
- rentabilité évidente

Points faibles : aucun point faible notable

Obstacles de mise en œuvre :

- mauvaise acceptabilité
- coordination entre les autorités nationales, régionales et locales

5.3 Aménagement des intersections

5.3.1 Description

L'aménagement des intersections couvre un large éventail d'investissements, entre autres, la transformation du type d'intersection et le réalignement de l'intersection. Dans le chapitre 3 du présent rapport, plusieurs investissements relatifs aux intersections ont été analysés et les mesures d'aménagement des intersections ont été identifiées comme faisant partie des investissements de sécurité routière les plus prometteurs. Dans le présent chapitre, nous analysons de façon exhaustive les investissements suivants :

- transformation d'intersections en ronds-points
- modification du tracé d'intersections
- intersections en baïonnette
- canalisation de la circulation aux intersections

Les ronds-points sont des carrefours sur lesquelles la circulation se fait circulairement en sens inverse des aiguilles d'une montre (dans les pays avec conduite à droite). Les ronds-points permettent de fluidifier le trafic et d'améliorer la sécurité tant en milieu urbain qu'en milieu rural, du fait du ralentissement de la circulation, mais aussi du fait de l'atténuation ou de l'élimination de certains points de conflit spécifiques que l'on trouve généralement aux intersections angulaires (AIPCR, 2003) (voir figure 5.1). Ces conflits opposent ceux qui veulent tourner à gauche au trafic circulant en sens inverse, concernent les chocs arrière à l'approche des intersections et les virages à angle droit tant aux feux de circulation qu'aux panneaux STOP. La configuration spécifique des ronds-points permet à l'ensemble du trafic de circuler dans une direction avec des règles de priorité uniformes (par exemple, céder la priorité à ceux qui se trouvent déjà sur le rond-point). Les conflits entre ceux qui veulent tourner à gauche et le flux de circulation qui vient en sens inverse disparaissent et la vitesse est réduite. En fait, seuls les ronds-points accordant la priorité à ceux qui sont déjà engagés sur le rond-point permettent d'améliorer efficacement la sécurité.

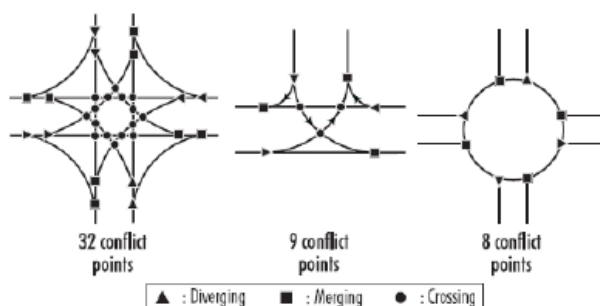


Figure 5.1. points de conflit sur divers types d'intersections

La modification du tracé d'une intersection peut concerner un changement d'angle entre les routes, un changement de la déclivité des routes et/ou toute autre mesure supplémentaire permettant d'améliorer la visibilité à l'approche de l'intersection (par exemple, augmentation des triangles de visibilité) (AIPCR, 2003). Ces investissements concernent surtout les zones rurales.

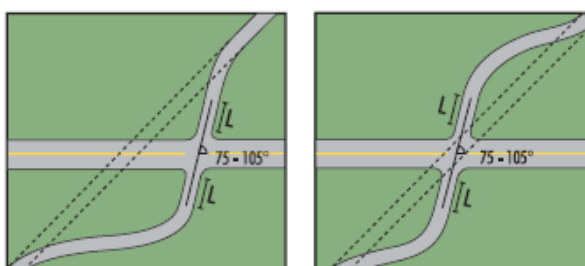


Figure 5.2. Réalignement d'une intersection (AIPCR, 2003)

Les intersections en baïonnette permettent de réduire le nombre de points de conflit aux intersections (Elvik, Vaa, 2004) et peuvent prendre deux formes : chicane gauche-droite et chicane droite-gauche. En général, les intersections en croix présentent un taux d'accidents plus élevé que les intersections en T, car elles comportent un plus grand nombre de points de conflits entre les divers flux de circulation. Selon Bared et Kaisar (2001), l'une des mesures de sécurité routière souvent utilisée pour diminuer le nombre d'accidents sur les intersections est la création d'une intersection en baïonnette (transformation d'un croisement en croix en deux intersections en T). Ces investissements concernent surtout les zones rurales.

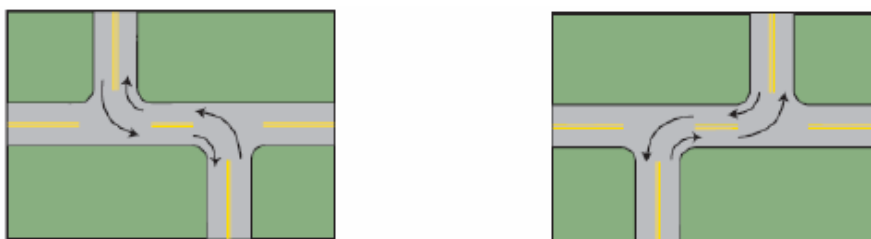


Figure 5.3. *Intersections en baïonnette (AIPCR, 2003)*

La canalisation de la circulation aux intersections vise à séparer les flux de circulation et à réduire les zones de conflit entre ces différents flux qui se croisent, à favoriser les angles assurant la meilleure visibilité et à définir les comportements de conduite en indiquant les priorités. Pour ce faire, on peut utiliser des îlots de séparation (canalisation physique/verticale de la circulation) ou un marquage au sol (canalisation horizontale de la circulation), on peut avoir une canalisation de la circulation mineure ou intégrale et on peut inclure les tournants à gauche, à droite et les voies de dépassement, en fonction du type d'intersection (AIPCR, 2003). Pour être plus précis, on peut envisager les mesures suivantes : création de voies (une, deux ou trois) pour tourner à gauche ou pour tourner à droite (une ou deux) à l'approche de l'intersection sur les grands axes, l'allongement des voies existantes, la création de voies d'accélération pour les virages à droite vers un grand axe ou pour les virages à gauche aux intersections avec séparation des sens de circulation. L'installation de terre-pleins centraux pour séparer les deux sens de circulation ou l'élargissement des terre-pleins existants peut aussi être envisagée. La création d'un accotement sur les axes secondaires a également un impact positif sur la sécurité aux intersections. Ces investissements peuvent être mis en œuvre en milieu urbain ou rural et ont démontré leur efficacité en termes de sécurité routière.

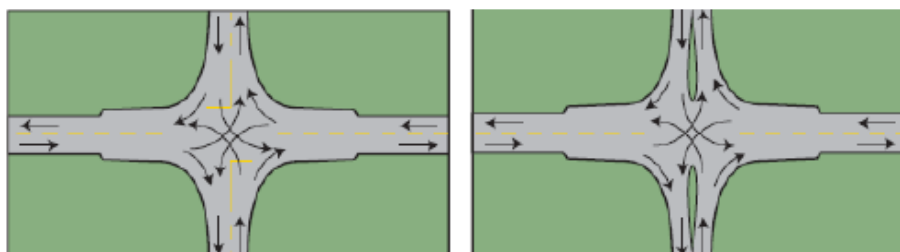


Figure 5.4. *Canalisation de la circulation aux intersections (AIPCR, 2003)*

5.3.2 Impact sur la sécurité

Bien qu'il existe de nombreuses études sur l'aménagement des intersections, peu d'entre elles incluent le calcul de leur impact sur la sécurité et de l'intervalle de confiance conformément à des méthodologies standard et recommandées. Dans le présent rapport, nous n'avons retenu que les résultats statistiquement significatifs et obtenus grâce à une méthodologie standard, voir tableau 5.5.

La création de **ronds-points** semble avoir un impact important sur la sécurité (Brenac, 1994). Notamment, les résultats significatifs sur le plan statistique de méta-analyses effectuées par Elvik et Vaa (2004) indiquent que :

- La transformation d'une intersection équipée de panneaux STOP en rond-point peut entraîner une diminution de 31% du nombre d'accidents corporels pour les intersections en T et de 41% des accidents corporels pour les croisements (4 branches).
- La transformation d'une intersection équipée de feux de circulation en rond-point peut entraîner une réduction de 11% du nombre d'accidents corporels pour les intersections en T et de 17% pour les croisements.

D'autres études sur le même thème révèlent les éléments suivants :

- la transformation en rond-point d'une intersection à une voie, avec panneaux STOP, en milieu urbain ou rural, permet d'atteindre un taux de réduction d'environ 75% du nombre d'accidents corporels et d'environ 85% du nombre total d'accidents (Persaud et al. 2001).
- la transformation en rond-point d'une intersection à une seule voie, avec feux tricolores, en milieu rural permet de réduire d'environ 35% le nombre d'accidents corporels et de 75% le nombre total d'accidents (Persaud et al. 2001).
- la transformation de tout type d'intersection en rond-point en milieu urbain peut permettre de réduire d'environ 45-50% le nombre d'accidents corporels (Hyden and Varhelyi, 2000).

Par ailleurs, les réponses au **questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR** mettent en évidence les expériences suivantes dans différents pays eu égard au remplacement d'autres types d'intersections par des ronds-points et ce, dans divers lieux et conditions :

- la France signale une réduction de 70% du nombre d'accidents et de 83% du nombre de morts.
- les Pays-Bas signalent une réduction de 55% du nombre d'accidents.
- l'Irlande signale une réduction de 90% du nombre d'accidents et l'élimination des accidents mortels sur les sites étudiés.
- la Belgique signale une réduction de 23% du nombre d'accidents et de 32% du nombre de morts sur les sites étudiés dans le sud du pays.

En général, l'installation de ronds-points donne lieu à une réduction conséquente du nombre d'accidents de la route. Cet impact est systématiquement plus marqué pour les accidents mortels ou occasionnant des blessures graves que pour les accidents occasionnant des blessures légères. Certaines études ont identifié un impact négatif des ronds-points sur la sécurité en termes d'accidents matériels. De plus, l'impact des ronds-points sur la sécurité semble être moins important lorsqu'ils remplacent une intersection avec feux tricolores, que lorsqu'ils remplacent une intersection avec panneaux «Cédez le passage».

Les résultats concernant la **redéfinition du tracé d'une intersection** sont, dans certains cas, peu concluants. Pourtant, suite à des méta-analyses présentées par Elvik et Vaa (2004) basées sur des exemples provenant de plusieurs pays, on peut conclure que:

- un angle inférieur à 90 degrés provoque moins d'accidents corporels et plus d'accidents matériels. La modification du tracé des intersections ayant un angle inférieur à 90 degrés pour leur donner un angle à 90 degrés peut donner lieu à une augmentation du nombre d'accidents corporels de 80%. A l'inverse, la modification du tracé d'une intersection ayant un angle de 90 degrés pour lui donner un angle supérieur semble entraîner une réduction du nombre d'accidents corporels de 50%
- à l'approche de l'intersection, la modification d'une déclivité de plus de 3% pour la rendre inférieure à 3% semble s'accompagner d'une réduction (marginale et significative) du nombre d'accidents corporels de 17%, mais aussi d'une augmentation du nombre d'accidents matériels.

- l'amélioration des triangles de visibilité ne semble pas s'accompagner d'un effet statistiquement significatif selon plusieurs études analysées par Elvik et Vaa (2004). Les résultats de méta-analyses indiquent un impact négatif sur la sécurité lorsque l'on améliore les triangles de visibilité des intersections en T (30% d'accidents corporels en plus), et un impact positif sur la sécurité aux intersections en croix (50% d'accidents corporels en moins). D'un autre côté, dans la version 1^{ère} du manuel *Highway Safety Manual* (2005), l'augmentation des triangles de visibilité s'accompagne d'un impact positif sur la sécurité de 73%.

En outre, les réponses au **questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR** recueillies auprès de plusieurs pays mettent en évidence les expériences suivantes concernant l'aménagement des intersections dans divers lieux et conditions :

- L'Irlande signale une diminution de 54% du nombre de morts grâce à l'aménagement des intersections, l'amélioration de la signalisation, des triangles de visibilité etc.
- L'Espagne signale une diminution de 70% du nombre d'accidents grâce à des travaux de transformation des intersections.
- Le Royaume-Uni signale une diminution de 70% du nombre d'accidents grâce à la modification de la disposition des branches secondaires sur des intersections sans signalisation.

L'impact d'une **intersection en baïonnette** semble dépendre surtout de la proportion de trafic qui arrivait des axes secondaires vers le croisement avant la création de la chicane. Le nombre d'accidents corporels ne diminue de façon conséquente que lorsque le volume du trafic sur les axes secondaires est important. De plus, pour un impact maximal sur la sécurité, une visibilité et une signalisation adéquates sont indispensables. Les intersections en baïonnette peuvent permettre de réduire de 33% le nombre d'accidents corporels lorsque le trafic sur les axes secondaires est normal ou dense (Bared et Kaisar, 2001, Elvik et Vaa, 2004)

En règle générale, il est conseillé d'interpréter avec prudence les résultats concernant les intersections en baïonnette car il existe peu d'études disponibles et un grand nombre de facteurs interviennent dans l'évaluation de l'impact sur la sécurité. Par exemple, l'impact sur la sécurité des intersections en baïonnette peut résulter, en partie, non pas des chicanes elles-mêmes, mais de l'introduction d'îlots séparateurs entre les deux directions, de voies permettant de tourner à droite et d'autres formes de canalisation de la circulation qui accompagnent généralement la mise en place de ce type d'intersection. D'autres effets, tels que l'élimination de la continuité du trafic secondaire et la diminution de la vitesse tant sur les axes primaires que secondaires, peuvent également entrer en jeu, mais sont extrêmement difficiles à isoler et à quantifier. En outre, l'impact sur la sécurité des intersections en baïonnette dépend en grande partie de la densité de la circulation, de la distance entre les deux Intersections en T et des diverses mesures de canalisation de la circulation mises en place.

La majorité des mesures de **canalisation de la circulation**, quelle que soit leur forme, semble avoir plus d'incidence sur le nombre d'accidents sur les croisements en croix que sur les intersections en T, mais certains des résultats disponibles à ce sujet sont empreints d'incertitudes. On semble observer que plus les mesures de canalisation de la circulation sont poussées et plus leur impact sur le nombre d'accident est important (ERSO, 2006). Notamment, Elvik et Vaa (2004), à partir de méta-analyses, concluent ce qui suit :

- l'introduction d'une voie pour tourner à gauche signalée par un marquage au sol sur une intersection en T peut permettre de réduire le nombre d'accidents corporels de 22%. Cet impact passe à 27% lorsque la voie pour tourner à gauche est physiquement séparée

- l'introduction d'une voie pour tourner à gauche séparée physiquement sur une intersection en croix semble entraîner une diminution des accidents corporels d'environ 4%. Cet impact devient négatif (augmentation du nombre d'accidents corporels) lorsque la voie pour tourner à gauche est signalée uniquement par un marquage au sol
- une canalisation de la circulation entièrement physique (voies pour tourner à droite et à gauche, terre-pleins centraux etc.) peut faire chuter de 27% le nombre d'accidents corporels sur les intersections en croix
- à l'inverse, une canalisation de la circulation avec éléments physiques sur une intersection en T ne s'accompagne pas d'un impact positif sur la sécurité.

Toutefois, d'autres études fournissent des résultats plus homogènes et positifs (Harwood et al. 2002) :

- l'introduction d'une voie pour tourner à gauche signalée par un marquage au sol sur une intersection en T, avec panneaux STOP, en milieu rural, peut permettre de réduire le nombre d'accidents corporels de 44%. Cette réduction passe à 15% lorsque l'intersection en T est contrôlée par des feux de circulation. L'impact en milieu urbain est de 33% et 7% respectivement
- l'introduction d'une voie pour tourner à gauche signalée par un marquage au sol sur une intersection en croix en milieu rural peut réduire de 28% le nombre d'accidents corporels. Cet impact passe à 18% lorsque l'intersection est contrôlée par des feux tricolores. L'impact en milieu urbain est de 27% et 10% respectivement

En outre, les réponses au **questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR** recueillies auprès de divers pays européens mettent en évidence les expériences suivantes concernant la canalisation de la circulation dans divers lieux et conditions :

- le Royaume-Uni signale une réduction du nombre d'accidents d'environ 68% suite à la mise en place de voies pour tourner à gauche.
- les Pays-Bas signalent une réduction du nombre d'accidents d'environ 20% suite à la mise en place de voies pour tourner à gauche.

5.3.3 Autres effets

Les ronds-points se caractérisent généralement par un ralentissement de la vitesse de circulation. Or les automobilistes ont moins l'impression de perdre du temps aux ronds-points, essentiellement parce qu'ils acceptent que la distance entre les véhicules sur le rond point soit réduite. L'amélioration globale de la mobilité dépend de la répartition des arrivées des véhicules et des variations quotidiennes des conditions de circulation; il est donc difficile d'établir une règle générale. On constate toutefois que les temps d'attente aux intersections avec signalisation sont considérablement atténués lorsque celles-ci sont remplacées par des ronds-points (Hyden et Varhelyi, 2000).

La modification du tracé d'une intersection peut améliorer la mobilité, dans la mesure où ces modifications améliorent les triangles de visibilité et les caractéristiques à l'approche de l'intersection. Mais il est difficile d'étudier ces effets de façon généralisée.

Tableau 5.5. Impact sur la sécurité des mesures d'aménagement des intersections (1/2)

Source	Mesure				à	Pays / Région	Réseau routier		année	période d'évaluation	Méthode d'évaluation			Impact sur la sécurité (%)				
	Ronds-points	Modif. du tracé de l'intersection	Intersections en baïonnette	Canalisation de la circulation			Rural	Urbain / résidentiel			méta-analyse	avant/après (groupe témoin)	modèle statistique	Meilleure estimation	95% int. de conf.	Tous types d'accidents	accidents mortels	accidents corporels
Elvik et Vaa, 2004	•				Intersection en croix, panneaux STOP	rond-point	-	-	-	-	•			-41	(-47;-34)			•
Elvik et Vaa, 2004	•				Intersection en T, panneaux STOP	rond-point	-	-	-	-	•			-31	(-45;-14)			•
Elvik et Vaa, 2004	•				Intersection en croix, feux de signalisation	rond-point	-	-	-	-	•			-17	(-22;11)			•
Elvik et Vaa, 2004	•				Intersection en T, feux de signalisation	rond-point	-	-	-	-	•			-11	(-40;+32)			•
Hyden et Varhelyi, 2000	•				divers	rond-point	SE, Vaxjo	•	2	1991	5 ans plus tard	•		-50	s.s			•
Hyden et Varhelyi, 2000	•				divers	rond-point	SE, Vaxjo	•	21	1991	6 mois plus tard	•		-44	s.s			•
Persaud et al. 2001	•				Une voie, panneaux STOP	rond-point	USA	•	8	1992-1997	15 mois plus tard		•	-88	s.s	•		
Persaud et al. 2001	•				Une voie, panneaux STOP	rond-point	USA	•	5	1992-1997	15 mois plus tard		•	-82	s.s	•		
Persaud et al. 2001	•				Une voie, panneaux STOP	rond-point	USA	•	8	1992-1997	15 mois plus tard		•	-72	s.s			•
Persaud et al. 2001	•				Une voie, panneaux STOP	rond-point	USA	•	5	1992-1997	15 mois plus tard		•	-58	s.s			•
Persaud et al. 2001	•				Feux de signalisation	rond-point	USA	•	4	1992-1997	15 mois plus tard		•	-74	s.s	•		
Persaud et al. 2001	•				Feux de signalisation	rond-point	USA	•	4	1992-1997	15 mois plus tard		•	-35	s.s			•
CEDR (Questionnaire 2)	•				divers	rond-point	IE	-	-	5	-			-100			•	
CEDR (Questionnaire 2)	•				divers	rond-point	FR	-	-	41	-			-83			•	
CEDR (Questionnaire 2)	•				divers	rond-point	FR	-	-	41	-			-71		•		
CEDR (Questionnaire 2)	•				divers	rond-point	NL	-	-	-	-			-55		•		
CEDR (Questionnaire 2)	•				divers	rond-point	Belgique, Sud	-	-	122	-			-32			•	
CEDR (Questionnaire 2)	•				divers	rond-point	Belgique, Sud	-	-	122	-			-23		•		
CEDR (Questionnaire 2)	•				divers	rond-point	IE	-	-	5	-			-90		•		
CEDR (Questionnaire 2)		•			divers	Transformation générale	IE	-	-	-	-			-100			•	
CEDR (Questionnaire 2)		•			divers	Transformation générale	FR, Loire Atlantique	-	-	57	-			-89			•	
CEDR (Questionnaire 2)		•			divers	Transformation générale	FR, Loire Atlantique	-	-	57	-			-74		•		
CEDR (Questionnaire 2)		•			divers	Transformation générale	ES	-	-	-	-			-70		•		
CEDR (Questionnaire 2)		•			Intersection sans feux	Amélioration des branches secondaires	GB	-	-	14	-			-69		•		
CEDR (Questionnaire 2)		•		•	divers	panneaux, aménagement, voie pour tourner à gauche, amélioration triangle de visibilité	IE	-	-	118	-			-54			•	
Elvik et Vaa, 2004	•				Angle 90 degrés	Angle >90 degrés	-	-	-	-	•			-50	(-70;-20)			•
Elvik et Vaa, 2004	•				Intersection en croix	Amélioration triangles de visibilité	Pays nordiques et USA	-	-	-	-	•		-48	n/d			•
Elvik et Vaa, 2004	•				-	Atténuation déclivité à l'approche	-	-	-	-	•			-17	(-30;-3)			•
Elvik et Vaa, 2004	•				-	Amélioration triangles de visibilité	Pays nordiques	-	-	-	-	•		-3	(-18;+14)			•
Elvik et Vaa, 2004	•				Intersection en T	Amélioration triangles de visibilité	Pays nordiques et USA	-	-	-	-	•		+29	n/d			•
Elvik et Vaa, 2004	•				Angle <90 degrés	Angle 90 degrés	-	-	-	-	•			+80	(+20;+170)			•
Elevéway Safety Manual, 2005*	•				-	Amélioration triangles de visibilité	GB	-	-	11	-			-73				

Tableau 5.5. Impact sur la sécurité des mesures d'aménagement des intersections (2/2)

Source	Mesure			Transformation de	à	Pays / Région	Réseau routier		Nombre de sites	année	période d'évaluation	Méthode d'évaluation			Impact sur la sécurité (%)				
	Ronds-points	Modif. du tracé de l'intersection	Intersections en baïonnette				Canalisation de la circulation	Rural				Urbain / résidentiel	méta-analyse	avant/après (groupe témoin)	modèle statistique	Meilleure estimation	95% int. de conf.	Tous types d'accidents	accidents mortels
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en croix , trafic dense sur route secondaire	Deux intersections en T	Pays nordiques et USA	-	-	-	-	-	●			-33	(-43;-21)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en croix , trafic peu dense sur route secondaire	Deux intersections en T	Pays nordiques et USA	-	-	-	-	-	●			+35	(+10;+70)			●
Bared et Kaisar, 2001			●	Intersection en croix , feux de signalisation, trafic dense sur route secondaire	Deux intersections en T	Californie, USA		●	45	-	7 ans			●	-25	s.s			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en T	Plus voie séparée pour tourner à droite	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			-2	(-50;+90)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en T	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			-22	(-45;+11)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en T	Plus voie séparée pour tourner à gauche	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			-27	(-48;-3)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en T	Plus canalisation physique de la circulation	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			+16	(0;+36)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en croix	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			+28	(-14;+92)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en croix	Voie pour tourner à gauche séparée physiquement	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			-4	(-25;+22)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en croix	Plus voie séparée pour tourner à droite	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			-13	(-83;+348)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en croix	Plus canalisation de la circulation avec marquage au sol	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			-57	(-68;-42)			●
Elvik et Vaa, 2004			●	Intersection en croix	Plus canalisation physique de la circulation	Pays nordiques, GB et USA	-	-	-	-	-	●			-27	(-37;-15)			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en T, panneaux STOP	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA		●	280	-	9-13 ans		●		-33	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en T, panneaux STOP	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA	●		280	-	9-13 ans		●		-44	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en croix, panneaux STOP	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA	●		280	-	9-13 ans		●		-28	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en croix, panneaux STOP	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA		●	280	-	9-13 ans		●		-27	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en croix, feux de signalisation	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA	●		280	-	9-13 ans		●		-18	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Panneaux STOP	Voie tourner à droite avec marquage au sol	USA	●	●	280	-	9-13 ans		●		-14	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en croix, feux de signalisation	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA		●	280	-	9-13 ans		●		-10	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en T, feux de signalisation	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA	●		280	-	9-13 ans		●		-15	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Intersection en T, feux de signalisation	Voie tourner à gauche avec marquage au sol	USA		●	280	-	9-13 ans		●		-7	s.s			●
Harwood et al., 2002			●	Feux de signalisation	Voie tourner à droite avec marquage au sol	USA	●	●	280	-	9-13 ans		●		-4	s.s			●
CEDR (Questionnaire 2)			●		Plus voie pour tourner à gauche	GB	-	-	22	-	-				-68		●		
CEDR (Questionnaire 2)			●		Plus voie pour tourner à gauche	NL	-	-	-	-	-				-20		●		
CEDR (Questionnaire 2)			●		Plus voie pour tourner à droite	NL	-	-	-	-	-				-1		●		

n/d : non disponible

s.s. : statistiquement significatif

* version non finalisée

Remarque : pour l'impact sur la sécurité, un chiffre négatif correspond à une réduction du nombre d'accidents

Les intersections en baïonnette peuvent s'accompagner d'effets divers sur la mobilité. Une **intersection en baïonnette droite-gauche entraîne une réduction du temps de trajet** plus importante qu'une intersection en baïonnette gauche-droite ou qu'une intersection en croix, car les automobilistes venant de l'axe secondaire ne doivent céder le passage qu'à un seul flux de circulation lorsqu'ils tournent à droite pour s'engager sur l'axe principal (Mahalel et al, 1987). Elvik et Vaa (2004) estiment que pour une densité de trafic de 1 000 véhicules/h, la différence entre le temps d'attente pour un décalage droite-gauche et pour un décalage gauche-droite est d'environ 15 secondes par véhicules. Bared et Kaiser (2001) pensent que ce gain de temps peut atteindre 20 secondes par véhicule, lorsque le flux entrant dépasse les 2 300 véhicules/h. Qui plus est, leurs études sur une conception classique droite-gauche démontrent que ce tracé peut entraver la circulation lorsque le tronçon entre les deux intersections en T est trop court.

La canalisation de la circulation aux intersections vise à améliorer la mobilité en réduisant les temps d'attente pour les véhicules qui traversent l'intersection en ligne droite, puisque ces véhicules n'auront pas à attendre derrière ceux qui veulent tourner à gauche ou à droite. Il semblerait toutefois que les **effets de la canalisation de la circulation sur la mobilité dépendent essentiellement de la densité du trafic** sur l'axe principal. La canalisation de la circulation semble n'avoir d'effet sur les temps d'attente que lorsque le trafic des véhicules allant tout droit et celui des véhicules tournant à gauche est dense (Craus et Mahalel, 1986).

Quant aux **émissions**, on peut espérer une diminution lorsque l'on remplace une intersection avec feux tricolores par un rond-point et on constate une augmentation lorsque l'on remplace une intersection avec panneaux «Cédez le passage» par un rond-point. Là encore, on ne peut tirer aucune conclusion générale et il est recommandé d'étudier ces effets au cas par cas.

En moyenne, les émissions (CO et NO_x) sur les ronds-points remplaçant les intersections sans feux tricolores peuvent augmenter de 4 à 6%, alors que sur les ronds-points remplaçant les intersections avec feux tricolores elles peuvent diminuer de 20 à 29%. Les niveaux sonores diminuent aussi sur les intersections remplacées par des ronds-points (Hyden et Varhelyi, 2000). Une autre étude signale des résultats très positifs pour les ronds-points par rapport aux intersections avec feux tricolores, et on constate que la vitesse moyenne de circulation traversant l'intersection dans un sens peut augmenter de 50% et, en conséquence, les émissions par véhicule peuvent diminuer de 35% (Hoglund, 1994).

Les **effets sur l'environnement** du réaménagement d'une intersection, des intersections en baïonnette ou de la mise en place d'une canalisation de la circulation n'ont pas été étudiés dans la littérature existante. On peut pourtant supposer que certaines de ces mesures risquent d'augmenter la superficie totale de l'intersection.

5.3.4 Coûts de mise en œuvre

Les **coûts relatifs à la création d'un rond-point** peuvent s'élever à 450 000 - 1 300 000 €. La transformation d'une Intersection en T en rond-point coûte environ 650 000 €, alors que le coût pour la même transformation d'une intersection en croix s'élève à environ 450 000 €.

Les **coûts relatifs à la modification du tracé d'une intersection** varient considérablement en fonction du type de traitement effectué. Elvik et Vaa (2004) indiquent que le coût de la reconstruction complète d'une intersection en Norvège s'élève à environ 785 000 € (prix de 1995). L'amélioration des triangles de visibilité en Suède, coûte environ 6 800 € (prix de 1980) par intersection, mais la fourchette de prix dépend en grande mesure de l'ampleur du traitement.

Les intersections en baïonnette supposent la construction d'au moins une nouvelle intersection. Le **coût d'une intersection en baïonnette** en Norvège s'élève à 130 000 - 1 300 000 €.

Elvik et Vaa (2004), donnent des **coûts indicatifs pour différentes mesures de canalisation de la circulation** en Norvège, et soulignent qu'on peut s'attendre à des variations locales pouvant atteindre 50% :

- voie pour tourner à gauche sur une intersection en T : 65 000 €
- voie pour tourner à gauche sur une intersection en croix : 100 000 €
- canalisation totale de la circulation sur une intersection en T : 1 300 000 €
- canalisation totale de la circulation sur une intersection en croix : 1 650 000 €

Le coût des analyses concernant les accidents, des inspections et autres activités inhérentes à l'aménagement viennent se greffer aux coûts de mise en œuvre. Or, on ne connaît pas ces coûts.

5.3.5 Rapport coût-bénéfice (C/B)

Elvik et Vaa (2004) ont calculé le rapport bénéfice-coût de la transformation d'une intersection en rond-point en Norvège et celui-ci s'échelonne de 1,80:1 (intersections en T) à 2,20:1 (intersections en croix). Dans le cadre du questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR, l'Irlande a indiqué un rapport bénéfice-coût de 2,95:1.

Par ailleurs, le manuel ROSEBUD (2006) fournit des résultats pour les agglomérations en Norvège de 1,23 à 8,61:1, et en République Tchèque de 1,5:1.

Pour ce qui est du réalignement des intersections, nous n'avons trouvé aucun résultat, hormis celui indiqué par l'Irlande dans le cadre du questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR, au sujet d'un ensemble de traitements concernant les intersections et portant sur les panneaux de danger, la modification des intersections, le marquage routier, le revêtement de la chaussée, les voies pour tourner à droite et l'amélioration de la distance de visibilité. Ce rapport bénéfice-coût est estimé à 3,8:1. Elvik et Vaa (2004) estiment que les mesures liées au réalignement des intersections sont rentables en Norvège si leur coût ne dépasse pas 70 000 €.

Normalement, les intersections en baïonnette sont marginalement rentables; Elvik et Vaa (2004) présentent des exemples norvégiens selon lesquels le rapport bénéfice-coût de ces investissements est positif si les coûts ne dépassent pas 650 000 €.

Normalement, les mesures de canalisation de la circulation doivent aussi être rentables, mais on ne dispose d'aucune donnée. Elvik et Vaa (2004) présentent des exemples norvégiens à titre indicatif selon lesquels une canalisation mineure de la circulation sur les intersections en croix aurait un rapport bénéfice-coût d'environ 2,7:1, alors qu'une canalisation intégrale de la circulation sur ce type d'intersection doit atteindre un rapport bénéfice-coût d'environ 1,1:1

5.3.6 Effets sur le comportement

Une étude détaillée suite au remplacement d'intersections par des ronds-points a révélé que les ronds-points favorisent les **interactions entre usagers de la route** de la façon suivante (Hyden et Varhelyi, 2000) :

- le 'syndrome du conducteur prioritaire' (*'main road behaviour syndrome'*), c'est-à-dire le fait de conduire comme si on avait toujours la priorité, s'atténue au bout de quatre mois
- le comportement des automobilistes venant des routes secondaires devient quasiment identique à celui des automobilistes venant de l'axe principal
- les conducteurs font preuve de plus de considération à l'égard des usagers vulnérables après la création du rond-point. Les automobilistes respectent plus les cyclistes qu'avant la construction du rond-point et ils accordent la priorité aux piétons sur les passages cloutés deux fois plus souvent qu'avant la construction.

En outre, à l'occasion d'une étude de suivi quatre ans après la mise en place des ronds-points, on a constaté que tous les usagers de la route en sont satisfaits.

Nous n'avons pu trouver aucun résultat concernant la modification du tracé des intersections ou les intersections en baïonnette et concernant l'impact de la canalisation de circulation aux intersections sur le comportement des usagers.

5.3.7 Points forts, points faibles et entraves à la mise en œuvre

La principale faiblesse de ce type d'investissements est que leur **rentabilité dépend en grande partie de leurs coûts de mise en œuvre**, qui sont parfois élevés. Evidemment, plus le traitement est important, plus il est onéreux; par exemple, les intersections en baïonnette requièrent la construction d'au moins une nouvelle intersection. Pourtant les traitements d'envergure n'ont pas nécessairement plus d'impact sur la sécurité.

Il en résulte un second point faible, plus modeste, à savoir que l'impact sur la sécurité est moins systématique que pour d'autres types d'investissements et on peut identifier plusieurs exceptions ou particularités.

Du fait du nombre croissant de cas particuliers en termes d'efficacité des intersections, il est **difficile d'établir des règles générales**, si bien que la rentabilité des mesures d'aménagement des intersections est empreinte d'incertitudes. Toutefois, il existe de nombreuses études sur la sécurité et autres effets de ces investissements et on peut trouver des informations pertinentes sur quasiment tous les types de mesures d'aménagement des intersections ainsi que sur les cas particuliers. La foison d'informations dans la **littérature** peut être considérée comme le principal point fort de ces mesures d'aménagement des intersections.

5.3.8 Récapitulatif

Les résultats de l'analyse ci-dessus sont récapitulés dans le tableau 5.6.

Tableau 5.6. Aménagement des intersections - synthèse des résultats

Investissement : aménagement des intersections

Réseau(x) : rural / urbain

Sous-investissements :

- transformation d'intersections en ronds-points
- modification du tracé des intersections
- modification de l'angle de l'intersection, intersections en baïonnette, réduction de la déclivité à l'approche de l'intersection, augmentation des triangles de visibilité (surtout en milieu rural)
- canalisation de la circulation aux intersections

Effet maximum sur la sécurité :

- transformation d'intersections en ronds-points (-88%)
 - modification de l'angle de l'intersection (-50%)
 - canalisation de la circulation aux intersections en croix (-57%)
- (plus la canalisation est importante et plus elle a d'impact sur la sécurité)

Effet minimum (voire négatif) sur la sécurité :

- canalisation de la circulation sur les intersections en T (+16%)
- réduction de la déclivité à l'approche de l'intersection (-17%)
- intersections en baïonnette (faible trafic sur axes mineurs)

Ratio C-B max. :

- transformation d'intersections en ronds-points 2:1 à 3:1
- réaménagement des intersections 3:1
- canalisation de la circulation aux intersections 2.5:1 (canalisation mineure)

Ratio C-B min. :

- coût de réaménagement des intersections élevé
- coût de canalisation de la circulation élevé

Coût unitaire de mise en œuvre* :

- transformation d'une intersection en rond-point 450'000-1'300'000 €
- modification du tracé de l'intersection à partir de 1'100'000 €
- intersections en baïonnette 130'000-1'300'000 €
- canalisation de la circulation aux intersections 25'000-1'650'000 €
- création de mini ronds-points 12'000 €

Autres effets :

- meilleure mobilité (à l'exception des chicanes gauche-droite, à des fins de canalisation en cas de forte circulation)
- effet sur le bruit et les émissions
- dans certains cas, la surface totale de l'intersection augmente

Points forts :

- effets bien documentés pour tous les types et cas particuliers de traitements

Points faibles :

- la rentabilité diminue rapidement pour les mesures de plus grande envergure du fait de l'augmentation du coût de mise en œuvre
- difficulté d'établir des règles générales à cause du grand nombre de cas particuliers

**Ces coûts de mise en œuvre sont indicatifs et tirés d'exemples spécifiques. Les coûts unitaires dépendent de la disposition de l'intersection et de la situation locale.*

5.4 Régulation du trafic aux intersections

5.4.1 Description

La régulation du trafic aux intersections s'avère être l'un des investissements les plus prometteurs pour assurer la sécurité sur les routes. Dans ce chapitre, nous analysons les caractéristiques spécifiques aux investissements portant sur la régulation du trafic afin d'identifier les meilleures pratiques de mise en œuvre de ces investissements. Nous nous penchons notamment sur les mesures de régulation du trafic suivantes :

- installation de panneaux de priorité (Cédez le passage)
- installation de panneaux STOP
- installation de feux de circulation
- perfectionnement des feux de circulation

Nous étudions ces mesures sous deux angles : 1/ lorsqu'elles s'appliquent à une intersection qui, jusque là, n'avait pas de signalisation et, 2/ lorsqu'elles remplacent un autre type de mesure de régulation du trafic sur une intersection. Dans ce cas, nous envisageons le remplacement par des mesures de régulation du trafic plus avancées et moins avancées (par exemple, remplacement de panneaux STOP par des feux de circulation et vice versa). Pour ce qui est du perfectionnement des feux de circulation, notons que les programmes avancés (par exemple, les feux de circulation commandés par les usagers ou les véhicules, la coordination des feux de circulation sur le réseau etc.) ne sont pas étudiés ici dans le détail.

La régulation du trafic aux intersections vise à augmenter la sécurité, à fluidifier la circulation et à simplifier le processus de prise de décision de la part des automobilistes. Sur les intersections sans signalisation, on constate des problèmes de sécurité et un nombre supérieur d'accidents (matériels et/ou corporels). Sur les intersections rurales sans signalisation, la règle de la priorité à droite s'applique dans la plupart des pays (avec conduite à droite). Toutefois, il existe divers plans de régulation de la circulation et des priorités qui permettent d'améliorer la sécurité routière sur les intersections.

Les panneaux de priorité (Cédez le passage) à l'approche d'une intersection, assortis d'un marquage au sol idoine, représentent la mesure la plus simple de régulation du trafic pour faciliter la cession du passage.

Les panneaux STOP (sur deux branches ou sur toutes les branches) ont pour but de donner aux conducteurs plus de temps pour observer le trafic sur l'intersection et ils peuvent ainsi céder le passage comme il convient. Sur les intersections avec deux panneaux STOP, les automobilistes sur les routes secondaires cèdent le passage aux automobilistes de l'axe principal. Sur les intersections avec panneaux STOP sur toutes les branches, c'est la règle du «premier arrivé passe en premier» qui prévaut (c'est-à-dire, c'est le premier véhicule arrivé à l'intersection qui a la priorité et passe en premier).

Les intersections avec feux permettent de séparer les flux de circulation. Les feux de circulation peuvent être minutés (avec un nombre et une durée fixes des phases) ou activés par l'arrivée d'un véhicule (ou d'un usager), la durée d'une phase étant alors optimisée en fonction du nombre de véhicules qui arrivent à l'intersection ou du nombre de piétons qui attendent, avec une durée maximale fixe. Il est aussi possible de partager des phases pour différents flux de circulation (par exemple, véhicules tournant à droite synchronisés avec la phase piétons, ou véhicules tournant à gauche synchronisés avec les flux venant en sens inverse). Il faut noter que les feux de circulation sont surtout installés en agglomération; certains pays (par exemple la France) ont quasiment abandonné l'usage de feux de circulation aux intersections en milieu rural, car ils leur préfèrent les ronds-points.

Enfin, la **modernisation d'un feu de circulation** peut porter sur la modification du nombre et de la durée des phases, la réduction ou l'élimination des phases partagées, la mise en place de phases déclenchées par les usagers ou par les véhicules etc.

5.4.2 Impact sur la sécurité

Les feux de circulation aux intersections ont un impact très positif sur la sécurité, cet impact est analysé ci-dessous et résumé dans le tableau 5.7. Ces résultats semblent indiquer que l'impact sur la sécurité des programmes de régulation du trafic les plus avancés est légèrement supérieur.

Selon une méta-analyse de Elvik et Vaa (2004) qui ont étudié des résultats provenant des pays nordiques, des Etats-Unis et d'Australie, l'installation de **panneaux de priorité** aux intersections sans signalisation semble ne donner lieu qu'à une légère réduction du nombre d'accidents. Les résultats des études sont peu concluants et ne peuvent pas être entièrement validés par des statistiques. Cet impact mitigé des panneaux de priorité sur la sécurité peut s'expliquer, entre autres, par l'augmentation de la vitesse sur l'axe principal. En fait, l'installation de panneaux «Cédez le passage» sur des intersections sans signalisation donne lieu à une diminution du nombre d'accidents corporels de 3%

En revanche, l'installation de **panneaux STOP** sur une intersection sans signalisation semble avoir un impact important sur la sécurité. Des résultats statistiquement significatifs sont disponibles et indiquent que le remplacement de feux de circulation par des panneaux STOP améliore la sécurité routière sur les routes à sens unique. Plus précisément :

- l'introduction d'un seul panneau STOP sur une Intersection en T peut permettre de réduire le nombre d'accidents corporels d'environ 20% (Elvik et Vaa, 2004)
- l'introduction de deux panneaux STOP sur une intersection en croix peut réduire considérablement le nombre d'accidents corporels (35%), alors que l'introduction de panneaux STOP sur toutes les branches du croisement entraîne une réduction de 45% (Elvik et Vaa, 2004)
- le remplacement de feux de circulation par des panneaux STOP sur des voies urbaines à sens unique permet de réduire les accidents corporels de 24%, et les accidents impliquant un piéton de 18% (Persaud, 1997)

Dans le cadre du questionnaire 2 de la CEDR, le Royaume-Uni a signalé une diminution de 68% du nombre d'accidents grâce à l'installation de panneaux de signalisation, alors qu'en Espagne le taux de réduction pour la même mesure n'atteignait que 14%.

L'installation de feux de circulation semble avoir un impact positif sur la sécurité routière. Mais les chiffres pour les intersections en T sont inférieurs à ceux des intersections en croix. Il faut aussi souligner que l'impact n'est pas le même pour tous les types d'accidents. Notamment :

- l'introduction de feux de circulation sur les intersections en T peut faire chuter le nombre d'accidents corporels d'environ 15% (Elvik et Vaa, 2004)
- l'introduction de feux de circulation sur les intersections en croix permet de réduire le nombre d'accidents corporels d'environ 30% (Elvik et Vaa, 2004)
- l'introduction de feux de circulation sur les intersections en croix permet de réduire le nombre de collisions arrières d'environ 35% (Golias, 1997)

La modernisation des feux de circulation, comme par exemple la réorganisation des phases, a un impact positif sur la sécurité, mais certains des résultats disponibles ne sont guère concluants. On peut classer ces modernisations en deux grandes catégories : la première concerne la modification de la durée des phases (par exemple, révision du minutage ou coordination des feux de circulation, introduction de feux de circulation interactifs) et la seconde concerne la modification du nombre de phases (par exemple, élimination des phases partagées, instauration d'une phase pour tourner à gauche, instauration de phases piétons séparées etc.).

Pour ce qui est de l'impact sur la sécurité de la première catégorie de mesures qui concerne la durée des phases, on dispose des résultats statistiquement significatifs suivants :

- le réglage des feux de circulation, afin d'améliorer les phases, permet de réduire le nombre d'accidents corporels sur les intersections de 12% et le nombre d'accidents impliquant un piéton sur les intersections de 37% (Retting et al. 2002)
- le passage de phases fixes à des phases déclenchées par les véhicules ou les usagers peut réduire le nombre d'accidents sur les intersections de 25% (Elvik et Vaa, 2004)
- la coordination des feux de circulation sur le réseau (par exemple «ondes vertes») s'accompagne d'une réduction du nombre d'accidents corporels sur les intersections d'environ 20% (Elvik et Vaa, 2004)

Quant à l'impact sur la sécurité de la seconde catégorie de mesures concernant le nombre et le type des phases, les résultats sont un peu moins concluants, mais on peut tout de même dégager certaines tendances (Elvik et Vaa, 2004) :

- l'introduction de feux avec phases piétons mixtes semble augmenter légèrement le nombre d'accidents impliquant un piéton de 8%, alors que l'instauration d'une phase piétons séparée semble réduire le nombre d'accidents impliquant un piéton de 30%
- l'introduction d'une phase pour tourner à gauche s'accompagne d'une forte réduction du nombre total d'accidents de 10%, pouvant atteindre 60% en cas de phase pour tourner à gauche totalement séparée
- en revanche, une autorisation de tourner à droite alors que le feu principal est rouge peut augmenter le nombre d'accidents corporels de 50-70%. Notons cependant que, dans la plupart des pays, aujourd'hui cette procédure n'est employée que rarement.

Selon le questionnaire 2 de la CEDR, l'introduction de feux de circulation sur certaines intersections en France a donné lieu à une réduction du nombre d'accidents de 36% et une réduction du nombre de morts de 67%. L'introduction de feux de circulation au Royaume-Uni a entraîné une réduction du nombre d'accidents de 38%; lorsqu'une phase piétons séparée était programmée, l'impact sur la sécurité a atteint 53%.

Tableau 5.7. Impact sur la sécurité des mesures de régulation du trafic aux intersections

Source	Mesure				Description	Pays / Région	Réseau routier			Période d'évaluation	Méthode d'évaluation		Impact sur la sécurité (%)						
	Panneaux de priorité	Panneaux STOP	Feux de circulation	Modernisation des feux			Rural	Urbain / résidentiel	Nombre de sites		méta-analyse	avant/après (groupe témoin)	Meilleure estimation	95% int. de conf.	Tous types d'accidents	accidents mortels	accidents corporels	accidents impliquant un piéton	collisions arrières
Elvik et Vaa, 2004	●				introduction de panneaux de priorité aux intersections	Pays nordiques, USA, AUS	-	-		-	●		-3	(-9;+3)			●		
CEDR (Questionnaire 2)	●	●			amélioration de la signalisation	GB	-	-	7	-			-68		●				
CEDR (Questionnaire 2)	●	●			amélioration de la signalisation	ES	-	-		-			-14		●				
CEDR (Questionnaire 2)	●	●			amélioration de la signalisation	ES	-	-		-			-23			●			
Elvik et Vaa, 2004		●			Intersections en croix, introduction de 4 panneaux STOP	Pays nordiques, USA, AUS	-	-		-	●		-45	(-49;-40)			●		
Elvik et Vaa, 2004		●			Intersections en croix, introduction de 2 panneaux STOP	Pays nordiques, USA, AUS	-	-		-	●		-35	(-44;-25)			●		
Elvik et Vaa, 2004		●			intersections en T, introduction d'un panneau STOP	Pays nordiques, USA, AUS	-	-		-	●		-19	(-38;+7)			●		
Persaud, 1997		●	●		remplacement de feux de circulation par 2 panneaux STOP, routes à sens unique	Philadelphie, USA		●	71	1978-1992		●	-18	s.s.				●	
Persaud, 1997		●	●		remplacement de feux de circulation par deux panneaux STOP, routes à sens unique	Philadelphie, USA		●	71	1978-1992		●	-24	s.s.			●		
CEDR (Questionnaire 2)			●		introduction de feux de circulation	FR			6				-67			●			
CEDR (Questionnaire 2)			●		introduction de feux de circulation	FR			6				-36		●				
CEDR (Questionnaire 2)			●		introduction de feux de circulation	GB			11				-38		●				
Elvik et Vaa, 2004			●		intersections en T, introduction de feux de circulation	Pays nordiques, USA, AUS	-	-		-	●		-15	(-25;-5)			●		
Elvik et Vaa, 2004			●		Intersections en croix, introduction de feux de circulation	Pays nordiques, USA, AUS	-	-		-	●		-30	((-35;-25)			●		
Golias, 1997			●		Intersections en croix, introduction de feux de circulation	Athènes, Grèce		●	48	1985-1997		●	-36	(-44;-28)					●
CEDR (Questionnaire 2)				●	introduction d'une phase séparée pour les piétons	GB	-	-	6	-			-53		●				
Elvik et Vaa, 2004			●		introduction d'une phase séparée pour les piétons	Pays nordiques, DE, NL, GB, USA, AUS	-	-		-	●		-30	(-40;-15)				●	
Elvik et Vaa, 2004			●		introduction d'une phase mixte pour les piétons	Pays nordiques, DE, NL, GB, USA, AUS	-	-		-	●		+8	(-1;+17)				●	
Elvik et Vaa, 2004			●		introduction d'une phase pour tourner à gauche	Pays nordiques, DE, NL, GB, USA, AUS	-	-		-	●		-10	(-15;-5)	●				
Elvik et Vaa, 2004			●		introduction d'une phase pour tourner à gauche séparée	Pays nordiques, DE, NL, GB, USA, AUS	-	-		-	●		-58	(-64;-50)	●				
Elvik et Vaa, 2004			●		changement de phase déclenchée par les véhicules	Pays nordiques, DE, NL, GB, USA, AUS	-	-		-	●		-25	(-33;-15)	●				
Elvik et Vaa, 2004			●		feux coordonnées (onde verte)	Pays nordiques, DE, NL, GB, USA, AUS	-	-		-	●		-19	(-22;-15)			●		
Retting et al. 2002			●		reminutage des feux de circulation	New York, USA	●	●	122	1991-1997			-12	s.s.			●		
Retting et al. 2002			●		reminutage des feux de circulation	New York, USA	●	●	122	1991-1997			-37	s.s.				●	
Elvik et Vaa, 2004				●	permission de tourner à droite pendant que le feu est rouge	Pays nordiques, DE, NL, GB, USA, AUS	-	-		-	●		+60	(+50;+70)			●		

s.s. : statistiquement significatif

Remarque : pour l'impact sur la sécurité, un chiffre négatif correspond à une réduction du nombre d'accidents

5.4.3 Autres effets

L'installation de panneaux de priorité peut entraîner une **augmentation de la vitesse** sur les axes principaux et une diminution de la vitesse sur les axes secondaires. En cas d'installation de deux panneaux STOP, les conducteurs sur les axes secondaires voient leur temps d'attente s'allonger, alors que lorsque des panneaux STOP sont installés sur toutes les branches de l'intersection, tous les automobilistes voient leur temps d'attente s'allonger.

La régulation du trafic augmente, elle aussi, les **temps d'attente** aux intersections. Mais dans le cas d'intersections ayant une forte densité de circulation, la régulation du trafic peut améliorer la moyenne des temps d'attente sur tous les flux. Il existe des études spécifiques qui quantifient ces effets pour certains cas particuliers, mais leur ampleur dépend de l'état de la route et du trafic dans chacun de ces cas.

Pour ce qui est des **effets environnementaux**, plusieurs études, qui traitent de l'installation de panneaux STOP, mettent en évidence une augmentation des nuisances sonores et des émissions.

Toutefois, l'amélioration du fonctionnement des feux de circulation s'accompagne d'avantages sur le plan de l'environnement. Par exemple, l'augmentation de la durée des cycles ou l'allongement de la durée du feu vert semble réduire considérablement la pollution (Matzoros et Van Vliet, 1992).

5.4.4 Coûts de mise en œuvre

Il va sans dire que les coûts relatifs à l'installation de panneaux «Cédez le passage» et de panneaux STOP sont bien inférieurs aux coûts d'installation des feux de circulation.

Le **coût de la signalisation et du marquage routier** en Norvège s'élève à peu près à 250-700 € par panneau.

Le **coût moyen d'installation de feux de circulation** sur une intersection se situe dans une fourchette allant de 50 000 € à 300 000 € en fonction de l'ampleur du chantier et des conditions locales, les frais d'entretien, eux, s'élèvent à 4 000 € par an (Elvik et Vaa, 2004).

Le coût des analyses concernant les accidents, des inspections et autres activités inhérentes à l'aménagement viennent se greffer aux coûts de mise en œuvre. Or, on ne connaît pas ces coûts.

5.4.5 Rapport coût-bénéfice (C/B)

Compte tenu des incertitudes qui entourent l'impact sur la sécurité des panneaux de priorité, nous n'avons pas pu identifier de résultats fiables concernant la rentabilité de cette mesure.

Quant aux panneaux STOP, des exemples étudiés par Elvik et Vaa (2004) montrent que cette mesure est rentable surtout en milieu rural lorsque la densité de la circulation est faible. Notamment, certains résultats indiquent un rapport bénéfice-coût de 6,8:1 pour les intersections en T en milieu rural en Norvège. Or, un rapport coût-bénéfice négatif a été calculé pour les intersections en croix en agglomération, du fait des retards occasionnés et des effets négatifs sur l'environnement.

Notons toutefois que l'Allemagne fait état d'un rapport coût-bénéfice supérieur à 3:1 dans le questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR.

Les feux de circulation semblent être rentables mais uniquement pour les croisements en croix. Elvik et Vaa (2004) ont calculé un rapport coût-bénéfice négatif pour l'installation de feux de circulation sur les intersections en T en Norvège. En revanche, les feux de circulation sur les intersections en croix ont un rapport de rentabilité de 8:1.

Dans ROSEBUD (2006), un rapport coût-bénéfice de 1,25:1 a été calculé pour la mise en place de feux de circulation sur les intersections en milieu rural en Israël.

Elvik et Vaa (2004) signalent que le rapport coût-bénéfice de la modernisation des feux de circulation en Norvège devrait être égal à 8,6:1.

Enfin, l'Allemagne indique un rapport coût-bénéfice supérieur à 3:1 dans le questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR, tant pour l'installation que pour la modernisation des feux de circulation.

5.4.6 Effet sur les comportements

Une étude récente sur les **comportements de croisement sur les intersections sans signalisation** des automobilistes suédois montre que l'on peut identifier plusieurs groupes de conducteurs en fonction des stratégies adoptées pour céder la priorité. L'un des groupes comprend les conducteurs qui disent ne céder le passage que rarement, alors qu'un autre groupe indique qu'il cède systématiquement le passage. Un troisième groupe comprend les conducteurs qui respectent, la plupart du temps, la règle de la priorité à droite, alors que le comportement des conducteurs du quatrième groupe varie en fonction des intersections (Bjorklund et Aberg, 2005). Ces résultats confirment l'utilité de réguler le trafic aux intersections.

D'autres chercheurs se sont penchés sur l'**effet de compensation du risque**, qui peut apparaître lorsque des mesures d'amélioration de la sécurité routière adoptées en un point donné entraînent une perte de sécurité ailleurs sur le réseau car les automobilistes adaptent leur comportement et sont prêts à prendre plus de risques car ils se sentent plus en sécurité suite à l'adoption de ces mesures. Cette hypothèse a été vérifiée pour l'installation de **panneaux STOP**, en mesurant les vitesses d'approche à l'intersection qui suit celle où ont été installés les panneaux STOP. On a constaté que le pourcentage d'automobilistes qui fréquentent peu ce lieu et qui dépassent la vitesse (48 km/h) à laquelle ils auraient tout juste réussi à immobiliser leur véhicule à l'intersection étudiée augmentait de 12 à 25% par rapport à l'intersection avec les panneaux STOP. Cette même augmentation a été constatée quatre mois plus tard lors d'une étude de suivi. Or, les automobilistes qui fréquentent régulièrement ces intersections ne présentent pas le même comportement. On en déduit donc que le comportement de ces automobilistes occasionnels corrobore l'hypothèse de la compensation du risque (Smith et Lovegrove, 1983).

Sisiopiku et Akin (2001) ont montré qu'une bonne régulation du trafic aux intersections peut vraiment encourager les piétons à traverser aux endroits prescrits; dans le cadre de cette recherche, on a démontré l'importance de la signalisation destinée aux piétons pour les inciter à traverser aux endroits prévus à cet effet (environ 74%).

5.4.7 Points forts, points faibles et entraves à la mise en œuvre

Au vu de l'analyse exhaustive présentée ci-dessus, il devient évident que l'impact des mesures de régulation du trafic sur la sécurité routière aux intersections peut être fortement positif, surtout en ce qui concerne l'installation et la modernisation des feux de circulation. Le fait que ces résultats soient corroborés par différentes études et études de cas est certainement le **principal point fort** de ces investissements.

Un des **points faibles** des investissements relatifs à la régulation du trafic est l'impact très négatif qu'ils ont sur l'environnement, impact identifié et mis en évidence par plusieurs études. Bien qu'on puisse parfois atténuer considérablement cet impact (par exemple, feux de circulation coordonnés), dans la plupart des évaluations de la rentabilité, cet aspect peut remettre en cause les avantages importants que ces investissements présentent en termes de sécurité, et compromettre leur rapport coût-bénéfice global. Ceci étant, le rapport coût-bénéfice reste positif dans la plupart des cas.

Enfin, la faible acceptabilité de ces mesures par les automobilistes, surtout en milieu rural et plus généralement dans les zones les moins peuplées, représente la principale **entrave à la mise en œuvre** des investissements en matière de régulation du trafic.

5.4.8 Récapitulatif

Les résultats de l'analyse ci-dessus sont récapitulés dans le tableau 5.8.

Tableau 5.8. Régulation du trafic aux intersections - synthèse des résultats

Investissement : régulation du trafic aux intersections

Réseau(x) : rural / urbain

Sous-investissements:

- installation de panneaux de priorité (Cédez le passage)
- installation de panneaux STOP
- installation de feux de circulation (surtout en agglomération)
- modernisation des feux de circulation (surtout en agglomération)

Effet maximum sur la sécurité :

- installation de panneaux STOP aux quatre branches d'une intersection (-45%)
- installation de feux de circulation aux intersections en croix (-36%)
- modernisation des feux de circulation (-37%)
 - introduction de phases séparées pour les piétons ou pour tourner à gauche

Effet minimum (voire négatif) sur la sécurité :

- installation de feux de circulation (+60%)
 - phase mixte piétons
 - permission de tourner à droite quand le feu est encore rouge

Ratio C-B max. :

- installation de panneaux STOP 6,8:1 aux intersections en T en milieu rural
- installation de feux de circulation 8:1 aux intersections en croix
- modernisation des feux de circulation 8,6:1

Ratio C-B min. :

- installation de panneaux STOP peut être négatif sur les intersections en croix
- installation de feux de circulation peut être négatif sur les intersections en T

Coût unitaire de mise en œuvre :

- signalisation 250-700 € par panneau
- installation de feux de circulation 50 000-300 000 € par intersection
4 000 € coût annuel d'entretien

Autres effets :

- augmentation des temps d'attente (sauf pour l'axe principal lorsque des panneaux de priorité ou des panneaux STOP sont placés sur l'axe secondaire)
- augmentation du bruit et des émissions (sauf avec feux de circulation en onde verte)

Points forts :

- effets sur la sécurité importants, systématiques et bien documentés

Points faibles:

- sensibilité aux effets environnementaux en zone urbaine

Obstacles de mise en œuvre :

- mauvaise acceptabilité

5.5 Plans d'apaisement du trafic

5.5.1 Description

L'apaisement de la circulation fait intervenir de façon coordonnée des techniques d'ingénierie de la circulation et des mesures de régulation sur l'ensemble d'un quartier afin d'y améliorer la circulation et l'environnement (Elvik, Vaa 2004), et ce en diminuant ou interdisant le passage des voitures, en limitant la vitesse et en modifiant les règles régissant l'accès et le stationnement dans les quartiers résidentiels. Les **plans d'apaisement du trafic** peuvent comprendre :

- l'aménagement de rues piétonnes
- la création de cours urbaines (*woonerfs*) (cf. figure 5.5)
- l'introduction de dos d'âne
- l'abaissement de la vitesse autorisée
- l'instauration d'un sens de circulation dans les rues résidentielles
- la mise en place d'une régulation de la circulation automobile et piétonnière par des feux
- la création de places de parking réservées aux habitants du quartier

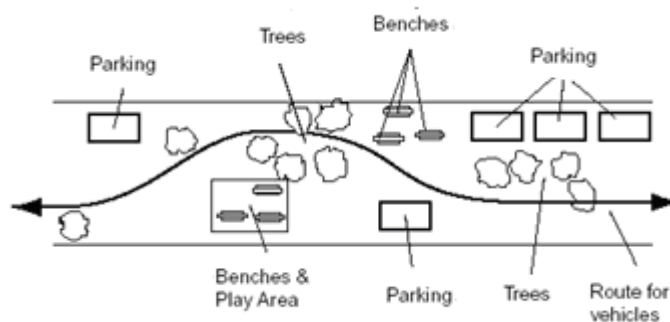


Figure 5.5. Plan d'une cour urbaine (*woonerf*)

Chacune de ces actions peut être considérée séparément, mais, généralement, dans le cadre de plans d'apaisement du trafic sur l'ensemble d'un quartier, on conjugue plusieurs de ces mesures et dans ce cas, on évalue le plan dans son ensemble.

Le manuel de génie de la circulation de l'ITE (*Traffic Engineering Handbook*, ITE, 1999), définit trois grands niveaux de mesures d'apaisement de la circulation :

1. Les mesures d'apaisement de la circulation de niveau III (métropolitain) correspondent à une approche globale sur l'ensemble d'un réseau fixant des objectifs assortis de stratégies et définissant des actions visant à réduire les déplacements. Le niveau métropolitain d'apaisement de la circulation nécessite l'introduction de mesures appropriées dans le cadre de plans à long et court terme.
2. Les mesures de niveau II sont des mesures qui introduisent de façon explicite la dimension sécuritaire dans toute modification des profils en travers et des plans d'occupation des sols adjacents au réseau des grandes artères
3. Les mesures de niveau I sont celles qui correspondent à l'approche classique d'apaisement ponctuel de la circulation et de techniques d'apaisement appliquées à un ensemble de rues au niveau local.

La plupart des plans d'apaisement du trafic sur l'ensemble d'un quartier concernent la gestion des véhicules par le biais de dispositifs physiques. On les applique généralement dans les quartiers d'habitation, et ils visent à diminuer la densité du trafic et la vitesse sur les voies d'accès de ces quartiers (niveau I). Suite à l'installation de dos d'âne en 23 points de la ville de Cagliari, en Italie en 1990, la vitesse des véhicules a diminué de 10% - 17% et environ deux tiers des automobilistes ont maintenu leur vitesse en dessous de la limite de vitesse (Pau, Angius, 2001). De plus, la mise en œuvre d'un ensemble de mesures d'apaisement du trafic dans trois villes du Danemark a donné lieu à une réduction de la vitesse moyenne de 8 km/h – 10 km/h, avec une diminution plus importante dans les zones hors agglomération et une diminution du même ordre des variations de vitesse (Herrstedt, 1992).

5.5.2 Impact sur la sécurité

Plusieurs études ont procédé à l'évaluation des **plans d'apaisement du trafic sur l'ensemble d'un quartier/région** (Tableau 5.10). Elvik et Vaa (2004) ont fait la synthèse de plusieurs études et mettent en évidence un impact notable sur la sécurité en termes de réduction du nombre d'accidents corporels, allant de 15% sur l'ensemble de la zone étudiée à environ 25% - 30% dans les rues résidentielles du quartier étudié. Sur les grands axes en marge des quartiers étudiés, la réduction des accidents s'élève à environ 10% (8%-11%). Des études, pour lesquelles des données chiffrées concernant le volume et la composition du trafic sont également disponibles, révèlent qu'une partie de cette diminution du nombre d'accidents dans les rues résidentielles s'explique par une diminution du trafic (diminution d'environ 20%-30%), alors que la même diminution sur les rues principales est essentiellement la conséquence de la réduction du taux d'accidents.

Selon une autre étude de Elvik (2001), qui a effectué des méta-analyses sur l'impact sur la sécurité des plans d'apaisement de la circulation appliqués à l'ensemble d'un quartier, le nombre d'accidents qui ne sont que matériels diminue de quasiment 20%, surtout sur les routes de desserte. Les résultats des études d'évaluation par type d'étude et par type de route sont présentés dans le tableau 5.9 ci-dessous.

Tableau 5.9. Résultats des études d'évaluation par type d'étude et par type de route (évolution du nombre d'accidents corporels en %)

Type of road	Study design	Validity of design	Best estimate	95% CI (§)
Whole area	Before-and-after, matched comparison group	↑ Acceptable	-12	(-21; -1)
	Before-and-after, general comparison group, and data on traffic volume		-15	(-24; -4)
	Before-and-after, general comparison group, no data on traffic volume		-14	(-19; -8)
	Simple before-and-after, data on traffic volume		-28	(-47; -1)
	Simple before-and-after	↓ Inadequate	-36	(-53; -12)
Main roads	Before-and-after, matched comparison group	↑ Acceptable	-7	(-16; +4)
	Before-and-after, general comparison group, and data on traffic volume		-11	(-21; +0)
	Before-and-after, general comparison group, no data on traffic volume		-7	(-14; +1)
	Simple before-and-after, data on traffic volume		-25	(-47; +6)
	Simple before-and-after	↓ Inadequate	-41	(-80; +68)
Local roads	Before-and-after, matched comparison group	↑ Acceptable	-24	(-44; +3)
	Before-and-after, general comparison group, and data on traffic volume		-34	(-51; -10)
	Before-and-after, general comparison group, no data on traffic volume		-38	(-50; -24)
	Simple before-and-after, data on traffic volume		-32	(-66; +35)
	Simple before-and-after	↓ Inadequate	-10	(-78; +271)

(§) 95% CI = 95% confidence interval

Source : Elvik, 2001

Christensen (2004) a appliqué des techniques d'analyse de méta-régression à des études existantes et a ainsi généré des estimations concernant les effets produits par les plans d'apaisement du trafic à partir de coefficients qui dépendent du type d'étude et de la décennie pendant laquelle l'étude a été publiée. Ces estimations concernent des études de type «avant/après» avec groupe témoin publiées après 1990. Christensen a mis en évidence une diminution du nombre d'accidents dans toutes les catégories de types d'études et de décennies lorsque celle-ci était spécifiée.

Bunn et al. (2004) se sont livrés à une méta-analyse de projets d'apaisement de la circulation sur l'ensemble d'un quartier, et n'ont pris en compte que des études de type «avant/après» avec groupe témoin et ils ont ainsi estimé à 37% la réduction du nombre d'accidents mortels, à 11% la réduction du nombre d'accidents corporels et à 5% la réduction du nombre total d'accidents, la dernière catégorie étant essentiellement constituée d'accidents matériels. Pour les accidents impliquant un piéton, Bunn et al. n'ont pas identifié d'impact particulier des plans d'apaisement de la circulation.

Dans trois villes danoises, l'impact sur la sécurité routière a été évalué grâce à une analyse de type «avant/après» des accidents enregistrés par la police et une analyse détaillée basée sur les rapports de police et sur une inspection des sites en cause pour les accidents ayant eu lieu après la mise en œuvre de la mesure. Cette analyse couvrait une période de 5 années avant la transformation et une période de 3 ans après la transformation. A Vinderup, on a constaté une diminution importante (50%, de 13 accidents à 6) du nombre d'accidents. Le nombre de victimes a également diminué d'un tiers. Les tendances en matière d'accidents ont changé puisque le nombre d'accidents lors du stationnement a diminué. A Ugerlose, le nombre d'accidents occasionnant des blessures corporelles a chuté considérablement, alors que le nombre d'accidents sans gravité impliquant un choc du véhicule contre des panneaux de signalisation a augmenté (Herrstedt, 1992).

Selon une étude portant sur trois municipalités en Israël et concernant l'installation de dos d'âne sur 94 routes locales, une réduction de 40% du nombre total d'accidents corporels a été observée (Hakkert et al., 2002), alors qu'une étude similaire en Grèce, portant sur l'installation de cours urbaines (*woonerfs*) et de dos d'âne unidirectionnels et l'instauration de rues à sens unique dans une partie étendue de la ville, a révélé que l'impact moyen sur la sécurité correspondait à une réduction de 38% du nombre total d'accidents corporels (Yannis et al., 2005).

Selon des données recueillies en Irlande par le biais d'un questionnaire portant sur les résultats d'études concernant spécifiquement les mesures de sécurité routière liées aux infrastructures dans les pays de l'UE, la mise en œuvre d'un ensemble de mesures d'apaisement de la circulation a eu un impact important sur la sécurité. En effet, sur un total de 66 sites traités, on a constaté une réduction de 23% du nombre total d'accidents de la route. De plus, une réduction de 50% du nombre de morts, une diminution de 40% et de 9% du nombre de blessures graves et légères respectivement, ont été enregistrées. Les experts en matière de sécurité routière de la plupart des pays européens représentant diverses régions de l'Union européenne ont rempli ce questionnaire, qui nous a permis d'obtenir les résultats des études existantes en la matière. Cette enquête s'inscrivait dans le cadre des activités du groupe de travail O7 du groupe Sécurité routière de la Conférence européenne des directeurs des routes (CEDR, questionnaire 2).

Tableau 5.10. Impact sur la sécurité des investissements liés aux plans d'apaisement de la circulation

Source	Mesure			Description	Pays / Région	Réseau routier				Période d'évaluation	Méthode d'évaluation		Impact sur la sécurité (%)				
	Apaisement de la circulation sur l'ensemble d'un quartier	Dos d'âne	Cours urbaines (woonerfs)			Tout le quartier	Routes locales	Axes principaux	Nombre de sites		méta-analyse	avant/après (groupe témoin)	Meilleure estimation	95% int. de conf.	accidents mortels	accidents corporels	accidents matériels
CEDR (Questionnaire 2)	•			Ensemble de mesures*	Irlande						•		-50	-	•		
CEDR (Questionnaire 2)	•			Ensemble de mesures*	Irlande						•		-9;-40	-		•	
Bunn et al., 2004	•			Ensemble de mesures		•					•		-37	-	•		
Bunn et al., 2004	•			Ensemble de mesures		•					•		-11	-		•	
Bunn et al., 2004	•			Ensemble de mesures		•					•		-5	-			•
Elvik et Vaa, 2004	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS	•					•		-15	(-17;-12)		•	
Elvik et Vaa, 2004	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS	•					•		-15	(-19;-12)			•
Elvik et Vaa, 2004	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS		•				•		-24	(-29;-18)		•	
Elvik et Vaa, 2004	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS		•				•		-29	(-35;-22)			•
Elvik et Vaa, 2004	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS			•			•		-8	(-12;-5)		•	
Elvik et Vaa, 2004	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS			•			•		-11	(-16;-6)			•
Elvik, 2001	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS	•					•		-15	(-19;-10)		•	
Elvik, 2001	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS		•				•		-34	(-43;-23)		•	
Elvik, 2001	•			Ensemble de mesures**	Pays nordiques, NL, GB, DE, AUS			•			•		-8	(-13;-2)		•	
Herrstedt, 1992	•			Ensemble de mesures**	Danemark	•			1 ville	8 ans	•		-50	-		•	
Hakkert et al., 2002		•		Installation de dos d'âne	Israël		•		94 sites dans 3 villes	1991-1999	•		-40	(-83;-44)		•	
Yannis et al., 2005		•	•	Dos d'âne et woonerfs	Grèce	•	•		21 sites	1991-1999	•		-38	(-106;-36)		•	

* aménagement des intersections, apaisement de la circulation, glissières de sécurité, marquage routier y compris plots, réfection de la chaussée, panneaux de danger et amélioration de la distance de visibilité

** feux de circulation, dos d'âne, woonerfs, sens uniques, aménagement des axes principaux (interdiction de stationner, arrêts de bus, feux de circulation, etc.)

s.s. : statistiquement significatif

Remarque : pour l'impact sur la sécurité, un chiffre négatif correspond à une réduction du nombre d'accidents

5.5.3 Autres effets

Les niveaux de bruit diminuent en général dans les quartiers d'habitation dans lesquels on applique des mesures d'apaisement du trafic. Selon une étude danoise (Herrstedt, 1992), dans trois villes dans lesquelles de telles mesures ont été mises en place, les relevés de niveaux de bruit à l'intérieur de l'agglomération ont montré un léger abaissement des nuisances sonores. Mais, dans le même temps, le bruit provoqué par les ralentisseurs sonores continus a augmenté de façon plus ou moins marquée en fonction du matériau utilisé. Les ralentisseurs sonores continus génèrent un bruit de type pulsations, qui est plus gênant pour l'ouïe humaine qu'un bruit continu ou qu'un bruit avec des variations lentes. On a également observé, dans plusieurs zones de Norvège, une diminution du niveau de bruit de 3dBA - 6dBA grâce aux mesures d'apaisement de la circulation, à l'exception de certaines grandes artères sur lesquelles le bruit a augmenté légèrement du fait de l'augmentation du trafic (Elvik, Vaa, 2004). Les **vibrations** provoquées par les véhicules (surtout les poids lourds) lorsqu'ils passent sur un dos d'âne ne doivent pas être négligées.

Pour ce qui est de la **pollution de l'air**, on observe des améliorations importantes, surtout sur les routes locales; cet effet est étroitement lié à la diminution de la densité du trafic. Cependant, cet effet est en partie contrarié par le fait que l'utilisation de régimes de vitesses plus faibles et l'utilisation du ralenti provoquent plus d'émissions. Selon des études effectuées par Hoglund (1995), Webster (1993) et Zuger et Blessing (1995), la réduction de la vitesse moyenne des véhicules dans les zones où des dos d'âne ont été installés entraîne une augmentation importante des émissions de CO, CO₂ et NO_x. Au Danemark, les quantités de plomb, de monoxyde de carbone et de dioxyde d'azote ont été relevées avant et après la mise en œuvre de mesures d'apaisement du trafic dans trois villes et selon Herrstedt (1992), la pollution de l'air est restée inchangée ou a légèrement diminué au centre-ville alors que les concentrations de plomb ont chuté en périphérie. Dans le même temps, la pollution due au plomb a augmenté sur les nouveaux ronds-points, du fait de l'accélération des véhicules en sortie de rond-point. On constate également un impact négatif sur les grands axes qui recueillent le trafic sortant des zones apaisées, cet impact s'accompagne d'effets positifs sur l'environnement dans les rues résidentielles et la densité du trafic peut augmenter de 1% - 5% (Elvik, Vaa, 2004).

Les plans d'apaisement du trafic ont généralement un impact négatif sur la **mobilité** (c.-à-d. augmentation des temps de trajet), du fait des limitations imposées tant en termes de nombre de véhicules autorisés qu'en termes de vitesse. Selon Herrstedt (1992), le temps de trajet s'allonge en moyenne de 7 sec/km - 10 sec/km, en fonction du type et de l'envergure des mesures appliquées. Le temps de trajet sur certaines routes de desserte des zones apaisées augmente aussi légèrement, probablement du fait de la réduction du nombre d'accès à ces zones. Une mesure de la distance qui sépare les véhicules sur les grands axes montre que certains automobilistes conduisent plus près du véhicule qui les précède qu'avant, mais la distance recommandée est tout de même respectée avec une marge de sécurité acceptable.

Les habitants des quartiers dans lesquels des mesures d'apaisement de la circulation ont été instaurées ont généralement une opinion très positive de leur quartier. Ils indiquent clairement que le quartier est devenu plus attrayant et que le nombre de véhicules et leur vitesse sont désormais plus acceptables. Il faut aussi noter que les automobilistes, du fait de l'allongement des temps de trajet sur ces itinéraires et des inconvénients que cela occasionne, acceptent parfois mal ces plans d'apaisement de la circulation. Mais le nombre de piétons et de cyclistes qui traversent les quartiers ainsi apaisés augmente car ils se sentent plus en sécurité. Dans certaines villes danoises, le nombre des usagers qui traversent ces quartiers a augmenté de plus de 60%, et la fréquentation de ces usagers le long de la route augmente de 15%. Donc plus de piétons et de cyclistes s'aventurent sur la route, ils traversent le quartier plus volontiers qu'avant et on peut observer une évolution positive sur le plan social (par ex. augmentation des achats etc.).

5.5.4 Coûts

Les **coûts** relatifs aux plans d'apaisement du trafic sur l'ensemble d'un quartier varient énormément en fonction du type de mesures mises en œuvre et de l'étendue du quartier concerné. Mais il est aussi possible de mettre en œuvre des mesures d'apaisement du trafic qui coûtent moins cher comme par exemple les dos d'âne. Les frais d'entretien doivent être pris en compte lors du calcul des coûts de mise en œuvre. A partir d'une enquête auprès de plusieurs sources, Elvik estime que le coût moyen de plans modestes d'apaisement de la circulation à l'échelle d'un quartier tourne autour de 250 000 € avec des frais annuels d'entretien d'environ 13 000 €.

Au Danemark, les coûts d'introduction pour les trois villes pilotes se sont élevés à 1 350 000 € par ville. A Cagliari (Italie), le coût de l'installation de dos d'âne était faible, environ 700 € par unité sur une rue à deux voies de 3.50 m chaque.

En Grèce, le coût de mise en œuvre d'un ensemble de mesures d'apaisement de la circulation (49 dos d'âne dans un quartier de 100 000 m²) sur 21 rues à une voie à sens unique, s'est élevé à environ 3,4 millions € (prix de 1999), et en Israël, l'installation de dos d'âne a coûté entre 670€ et 1 350€ pièce (prix de 2000).

En Irlande, le coût de mise en œuvre d'un ensemble de mesures d'apaisement de la circulation s'est élevé à 1 300 000 €.

Le coût des analyses concernant les accidents, des inspections et autres activités inhérentes à l'aménagement viennent se greffer aux coûts de mise en œuvre. Or, on ne connaît pas ces coûts.

5.5.5 Rapport coût-bénéfice (C/B)

Les conclusions d'études existantes montrent qu'en général, les programmes d'apaisement de la circulation se caractérisent par une **rentabilité qui va de marginale à satisfaisante** (ROSEBUD, 2005, Elvik, Vaa, 2004). Le coût relativement faible des mesures d'ingénierie de la circulation et l'ampleur de l'impact sur la sécurité que l'on peut en escompter, rendent ce type d'interventions très rentable dans la plupart des cas. Il faut toutefois prendre soin de quantifier et d'intégrer aux calculs les effets (négatifs) sur la mobilité et (positifs) sur l'environnement.

Dans le cas d'Israël, le rapport coût-bénéfice calculé varie de 2,0:1 à 4,0:1 et dans les calculs, outre les coûts de mise en œuvre et les coûts liés aux accidents, le coût de la perte de temps de trajet a aussi été pris en compte. Dans une étude de cas en Grèce, le rapport coût-bénéfice calculé variait de 2,4:1 à 1,9:1 selon que l'on a tenu compte ou non du temps perdu lors des trajets en plus des coûts de mise en œuvre et des coûts liés aux accidents.

En Irlande, selon les données recueillies grâce au questionnaire 2 de la CEDR, le rapport coût-bénéfice calculé pour le nombre total d'accidents s'élève à 1,94:1 et le rapport pour le nombre de morts est égal à 3,68:1.

5.5.6 Points forts, points faibles et entraves à la mise en œuvre

L'analyse ci-dessus démontre clairement que les programmes d'apaisement de la circulation ont un impact important sur la sécurité qui, associé au faible coût de mise en œuvre, les rend rentables dans la plupart des cas. En particulier, on peut envisager de nombreuses combinaisons de mesures allant de la simple mise en œuvre de dos d'âne sur des routes individuelles à un ensemble de traitements au niveau d'un quartier ou d'une région. Comme on le constate dans le tableau 5.10, aucune tendance spécifique concernant l'impact sur la sécurité ne peut être identifiée ; des traitements moins intensifs n'atténuent pas nécessairement l'impact sur la sécurité. Par conséquent, des avantages importants au niveau de la sécurité peuvent être obtenus grâce à des investissements dont le coût est relativement faible.

Le principal point fort de ces investissements est donc l'impact élevé et bien documenté sur la sécurité qui semble ne pas dépendre de l'envergure des mesures mises en œuvre.

L'acceptabilité des plans d'apaisement du trafic représente un autre point fort important de ces investissements ; plus précisément, ces mesures sont bien accueillies par les piétons et cyclistes, les habitants du quartier etc.

En revanche, ces mesures sont mal acceptées par les automobilistes ce qui peut représenter une entrave à leur mise en œuvre.

5.5.7 Récapitulatif

Les résultats de l'analyse ci-dessus sont récapitulés dans le tableau 5.11.

Tableau 5.11. *Modération de la circulation - synthèse des résultats*

Investissement : modération de la circulation

Réseau(x) : zones urbaines

Sous-investissements :

(N'ont pas été considérés séparément)

- aménagement de rues piétonnes
- création de cours urbaines (*woonerfs*)
- introduction de dos d'âne
- abaissement de la vitesse autorisée
- instauration d'un sens de circulation dans les rues résidentielles
- mise en place d'une régulation de la circulation automobile et piétonnière par feux
- créations de places de parking réservées aux habitants du quartier

Effet maximum sur la sécurité :

- aucune tendance spécifique ne se dégage. Un sous-investissement unique et un ensemble de sous-investissements, une mise en œuvre sur l'ensemble d'un quartier ou non, peuvent s'avérer aussi efficaces (-8 à -50%)

Effet minimum (voire négatif) sur la sécurité :

- les investissements semblent avoir un peu moins d'impact sur la sécurité lorsqu'ils sont mis en œuvre sur les axes principaux

Ratio C-B max. :

- apaisement du trafic 2:1 - 4:1

Ratio C-B min. :

- lorsque le ralentissement des véhicules est important < 2:1

Coût unitaire de mise en œuvre :

- introduction de dos d'âne 700 – 1 350 € par unité
- apaisement de la circulation dans tout le quartier 1 300 000 – 3 000 000 € au total

Autres effets :

- impact sur le bruit, la pollution et la mobilité

Points forts :

- de nombreuses combinaisons sont possibles, toujours assorties d'une réduction sensible du nombre d'accidents
- rentabilité validée
- forte acceptation de la part des riverains, piétons, cyclistes etc.

Points faibles :

- bruit (pour les ralentisseurs sonores) et vibrations (pour les dos d'âne)

Obstacles de mise en œuvre :

- mal accepté par les conducteurs

6 PROPOSITIONS DE BONNES PRATIQUES

6.1 Récapitulatif des meilleures pratiques

Ce chapitre reprend les diverses activités présentées et les conclusions de l'analyse de rentabilité des investissements de sécurité routière portant sur les infrastructures et présente une synthèse ainsi que des propositions de bonnes pratiques concernant ces investissements.

Nous avons démarré notre analyse en identifiant les stratégies de sécurité routière adoptées par les pays européens. Ces stratégies ont été identifiées grâce au questionnaire 1 préparé par le groupe O7 (Sécurité routière) de la CEDR. Nous avons ainsi démontré que la plupart des pays européens se fixent des objectifs quantifiés spécifiques concernant la sécurité routière et adoptent les stratégies qui leur permettent d'atteindre ces objectifs, en tenant compte des priorités fixées et dans la mesure des ressources disponibles. Dans ce contexte, nous avons montré que les évaluations de l'efficacité des investissements de sécurité routière sont des outils décisionnels extrêmement utiles dans tous les pays ; d'ailleurs, plusieurs pays effectuent des analyses coût-bénéfice et des analyses de rentabilité de façon plus ou moins systématique à un niveau national, régional ou local. Cependant, ces outils d'évaluation de l'efficacité ne sont pas utilisés de façon plus systématique par manque de connaissances et du fait d'un manque de données et de procédures adéquates.

L'importance des évaluations d'efficacité dans le domaine de la sécurité routière reste toutefois incontestable, et la plupart des pays européens mettent en exergue leur besoin d'en savoir plus et un réel besoin de disposer d'exemples de bonnes pratiques. Il faut noter que le besoin de recommandations couvre l'ensemble du processus d'évaluation de l'efficacité : de la sélection et l'application de méthodologies standard adéquates à l'interprétation des résultats et l'identification des investissements les plus efficaces, surtout lorsqu'il existe plusieurs alternatives et qu'il faut procéder à une comparaison et à un classement des investissements.

La première étape de l'analyse a consisté en une étude exhaustive des connaissances actuelles au sujet de la rentabilité des divers investissements de sécurité routière. Nous avons notamment étudié un grand nombre d'investissements de sécurité routière portant sur tous les types d'infrastructures y compris les autoroutes, routes en milieu rural, intersections et zones urbaines. Pour chaque type d'infrastructure, tous les domaines d'investissement ont été étudiés, y compris les investissements portant sur la conception des infrastructures (par exemple, réalignement d'une route) et les investissements portant sur la gestion des infrastructures (par exemple, régulation du trafic). Pour chacun des investissements étudiés (55 investissements au total), nous avons effectué une évaluation préliminaire de l'impact sur la sécurité, des autres effets (notamment la mobilité et les effets sur l'environnement) et des coûts de mise en œuvre.

Ces investissements ont ensuite été classés en fonction de leur impact sur la sécurité et de leurs coûts de mise en œuvre, et nous sommes partis de l'hypothèse que les investissements qui confèrent le plus de sécurité et engendrent un faible coût de mise en œuvre doivent être privilégiés. Les résultats de ce classement ont montré qu'il existe un nombre important d'investissements prometteurs en matière de sécurité routière car ils présentent tant un impact important sur la sécurité qu'un faible coût de mise en œuvre. Notons toutefois, que les investissements ayant un impact important sur la sécurité et un coût élevé de mise en œuvre doivent aussi être pris en compte, car ils peuvent s'avérer rentables pour certains problèmes de sécurité routière. Evidemment, certains investissements présentant un impact faible sur la sécurité mais ayant un faible coût de mise en œuvre, pourraient également être envisagés au cas par cas, alors que les investissements qui ont peu d'impact sur la sécurité et qui présentent des coûts de mise en œuvre élevés ne sont pas recommandés.

Par conséquent, c'est dans ces deux premiers groupes d'investissements que l'on identifiera des exemples de bonne pratique d'investissements rentables en termes de sécurité routière. A partir des résultats de l'évaluation préliminaire des investissements et du classement qui en a découlé, les cinq investissements les plus prometteurs ont été identifiés et retenus pour une analyse plus approfondie:

- Traitement des abords (zones de sécurité, aplanissement des talus, glissières de sécurité)
- Limitation de la vitesse
- Aménagement des intersections (ronds-points, réalignement, intersections en baïonnette, canalisation de la circulation)
- Régulation du trafic aux intersections (panneaux de signalisation, feux de circulation)
- Plans d'apaisement du trafic

Pour ses cinq investissements les plus prometteurs, une analyse détaillée de leur impact sur la sécurité, de leurs autres effets (mobilité, environnement etc.) et de leur coût de mise en œuvre a été effectué. A cette fin, nous nous sommes appuyés sur la littérature existante ainsi que sur les résultats du questionnaire 2 du groupe O7 de la CEDR. En outre, le rapport bénéfice-coût de ces investissements est présenté ; ce ratio est considéré comme étant la mesure la plus précise et représentative de la rentabilité. Les conditions dans lesquelles la rentabilité de chaque investissement peut être maximisée ou minimisée, sont décrites et analysées, ce qui permet d'identifier les meilleures pratiques. De plus, dans le cadre de cette analyse approfondie, nous présentons les points forts et les points faibles de chacun de ces investissements prometteurs, ainsi que les entraves éventuelles à leur mise en œuvre.

Pour chaque investissement, nous avons analysé un nombre important d'études publiées, soit au total, 55 cas différents ainsi que 36 cas signalés dans le cadre du questionnaire n° 2 de la CEDR. Ceci nous a permis d'identifier des résultats tant fiables que statistiquement significatifs concernant l'impact sur la sécurité et le rapport coût-bénéfice des investissements les plus prometteurs. Le tableau 6.1 récapitule les études de cas examinées dans le cadre de notre analyse détaillée.

Tableau 6.1. Sources utilisées pour l'analyse détaillée des investissements les plus prometteurs

	nombre de cas étudiés	
	littérature internationale	Questionnaire 2 de la CEDR
Traitement des abords	24	7
Limitation de la vitesse / abaissement de la vitesse autorisée	31	-
Aménagement des intersections	60	20
Régulation du trafic aux intersections	26	7
Apaisement de la circulation	14	2
Total	155	36

Le tableau 6.2 récapitule tous les résultats correspondant aux principaux éléments de l'évaluation de la rentabilité : effets en termes de sécurité, coûts de mise en œuvre et rapport bénéfice-coût. Notons que seuls les résultats significatifs sur le plan statistique ont été pris en compte dans le cadre de cette analyse approfondie, afin d'atténuer le degré d'incertitude des conclusions.

On notera que les traitements des abords de routes ont un impact très positif sur la sécurité et aucune incohérence ou particularité de mise en œuvre susceptible de compromettre cet impact n'a pu être identifiée. Cependant, ces investissements ne sont pas toujours rentables, car certains s'accompagnent de coûts de mise en œuvre relativement élevés. C'est le cas des **zones de sécurité** et du traitement des talus. Les zones de sécurité, en particulier, engendrent des coûts de mise en œuvre relativement élevés.

Toutefois, l'effet maximum en termes de sécurité présenté dans le tableau 6.2 peut être encore renforcé et atteindre une réduction de 95% des accidents, lorsque cette mesure est associée à d'autres traitements des abords comme par exemple l'installation de glissières de sécurité.

Pour ce qui est des talus, on estime que plus la pente initiale du talus était raide, plus l'impact sur la sécurité sera élevé ; en d'autres termes, on atteint un effet sécuritaire minimal pour un aplanissement de 1:4 - 1:6, et on obtient un impact maximal avec un aplanissement de 1:3 - 1:4.

Tableau 6.2. Rentabilité des investissements de sécurité routière les plus prometteurs portant sur les infrastructures

Investissement	Sous-investissement	Impact sur la sécurité (%) *		Coûts de mise en oeuvre (€)		Rapport bénéfice-coût	
		Min	Max	Min	Max	Min	Max
Traitement des abords	Zones de sécurité	-23		n/d	n/d	< 1:1	n/d
	Talus	-22	-42	n/d	n/d	< 1:1	n/d
	Glissières de sécurité	-30	-47	130 000 au km	220 000 au km	8,7:1	32:1
Limitation de la vitesse / abaissement de la vitesse	Introduction d'une limite de vitesse	-22		300 au km		> 1:1	n/d
	Réduction de la limite de vitesse	-9	-67	300 au km		> 1:1	n/d
Aménagement des intersections	Ronds-points	-11	-88	450 000 /intersec.	1 300 000 /intersec.	2:1	3:1
	Modification du tracé de l'intersection	-17	-50	1 100 000 /intersec.	n/d		3:1
	Canalisation de la circulation	+16	-57	65 000 /intersec.	1 650 000 /intersec.	< 1:1	2,5:1
Régulation de la circu- lation aux intersections	Panneaux STOP	-19	-45	250 par panneau	700 par panneau	< 1:1	6,8:1
	Introduction de feux de circulation	-15	-36	50 000 /intersec.	300 000 /intersec.	< 1:1	8:1
	Modernisation des feux de circulation	+60	-37	n/d	n/d	< 1:1	8,6:1
Apaisement de la circulation	Apaisement de la circulation sur l'ensemble d'un quartier	-8	-50	1300000	3000000	2:1	4:1

* sur cible accidents corporels n/d : non disponible

Remarque : un chiffre négatif correspond à une réduction du nombre d'accidents

En revanche, tous les types de glissières de sécurité s'avèrent extrêmement rentables, surtout lorsqu'elles sont installées le long des routes de campagne. Bien entendu, les glissières en différents matériaux n'ont pas toutes le même impact sur la sécurité, surtout eu égard à certains types d'usagers de la route (par ex. les motocyclistes, les poids lourds). En règle générale, il est recommandé d'installer des glissières de sécurité conformes à la norme EN1317. Il faut également noter que les glissières de sécurité ne sont pas considérées dans tous les pays comme des traitements prioritaires pour les obstacles en bord de route.

Bien qu'aucun résultat quantitatif spécifique n'ait été identifié, les interventions sur les limites de vitesse (allant du changement du code de la route national aux interventions au niveau local) ont toujours tendance à être rentables du fait de leurs faibles coûts de mise en œuvre qui portent essentiellement sur l'installation de panneaux de signalisation. Un impact important et systématique sur la sécurité a été enregistré et démontre que l'augmentation de la vitesse autorisée s'accompagne toujours d'une augmentation des accidents et qu'un abaissement de la vitesse autorisée s'accompagne toujours d'une réduction du nombre d'accidents. En réduisant la vitesse autorisée, on obtient les meilleurs résultats en termes de sécurité lorsque la vitesse autorisée était initialement supérieure à 100 km/h sur les routes interurbaines ou en milieu rural, ou lorsqu'elle était supérieure ou égale à 60 km/h en milieu urbain. Notons que l'efficacité des mesures de limitation de la vitesse dépend en grande partie, des contrôles effectués.

Les coûts plutôt élevés associés à l'aménagement des intersections ne remettent pas en question la rentabilité de ces mesures. Des rapports coût-bénéfice très satisfaisants ont été calculés dans la grande majorité des cas. Toutefois, on a pu constater que dans certaines situations spécifiques, l'impact sur la sécurité était moindre, voire inexistant. Un exemple intéressant est celui de la canalisation de la circulation, qui peut avoir un impact négatif sur la sécurité lorsque cette mesure est appliquée aux intersections en T, peut-être à cause de l'augmentation de la vitesse sur les axes secondaires. En revanche, cette mesure a toujours un impact positif sur la sécurité lorsqu'elle s'applique aux intersections à 4 branches et, apparemment, plus la canalisation est importante (par ex. par des îlots diviseurs), plus l'impact sur la sécurité est notable.

La modification physique des intersections comprend un certain nombre d'interventions assez coûteuses (modification de l'angle d'une intersection, réduction de la déclivité à l'approche de l'intersection, augmentation des triangles de visibilité). Pourtant, l'impact sur la sécurité est positif et le rapport coût-bénéfice est souvent satisfaisant. L'impact le moins important en termes de sécurité est obtenu par la réduction de la déclivité à l'approche de l'intersection, alors que l'impact maximal est obtenu grâce à la redéfinition des angles de l'intersection. Par ailleurs, la modification des angles de visibilité donne des résultats incertains et il est préférable d'examiner attentivement ces mesures au cas par cas.

Enfin, le remplacement d'une intersection par un rond-point s'accompagne toujours d'effets positifs en termes de sécurité et d'une rentabilité satisfaisante. Ces effets sont moins marqués pour les intersections en T avec signalisation et optimaux pour les intersections à 4 branches avec ou sans panneaux STOP.

On retrouve les mêmes tendances pour les mesures de régulation du trafic aux intersections, et surtout pour l'introduction de panneaux STOP aux intersections sans signalisation. Dans ce cas, l'effet le moins important en termes de sécurité est produit par l'introduction d'un panneau STOP unidirectionnel sur une intersection en T, alors que l'impact maximal est obtenu lorsque des panneaux STOP sont placés aux quatre branches d'une intersection en croix. Dans tous ces cas de figure, on peut compter sur un rapport coût-bénéfice positif, dans la mesure où les coûts de mise en œuvre sont très faibles (simple installation d'un panneau). Notons toutefois, qu'il n'en va pas forcément de même pour l'installation de **panneaux de priorité** aux intersections sans signalisation, car leurs effets en termes de sécurité sont moins systématiques et moins significatifs sur le plan statistique, il est donc impossible de tirer des conclusions fiables.

L'introduction de feux de circulation à une intersection donne les meilleurs résultats, une fois de plus, aux intersections à quatre branches. On constate également une amélioration notable de la sécurité lors d'une modernisation des feux de circulation. Mais ce n'est vrai que lorsque cette modernisation permet de mieux gérer ou séparer les flux de circulation. En d'autres termes, l'impact maximal de ces modernisations sur la sécurité est obtenu par une modification de la durée des feux, par l'introduction de phases «piétons» séparées ou par l'introduction d'une phase «tourner à gauche» séparée. Soulignons que toute modification des feux de circulation faisant intervenir plusieurs phases de commande en même temps (par ex. chevauchement de la phase piétons, permission de tourner à droite pendant que le feu principal est rouge) peut donner lieu à une augmentation importante du nombre d'accidents. De nos jours, dans la plupart des pays, on a rarement recours à ces mesures. En tout état de cause, les effets positifs sur la sécurité décrits ci-dessus s'assortissent de rapports coût-bénéfice très satisfaisants.

Il est très intéressant de constater que les plans d'apaisement de la circulation semblent toujours avoir un impact positif sur la sécurité et une rentabilité satisfaisante, indépendamment de leur type ou de leur portée. C'est un résultat d'autant plus impressionnant que les plans d'apaisement de la circulation vont du simple dos d'âne sur quelques axes (coût faible), à un ensemble de mesures appliquées sur tout un quartier (à un coût, bien entendu, plus élevé). Pourtant, aucun élément ne permet d'indiquer que des mesures de plus grande envergure produisent des effets plus importants en terme de sécurité ou sont plus rentables. On peut donc considérer que les plans d'apaisement de la circulation représentent un investissement prioritaire pour la sécurité en milieu urbain et dans les quartiers résidentiels.

A partir de ces résultats, il apparaît clairement que la rentabilité globale d'un investissement ne correspond pas toujours à son impact en termes de sécurité. Plusieurs résultats intéressants sont présentés dans le tableau 6.2. Les ronds-points ont un impact important sur la sécurité, mais cet impact ne se reflète pas directement dans le rapport coût-bénéfice. En revanche, le rapport coût-bénéfice des feux de circulation est plus élevé que celui des ronds-points, alors que leur impact sur la sécurité routière est bien moindre.

En l'occurrence, une simple comparaison des rapports coût-bénéfice pourrait mener un lecteur moins averti à conclure de façon erronée que les feux de circulation sont plus efficaces que les ronds-points, alors qu'en fait ils sont simplement plus rentables. Par conséquent, il est fortement recommandé de toujours aborder de pair le rapport coût-bénéfice et les effets en termes de sécurité, afin de bien identifier les meilleures solutions pour chaque problème de sécurité routière en fonction des conditions et des objectifs. Soulignons que les résultats donnés ci-dessus ne s'appliquent pas systématiquement à ces investissements. Bien que les exemples étudiés soient représentatifs et que les résultats soient cohérents, il est toujours possible que certains aspects spécifiques à la situation, au contexte et aux moyens de mise en œuvre modifient quelque peu les résultats.

Par ailleurs, dans la présente synthèse, les cinq investissements les plus prometteurs ont été étudiés individuellement. Or, des interactions importantes existent entre ces investissements. Par exemple, les traitements des abords, l'aménagement des intersections et la limitation de la vitesse peuvent être considérés comme représentant le principal ensemble de mesures prometteuses sur les axes interurbains et en milieu rural. D'un autre côté, l'apaisement de la circulation, l'aménagement des intersections et la régulation du trafic aux intersections peuvent être considérés comme étant les mesures les plus prometteuses en milieu urbain. Sans oublier que des investissements supplémentaires ne faisant pas partie des cinq investissements les plus prometteurs peuvent s'avérer nécessaires.

Dans la pratique, il est rare d'avoir une solution unique pour un problème de sécurité routière donné. Au contraire, une série d'interventions sur les infrastructures est souvent nécessaire. En tout cas, pour une bonne planification et mise en œuvre d'un investissement, il faut étudier et gérer tous les paramètres connexes. Il n'est donc pas possible de garantir les effets des investissements les plus prometteurs sur la sécurité, surtout lorsque des facteurs supplémentaires doivent être étudiés avant leur mise en œuvre.

Les connaissances acquises dans la présente analyse peuvent s'avérer très utiles et permettre d'identifier les investissements les plus rentables en fonction du problème de sécurité routière posé et peuvent permettre une première identification des principales caractéristiques des investissements envisagés. Ceci étant, il faut toujours procéder à une **analyse minutieuse de la situation**, afin de bien optimiser, dans chaque pays ou région, la mise en œuvre de l'investissement envisagé en fonction de l'envergure du projet, de la période de mise en œuvre et des exigences spécifiques au niveau national ou local. De plus, il faut s'assurer que ces analyses sont menées conformément à des méthodologies standard reconnues.

Les analyses coût-bénéfice et les analyses de rentabilité sont certainement les outils les plus précieux des décideurs, car elles leur permettent d'évaluer la dimension économique des diverses mesures de sécurité routière. Une analyse approfondie des mesures d'infrastructure les plus prometteuses en matière de sécurité routière a révélé le potentiel important de ces techniques d'évaluation dans le processus général de prise de décision de par le monde. Plusieurs conclusions pertinentes concernant les éléments de base qui permettent d'évaluer l'efficacité ont pu être tirées grâce à l'expérience acquise par le biais de ces techniques d'évaluation. Il faut toutefois souligner que les résultats ci-dessus peuvent ne pas s'appliquer systématiquement à toutes les circonstances. Il est toujours possible que certains aspects spécifiques à la situation, au contexte et aux moyens de mise en œuvre modifient quelque peu ces résultats. Étant donné que chacun des investissements étudiés présente des particularités, des points forts et des points faibles, **il n'est pas possible de formuler des règles générales à l'intention des décideurs**. C'est dans cet esprit que le présent chapitre présente dans leurs grandes lignes, les paramètres de base dont il faut tenir compte afin de bien intégrer l'aspect rentabilité dans les décisions concernant la sécurité routière. En outre, il présente les principales questions qui se posent lors de la sélection et de la mise en œuvre d'investissements rentables de sécurité routière.

6.2 Discussion

6.2.1 techniques d'évaluation appliquées

Pour toutes les études de cas examinées dans le cadre de cette synthèse, seule l'analyse coût-bénéfice a été réalisée. Certaines études ne présentaient pas d'alternative à l'investissement considéré si bien que la mise en œuvre dudit investissement a été comparée à une situation dans laquelle aucun investissement de sécurité routière n'est mis en œuvre. Tous les autres aspects de la procédure d'évaluation de l'analyse coût-bénéfice, à savoir l'impact sur la sécurité et les effets connexes (sur la mobilité et l'environnement), tous les aspects économiques, les estimations des coûts de mise en œuvre, le calcul de la valeur actuelle des coûts et des bénéfices/avantages et la mesure de l'efficacité (rapport coût-bénéfice), ont été appliqués dans la plupart des cas. Les exceptions sont dues à un manque de données.

Lors de l'estimation de l'impact des mesures sur la sécurité, nous avons surtout veillé à évaluer correctement la sécurité et, pour ce qui est de l'évaluation économique, nous avons retenu les scénarios les plus «prudents» ou les «meilleures estimations», bien qu'à chaque fois ils aient reposé sur des approches différentes. Concernant les performances des études analysées, on peut tirer plusieurs conclusions qui mettent en exergue les problèmes techniques susceptibles de se présenter lors de l'évaluation d'une analyse coût-bénéfice. Ils sont essentiellement liés à la bonne application des techniques, à l'identification de moyens permettant de valider l'importance statistique des résultats, au bon choix des effets connexes à prendre en compte en plus de l'impact sur la sécurité, ainsi qu'à la distinction qu'il est nécessaire d'établir entre les coûts de mise en œuvre et les effets secondaires négatifs des mesures étudiées.

Lorsque plusieurs types d'impacts sont combinés dans l'évaluation d'une mesure, il est nécessaire d'établir une distinction entre les coûts de mise en œuvre et les effets négatifs de ladite mesure. Les coûts de mise en œuvre correspondent aux coûts sociaux de tous les moyens de production (main d'œuvre et capital) utilisés pour mettre en œuvre la mesure en question, alors que les avantages ou inconvénients correspondent à tous les effets qui découlent de l'application de cette mesure. Certains effets sont négatifs (par exemple, augmentation des temps de trajet) et leur valeur est soustraite du total des avantages (bénéfices).

On trouve dans la littérature de nombreux renseignements sur les techniques que l'on peut utiliser. Par ailleurs, on sait qu'il peut s'avérer très utile de mettre à la disposition des personnes qui travaillent dans ce domaine, un guide sur les techniques standard d'évaluation de l'impact sur la sécurité, car cela permet notamment d'améliorer la qualité des évaluations de l'efficacité.

6.2.2 Composantes de l'évaluation de l'efficacité : données et valeurs

Les données concernant les accidents sont en général faciles à trouver. Habituellement, on trouve la valeur des coûts relatifs aux accidents corporels dans des publications récentes. Toutefois, il est difficile d'évaluer les coûts liés aux mesures de sécurité routière portant sur une amélioration des infrastructures. Ces investissements sont généralement consentis par le secteur public, par conséquent, il est souvent difficile de calculer la valeur totale de ses coûts. Dans ce cas, on pourra consulter directement les personnes qui sont à l'origine de ces décisions ainsi que les analyses d'évaluation effectuées pour des projets similaires.

Pour favoriser l'utilisation de valeurs uniformes et bien fondées concernant l'impact sur la sécurité, on pourrait créer une base de données comprenant les valeurs correspondant à ces effets recueillies à l'échelon international. Une telle base de données pourrait être mise à la disposition d'un réseau européen d'experts et fournir des valeurs générales d'impact sur la sécurité pour les premières étapes des analyses coût-bénéfice et des analyses de rentabilité et pourrait aussi aider à évaluer les effets observés au niveau local.

En l'absence de modèle d'évaluation des effets secondaires associés aux mesures de sécurité (par exemple, variation de la pollution de l'air, des niveaux de bruit, des temps de trajet ou de la consommation de carburant) et, dans certains cas, en l'absence d'évaluation de ces effets au niveau local, ceux-ci sont souvent négligés lors des études d'efficacité. On peut contourner ce problème en recueillant systématiquement des données concernant les valeurs et les solutions recommandées pour chaque type de mesures de sécurité considérées et ce, dans le cadre de lignes directrices élaborées pour l'évaluation de l'efficacité.

6.2.3 Rôle des entraves à l'évaluation des mesures de sécurité routière

Pour toute évaluation de mesures de sécurité routière liées à l'infrastructure, il existe des entraves de nature institutionnelle ou technique qui peuvent avoir une influence considérable sur leurs performances. On peut généralement surmonter les entraves de nature technique, telle que les problèmes liés aux techniques d'évaluation ou au manque de données, grâce à des études d'évaluation et, dans certains cas, de solides modèles statistiques peuvent être développés afin de déterminer les valeurs manquantes.

L'absence de procédures obligatoires pour les évaluations coût-bénéfice de l'impact sur la sécurité représente également une entrave institutionnelle majeure pour l'évaluation de l'efficacité des mesures de sécurité routière. Toutefois, dans bien des cas, les résultats de l'analyse coût-bénéfice mettent en évidence une diminution des accidents et les économies qui découlent de l'application des mesures considérées. C'est pourquoi les décideurs souhaitent connaître les conclusions des évaluations d'efficacité et de toute autre analyse pertinente.

Quant aux entraves à la mise en œuvre de mesures de sécurité, qui sont analysées dans certaines études et dont l'existence est démontrée, on en identifie de plusieurs types. L'application à grande échelle d'une mesure de sécurité liée aux infrastructures est souvent entravée par un manque de fonds, par un coût élevé et d'autres obstacles d'ordre financier. Parfois, la sécurité s'oppose à d'autres considérations (par exemple, la protection de l'environnement) et, dans d'autres cas, le manque d'acceptation de la part du grand public dissuade les décideurs de mettre en avant telle ou telle mesure. Pourtant, dans plusieurs cas de figure, les résultats de l'évaluation coût-bénéfice permettent de mettre en évidence les avantages que l'on peut attendre d'une mesure donnée et favorisent donc l'acceptation de cette mesure par les décideurs.

6.2.4 Rôle des évaluations de l'efficacité dans le processus de prise de décision

L'évaluation de l'efficacité est souvent un élément important de la préparation des plans de sécurité routière à l'échelon national, régional ou local. Pendant les premières phases de l'évaluation d'un projet, l'impact sur la sécurité n'est pas connu et pour savoir comment orienter le processus de prise de décision, une évaluation de l'efficacité doit être préalablement préparée à l'aide de données d'impact provenant de projets similaires. C'est pourquoi il est important de pouvoir disposer et accéder à des études d'évaluation concernant les mesures de sécurité routière et de faire circuler le résultat des évaluations d'efficacité à un niveau international.

Au niveau local, la mise en œuvre d'une mesure de sécurité routière ne dépend pas seulement de son profil économique mais aussi de critères subjectifs. Lorsqu'un programme de mesures de sécurité routière efficaces portant sur les infrastructures est élaboré à l'échelon national mais mis en œuvre à l'échelon régional ou local, les avantages escomptés au niveau national peuvent ne pas être visibles au niveau local où les coûts et les intérêts politiques locaux sont la principale préoccupation des décideurs. Lors de la préparation d'une évaluation de l'efficacité effectuée dans ce type de situation, les avantages financiers doivent être expliqués en tenant compte, au mieux, du niveau auquel la prise de décision se fera à l'avenir.

Par ailleurs, dans certains cas, la prise de décision au niveau local repose sur des expériences personnelles, ce qui accentue le conflit qui existe entre les arguments traditionnellement avancés dans le cadre du processus décisionnel et l'utilisation des évaluations de l'efficacité en tant qu'instrument à promouvoir. Les décisions prises au niveau local tiennent compte d'intérêts tant globaux que locaux. Par conséquent, pour présenter des résultats quels qu'ils soient, il est important de faire correspondre les arguments au niveau de prises de décision. Afin de ne pas trahir les intentions d'origine du programme national de sécurité routière, les arguments en question doivent présenter de façon adéquate ces intentions au niveau régional ou local. Notons par ailleurs, que les décideurs locaux responsables des décisions concernant la sécurité routière estiment que les données qui ne concernent pas directement les accidents (c'est-à-dire les coûts associés à la mobilité, le temps, les coûts associés à la protection de l'environnement...) ne peuvent pas vraiment servir au niveau local pour la prise de décision.

Dans les pays dans lesquels le budget de sécurité routière est centralisé et les projets sont essentiellement financés par le gouvernement, l'obligation d'effectuer une analyse coût-bénéfice des mesures de sécurité mises en œuvre peut être imposée comme une condition sine qua non pour tout projet dont le financement provient du budget central.

6.3 Conclusion

Il était essentiel, par la présente synthèse, d'identifier les meilleures pratiques en matière d'investissements rentables en termes de sécurité routière en Europe et dans le monde, car cela permet de mieux comprendre comment l'application réussie de mesures individuelles portant sur les infrastructures ou l'adoption d'approches intégrées ont permis d'améliorer la sécurité routière. Grâce à une analyse pertinente de la littérature, les résultats obtenus dans une situation donnée peuvent permettre de prédire les effets de certaines mesures lorsqu'elles sont appliquées dans des circonstances analogues et ainsi, de formuler des lignes directrices spécifiques afin de garantir une application efficace des politiques de sécurité routière.

De plus, nous avons souligné certains principes fondamentaux concernant les techniques d'évaluation de l'efficacité de ces investissements d'infrastructure en nous appuyant sur l'expérience acquise dans le cadre d'une analyse exhaustive de la littérature portant sur des études de cas provenant du monde entier. Les diverses composantes d'une évaluation de l'efficacité, les entraves à ce processus d'évaluation et le rôle de l'évaluation de l'efficacité dans le processus décisionnel ont été rappelés, car il s'agit de facteurs importants dont il faut tenir compte lorsque l'on évalue l'efficacité d'une mesure de sécurité routière.

N'oublions pas qu'il n'existe pas de «recette miracle» ou de panacée à l'heure de choisir une mesure portant sur les infrastructures parmi tant d'autres. Leur rentabilité varie en fonction du pays dans lequel elles sont mises en œuvre, de la période de mise en œuvre, de l'envergure de la mesure mais aussi du niveau global de sécurité dans le pays concerné. Cette remarque s'applique surtout à l'impact sur la sécurité de chaque mesure, identifié grâce à notre analyse de la littérature, car cet impact peut varier en fonction des caractéristiques du pays dans lequel la mesure est mise en œuvre. De plus, les coûts de mise en œuvre des investissements portant sur les infrastructures, qui sont en général élevés par rapport à d'autres mesures de sécurité routière (telles que l'intensification des contrôles de police, les campagnes de sécurité routière etc.) peuvent varier considérablement d'un pays à l'autre, surtout lorsqu'un ensemble de mesures est envisagé.

REFERENCES

1. Alfaro, J-L., Chapuis, M., Fabre, F. (1994) (Eds): *COST 313. Socioeconomic cost of road accidents*. Report EUR 15464 EN. Brussels, Commission of the European Communities.
2. Allaire, C., Ahner, D., Abarca, M., Adgar, P., and Long, S. (1996). *Relationship Between Side Slope Conditions and Collision Records in Washington State*. WA-RD 425.1, Olympia, Washington State Department of Transportation.
3. Al-Masaeid, H. R, Hammory, K., Al-Omari, B. (1999). *Consistency of horizontal alignment under adverse weather conditions*. Road & Transport Research.
4. American Association of State Highway and Transportation Officials (2002). *Roadside Design Guide*. Washington, D.C.
5. American Association of State Highway and Transportation Officials (2004). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D.C.
6. Austroads (2002). *Evaluation of the proposed actions emanating from Road Safety Audits*, Sydney, A4, 104pp, AP-R209/02.
7. Bahar, G., Mollett, C., Persaud, B., Lyon, C., Smiley, A., Smahel, T., and McGee, H. (2004). *NCHRP Report 518: Safety Evaluation of Permanent Raised Pavement Markers*. Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council.
8. Bared J.G., Kaisar E.I. (2001). *Advantages of offset T-intersections with guidelines*. In the Proceedings of: Road Safety on Three Continents, Swedish National Road and Transport Institute, Moscow, Russia, 19–21 September, 2001.
9. BAST (2002). *Sicherheitsaudit für Straßen (SAS) in Deutschland*. In: Berichte der BAST, Verkehrstechnik Heft V98.
10. Bergh T., Carlsson A., Moberg J. (2005). *2+1 Roads with Cable Barriers--A Swedish Success Story*, Proceedings of the 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, Chicago, Illinois, June 29 - July 1.
11. Bjorklund G., Aberg L. (2005). *Driver behaviour in intersections: Formal and informal traffic rules*. Transportation Research Part F 8, PP. 239-253.
12. Blaeij, A. de.; Koetse, M.; Tseng, Y-Y.; Rietveld, P.; Verhoef, E. (2004). *Valuation of safety, time, air pollution, climate change and noise; methods and estimates for various countries*. Report prepared for ROSEBUD. Department of Spatial Economics, Vrije Universiteit, Amsterdam.
13. Brenac T. (1994). *Accidents en carrefour sur routes nationales, modélisation du nombre d'accidents prédictible sur un carrefour et exemples d'applications*. Rapport INRETS No 185, INRETS, Arcueil.
14. Bunn, F., Collier, T., Frost, C., Ker, K., Roberts, I., Wentz, R. (2004). *Area-wide traffic calming for preventing traffic related injuries (Cochrane review)*. The Cochrane Library, No. 3, Chichester, UK, John Wiley and Sons.
15. Carlsson, A., Brude, U., Bergh, T. (2001). *Utvärdering av alternative 13m vag. Halvarsrapport 2001*. Vag-och Transportforskningsinstitutet, Linköping.
16. Casey S.M., Lund A.K. (1992). *Changes in speed and speed adaptation following increase in national maximum speed limit*. Journal of Safety Research 23 (3).
17. CEN - European Committee for Standardization (1998). *EN 1317-1:1998 - Road restraint systems - Part 1: Terminology and general criteria for test methods*. Directive 89/106/EEC, CEN/TC 226 - Road equipment.
18. Center for Transportation Research and Education (2006). *Safety Impacts Of Street Lighting at Isolated Rural Intersections - Part II*. Final Report, CTRE, Iowa State University.
19. Christensen, P. (2004). *Area wide urban traffic calming schemes: re-analysis of a meta-analysis*. Working paper TØ/1676/2004, Oslo, Norway, Institute of Transport Economics.

20. Cohen S., Duval H., Lassare S., Orfeuil J.P. (1998). *Limitation de vitesse: les décisions publiques et leurs effets*. Transports et Sécurité, Ed. Hermès, Paris, 1998.
21. CEDR - Conference of European Directors of Roads (2006). *Most Effective Short-, Medium- and Long-Term Measures to Improve Safety on European Roads*. Final Report prepared by the Conference of European Directors of Roads.
22. Corben, B.F. et al. (1997). *An evaluation of the general effectiveness of countermeasures designed for crashes into fixed roadside objects*. Manuscript submitted to Accident Analysis and Prevention.
23. *Country Comparisons*. Deliverable D3.7a of the EU FP6 project SafetyNet.
24. CRA (Charles River Associates Incorporated), (1998). *Consumer acceptance of automotive crash avoidance devices: A report of qualitative research*. USDOT, CRA Interim Report (Project No. 852-05).
25. Craus J., Mahalel D. (1986). *Analysis of operation and safety characteristics of left-turn lanes*. ITE Journal, July, pp. 34-39.
26. Elvik, R., (2001). *Area-wide Urban Traffic Calming Schemes: A Meta-Analysis of Safety Effects*. Accident Analysis and Prevention 33 (3), pp. 327- 336.
27. Elvik, R., Vaa, T. (2004). *The Handbook of Road Safety Measures*. Elsevier, 2004.
28. ERSO - The European Road safety Observatory (2006). *Roads - webtext of the European Road Safety Observatory*. Available on-line at www.erso.eu
29. ERSO - The European Road safety Observatory (2006). *Speeding - webtext of the European Road Safety Observatory*. Available on-line at www.erso.eu
30. ETSC - European Transport Safety Council (1995). *Reducing Traffic Injuries resulting from excess and inappropriate speed*. European Transport Safety Council, Brussels
31. ETSC - European Transport Safety Council (1997). *Road safety audit and safety impact assessment*. European Transport Safety Council, Brussels.
32. European Commission (1997). *Promoting road safety in the EU: The programme for 1997-2001*. Commission of the European Communities, Brussels.
33. European Commission (2002). *eSafety: Final Report of the eSafety Working Group on Road Safety*. European Commission, Brussels. Available on line at http://ec.europa.eu/information_society/activities/esafety/doc/esafety_library/esafety_wg_final_report_nov02.pdf
34. European Commission (2003). *Road Safety Action Programme, 311 final*. European Commission, Brussels.
35. European Commission (2005). *Cars that can dial 112: Commission and industry target 2009*. Press Release Report IP/05/134.
36. European Commission (2006). *Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on road infrastructure safety management*. European Commission, Brussels, 5.10.2006.
37. European Commission White Paper (2001). *European transport policy for 2010: Time to decide*. European Commission, Brussels.
38. Eurostat / UNECE / ECMT (2003). *Glossary for transport statistics*. Document prepared by the Intersecretariat Working Group on Transport Statistics. European Commission, United Nations Economic Commissions for Europe, European Conference of Ministers of Transport.
39. Federal Highway Administration (2003). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. Washington, D.C.
40. Fitzpatrick, K., Balke, K., Harwood, D. W., and Anderson, I. B. (2000). *NCHRP Report 440: Accident Mitigation Guide for Congested Rural Two-Lane Highways*. Washington, D.C., National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board.
41. Forbes, G. (2003). *Synthesis of Safety for Traffic Operations: Final Report*. Ottawa, Ontario, Canada, Transport Canada.

42. Fridstrom L. et al. (1995). Measuring the contribution of randomness, exposure, weather and daylight to the variation of road accident counts. *Accident Analysis & Prevention* 27, pp.1-20.
43. Friedman L.S., Barach P., Richter E.D. (2007). *Raised speed limits, case fatality and road deaths: a six year follow-up using ARIMA models*. *Injury Prevention* 13, pp. 156-161.
44. Gaudry, M. (2004). *Sur les coûts de la vie humaine utilisés en Europe depuis le rapport Boiteux de juin 2001*. Communication présentée lors de la réunion du 28 avril 2004 du Comité sur les pratiques d'évaluation des grandes infrastructures de transport du Conseil Général des Ponts et Chaussées (CGPC), comité présidé par M. Claude Gressier. (In French)
45. Golias J., Yannis G., Antoniou C. (2002). *Classification of driver assistance systems according to their impact on road safety and traffic efficiency*. *Transport Reviews*, Vol. 22, No. 2, pp. 179-196.
46. Golias J.C. (1997). *Effects of signalisation on four-arm urban junction safety*. *Accident Analysis & Prevention* 29 (2), pp. 181-190.
47. Graham J.L, Harwood D.W. (1982). *Effectiveness of clear recovery zones*. National Cooperative Highway Research Program Report 247. Transportation Research Board, Washington DC.
48. Griffith, M. S. (1999). *Safety Evaluation of Rolled-In Continuous Shoulder Rumble Strips Installed on Freeways*. 78th Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, D.C.
49. Hadi, M. A., Aruldas, J., Chow, L., and Wattleworth, J. (1995), *Estimating Safety Effects of Cross - Section Design for Various Highway Types Using Negative Binomial Regression*. Transportation Research Record 1500, Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council, pp. 169-177.
50. Hakkert, A.S., Gitelman, V., et al (2002). *Development of Method, Guidelines and Tools for Evaluating Safety Effects of Road Infrastructure Improvements*. Final report, T&M Company, Ministry of Transport (in Hebrew).
51. Harwood D.W., Bauer K.M., Potts I.B., Torbic D.J., Richard K.R., Kohlman Rabbani E.R., Hauer E., Elefteriadou L. (2002). *Safety Effectiveness of Intersection Left- and Right-Turn Lanes*. Federal Highway Administration Report No FHWA-RD-02-089.
52. Harwood, D.W., Council, F.M., Hauer, E., Hughes, W.E., Vogt, A. (2000). *Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways*. FHWA-RD-99-207, Federal Highway Administration USA.
53. Hassan, Y., Sayed, T., Bidulka, S. (2002). *Influence of vertical alignment on horizontal curve perception: Phase II, modeling perceived radius*. Transportation Research Record No 1796, Transportation Research Board, Washington DC.
54. Hauer, E. (1999). *Safety and the choice of degree of curve*. Transportation Research Record No 1665, Transportation Research Board, Washington DC.
55. Hauer, E. (2000a). *Highway Medians and Safety, Review of literature for the Interactive Highway Safety Design Model*. Available on-line at www.roadsafetyresearch.com.
56. Hauer, E. (2000b). *Lane Width and Safety, Review of literature for the Interactive Highway Safety Design Model*. Available on-line at www.roadsafetyresearch.com.
57. Hauer, E. (2000c). *Shoulder Width, Shoulder Paving and Safety, Review of literature for the Interactive Highway Safety Design Model*. Available on-line at www.roadsafetyresearch.com.
58. Hauer, E., (1997). *Observational Before-After Studies in Road Safety*, Pergamon.
59. Hauer, E., Terry, D. and Griffith, M.S. (1994). *Effect of resurfacing on safety of two-lane rural roads in New-York State*. Transportation Research Record 1467, Transportation Research Board, Washington, DC.
60. Herrstedt L. (2000). *Road Safety Audit Note 74*. Road Directorate. Copenhagen.

61. Herrstedt, L. (1992). *Traffic calming design - a speed management method. Danish Experiences on Environmentally Adapted Through Roads*. Accident Analysis and Prevention 24 (1), pp. 3–16.
62. Herrstedt, L., Kjemtrup, K., Borges, P. & Andersen, P. (1993). *An improved traffic environment - a catalogue of ideas*. Danish Road Directorate, Ministry of Transport, Herlev (DK)
63. Hickey, J. Jr. (1997). *Drift-off-road accident reductions on the Pennsylvania turnpike*. Transportation Research Record 1573, TRB, National Research Council, Washington, D.C., 1997, pp. 105-109.
64. Highway Agency (2005). *Value Management of Local Network Management Schemes*. Report developed by the Highway Agency, Department for Transport, UK
65. Hoareau E., Newstead S., Cameron M. (2006). An evaluation of the default 50 km/h speed limit in Victoria. Monash University, Accident Research Centre Report No. 261, November 2006.
66. Hoglund P.G. (1994). *Alternative intersection design - a possible way of reducing air pollutant emissions from road and street traffic?* The Science of the Total Environment 146/147, pp. 35-44.
67. Hughes, L.M., McGee, H.W. and Hauer, E. (2001). *Impacts of resurfacing projects with and without additional safety improvements*. Research Results Digest Number 255, National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board, Washington, DC.
68. Hyde'n C., Va'rhelyi A. (2000). *The effects on safety, time consumption and environment of large scale use of roundabouts in an urban area: a case study*. Accident Analysis and Prevention 32, pp. 11–23.
69. IHT - Institution of highways and transportation (1987). *Roads and traffic in urban areas*. London UK.
70. IHT - Institution of highways and transportation (1990). *Guidelines for Accident Reduction and Prevention*. International edition, London UK.
71. Institute of Transportation Engineers (1999). *Traffic Engineering Handbook Fifth Edition*. Washington, D.C., Institute of Transportation Engineers.
72. Jørgensen, N.O., Nilsson P.K., (1995). *Traffiksikkerhedsrevisionsprojektet. Evaluering. Det Eksterne panels rapport*. Rapport No 33. Vejdirektoratet, København.
73. Knuiman, M. W., Council, F. M., and Reinfurt, D. W. (1993). *Association of median width and highway accident rates*. Transportation Research Record 1401, Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council, pp. 70-82.
74. Lamm, R., Psarianos, B., Mailaender, T.(1999). *Highway Design and Traffic Safety Engineering Handbook*. McGraw Hill.
75. Lindenmann H.P. (2005). *The Effects on Road Safety on 30 Kilometer-Per-Hour Zone Signposting in Residential Districts*. ITE Journal 75 (6).
76. Long A.D., Kloeden C.N., Hutchinson T.P., McLean A.J. (2006). *Reduction of speed limit from 110 km/h to 100 km/h on certain roads in South Australia: a preliminary evaluation*. Centre for Automotive Safety Research, Report Series CARS024, University of Adelaide, 2006.
77. Mahalel D., Craus J., Polus A. (1987). *Evaluation of staggered and cross intersections*. Journal of Transportation Engineering 112, pp. 495-506.
78. Mannering F. L. (2007). *Effects of Interstate Speed Limits on Driving Speeds: Some New Evidence*. In the Proceedings of the: Transportation Research Board 86th Annual Meeting, Washington DC.
79. Matthews, L.R., and Barnes, J.W., (1988). *Relation between road environment and curve accidents*. In the Proceedings of the 14th ARRB Conference, Part 4, pp. 105-120.

80. Matzoros A., Van Vliet D. (1992). *A model of air pollution from road traffic, based on the characteristics of interrupted flow and junction control: Part II- Model results*. Transportation Research Part A 26A (4), pp. 331-355.
81. Miaou, S. P. (1996). *Measuring the Goodness of Fit of Accident Prediction Models*. FHWA-RD-96-040, McLean, Va., Federal Highway Administration.
82. Mullen M. A., Wilson J.H., Gottsman L., Noland R.B., Schroeder W.L. (1997). *Emissions impact of eliminating national speed limits: one year later*. Transportation Research Record No. 1587.
83. National Roads Authority (2007). *Road Safety Engineering Report on Accident Remedial Schemes*, report provided by National Roads Authority.
84. Nellthorp, J., Samson, T., Bickel, P., Doll, C., Lindberg, G., (2001). *Valuation Conventions for UNITE*. UNITE (Unification of accounts and marginal costs for Transport Efficiency) Working Funded by the 5th Framework RTD Programme. Leeds, ITS University of Leeds. Available on-line at http://www.its.leeds.ac.uk/projects/unite/downloads/D5_Annex3.pdf
85. Neuman, T. R., Pfefer, R., Slack, K. L., Hardy, K. K., Council, F. M., McGee, H., Prothe, L., and Eccles, K. A. (2003). *NCHRP Report 500 Volume 6: A Guide for Addressing Run-off-Road Collisions*. Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council.
86. Newstead S.V., Corben B.F. (2001). *Evaluation of the 1992-1996 Transport Accident Commission funded accident black spot treatment program in Victoria*. Report 2001/05 (182). Monash University, Victoria, Australia.
87. NTUA - National Technical University of Athens (2005). *Improvement of accident data compatibility throughout Europe*. Deliverable 1.5 of SafetyNetWP1 - Intermediate Progress Report on Task 1.4, SafetyNet Consortium, Athens.
88. NTUA - National Technical University of Athens (2005). *State of the Art Report on Risk and Exposure Data*. Deliverable 2.1 of SafetyNetWP2, SafetyNet Consortium, Athens. Available on-line at: <http://www.erso.eu/safetynet/fixed/WP2/Deliverable%20wp%202.1%20state%20of%20the%20art.pdf>
89. Ogden, K.W. (1997). *The effects of paved shoulders on accidents on rural highways*. Accident Analysis and Prevention Vol. 29 No 3.
90. Patterson T.L., Frith W.J., Povey L.J., Keall M.D. (2002). *The Effect of Increasing Rural Interstate Speed Limits in the United States*. Traffic Injury Prevention 3, pp. 316–320.
91. Pau M., Angius S. (2001). *Do speed bumps really decrease traffic speed? An Italian experience*. Accident Analysis and Prevention 33, pp. 585–597.
92. Pechan and Associates, Inc. (1997). *The effects of raising speed limits on motor vehicle emissions*. Office of Policy Planning and Evaluation, Energy and Transportation Sectors Division, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC. Available on-line at: <http://ntl.bts.gov/lib/2000/2000/2087/spd2-rpt.pdf>
93. Peltola, H. (2000). *Seasonally changing speed limits: Effects on speeds and accidents*. Transportation Research Record No 1734, pp. 46-51.
94. Persaud B., Hauer E., Retting R., Vallurupalli R., Mucsi K. (1997). *Crash reductions related to traffic signal removal in Philadelphia*. Accident Analysis and Prevention 29 (6), pp. 803-810.
95. Persaud, B. N., Retting, R. A., Garder, P. E., and Lord, D. (2001), *Observational Before-After Study of the Safety Effect of U.S. Roundabout Conversions Using the Empirical Bayes Method*. Transportation Research Record, No. 1751, Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council
96. PIARC Technical Committee on Road Safety (2003). *Road Safety manual*. World Road Association.
97. PIARC Technical Committee on Road Safety (2007). *Road Accident Investigation Guidelines for Road Engineers*. World Road Association.

98. PROMISING Consortium (2001). *Cost-benefit analysis of measures for vulnerable road users*. PROMISING - Promotion of Measures for Vulnerable Road Users, Deliverable D5.
99. Retting R.A., Chapline J.F., Williams A.F. (2002). *Changes in crash risk following re-timing of traffic signal change intervals*. Accident Analysis and Prevention 34, pp. 215-220.
100. Retting R.A., Weinstein H.B., Solomon M.G. (2003). *Analysis of motor-vehicle crashes at stop signs in four U.S. cities*. Journal of Safety Research 34, pp. 485-489.
101. Richter E.D., Barach P., Friedman L., Krikler S., Israeli A. (2004). *Raised speed limits, speed spillover, case-fatality rates, and road deaths in Israel: A 5-year follow-up*. American Journal of Public Health 94 (4).
102. RIPCORDER – Iserest Consortium (2007). *Road Safety Audit - Best Practice Guidelines, Qualification of Auditors and "Programming"*. <http://www.ripcoorder-iserest.com>.
103. RISER consortium (2007). *RISER - Roadside Infrastructure for Safer Roads*. <http://www.riser-project.com/>.
104. ROSEBUD Consortium (2004). *The Use of Efficiency Assessment Tools: Solutions to Barriers*. Available on-line at http://partnet.vtt.fi/rosebud/products/deliverable/Report_WP3_final_june_2004.pdf
105. ROSEBUD Consortium (2005). *Testing the efficiency assessment tools on selected road safety measures*. ROSEBUD WP4 Final Report. Available on-line at http://partnet.vtt.fi/rosebud/products/deliverable/ROSEBUD_WP4_REPORT_FINAL.pdf.
106. ROSEBUD Consortium (2006). *Examples of assessed road safety measures - a short handbook*. Available on-line at http://partnet.vtt.fi/rosebud/products/deliverable/Handbook_July2006.pdf.
107. Sabey, B.E., Taylor, H. (1980). *The known risks we run: The Highway*. TRRL Report SR567, Crowthorne, Berks, TRRL, 1980.
108. Sagberg F. (2006). *Can Changed Speed Limit on a Road Section Influence Speed on Adjacent Sections?* In the Proceedings of: "Research into Practice" 22nd ARRB Conference, Australian Road Research Board.
109. Shafi S., Gentilello L. (2007). *A nationwide speed limit 65 miles per hour will save thousands of lives*. The American Journal of Surgery 193, pp. 719–722.
110. Sisiopiku V., Akin D. (2003). *Pedestrian behaviors at and perception towards various pedestrian facilities: an examination based on observation and survey data*. Transportation Research Part F 6, pp. 249-274.
111. Smith R.G., Lovegrove A. (1983). *Danger compensation effects of stop signs at intersections*. Accident Analysis and Prevention 15 (2), pp. 95-105
112. Smith, B., Lamm, R. (1993). *Coordination of Horizontal and Vertical Alignment with Regard to Highway Aesthetics*. Transportation Research Record No 1445, Transportation Research Board, Washington DC.
113. SpeedAlert (2006). *Harmonizing the in-vehicle speed alert concept definition*. Official website of the SpeedAlert project <http://www.speedalert.org/>
114. Spyropoulou I., Golias J., Karlaftis, M.G., Penttinen M., Vaa T. (2007). *Risk Factors and Intelligent Transport System answers - possible opportunities and shortcomings*. In the Proceedings of the 11th World Conference on Transportation Research WCTR 2007, Berkeley, USA, 24-28 June, 2007.
115. Staahl, A., Oxley, P., Berntman, M. and Lind, L. (1995). *The use of vision enhancements to assist elderly drivers*. In the Proceedings of the 1st World Congress on Applications of Transport Telematics and Intelligent Vehicle-Highway Systems.
116. Sun X., Garber N.J. (2002). *Determining the Safety Effects of Differential Speed Limits on Rural Interstate Highways Using Empirical Bayes Method*. University of Virginia, Centre for Transportation Studies, Research Report No. UVACTS-14-5-36, 2002

117. Surrey County Council (1998). *Road Safety Audit: An investigation into casualty savings*. Discussion report, Surrey County Council Highways Management Division, Casualty Reduction Group, UK.
118. Taylor, M. & Wheeler, A. (2000). *Accidents reductions resulting from village traffic calming*. In: Demand management and safety systems; proceedings of seminar J, Cambridge 11-13 September 2000, p. 165-174.
119. Tecl, J., Konarek, Z. (2006). *Socio-economic costs of road accidents in Czechia*. Unpublished manuscript, CDV, Brno.
120. TEN - STAC Scenarios, Traffic Forecasts, and Analyses of Corridors on the Trans-European Transport Network. Official Website <http://www.nea.nl/ten%2Dstac/>
121. Torbic, D.J., Harwood, D.W., Gilmore, D., Pfefer, R., Neuman, T.R., Slack, K.L., Kennedy, K. (2003). *Guidance for implementation of the AASHTO Strategic Highway Safety Plan - Volume 7: A Guidance for Reducing Collisions on Horizontal Curves*. NCHRP Report 500, Transportation Research Board.
122. Transportation Research Board, "Highway Capacity Manual 2000." Washington, D.C., Transportation Research Board, National Research Council, (2000).
123. Tsugawa, S., Kato, S., Matsui, T., Naganawa, H., and Fuji H. (2000). *An Architecture for Cooperative Driving of Automated Vehicles*. In the Proceedings of the 2000 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Dearborn, MI.
124. United Nations Economic Commission for Europe (1968). *Convention on road signs and signal*. Inland Transport Committee, UN, Vienna.
125. VESIPO (2002). *Erarbeitung der Grundlagen für die Strassenverkehrs-sicherheitspolitik des Bundes*. Basler & Hofman, Eckhardt, Perrin, Schönenberger, Fierz.
126. Virtanen, N. (2005). *Impacts of an automatic emergency call system on accident consequences*. Espoo, Technical Research Centre of Finland (VTT).
127. Vis, M.A. and A.L. van Gent (Eds.) (2007). *Road Safety Performance Indicators: Country Comparisons*. Deliverable D3.7a of the EU FP6 project SafetyNet.
128. Wells, P. (1999). *Benefits of Road Safety Audit*. Traffic Safety on Two Continents Conference, 20-22 September, Malmo Sweden.
129. Wesemann, P. (2000). *Economic evaluation of road safety measures*. Contribution to the 117th Round Table, 26 and 27 October 2000, Paris. SWOV Publication D-2000-16E. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam.
130. Wong S.C., Sze N.N., Lo H.K., Hung W.T., Loo B.P.Y. (2005). *Would relaxing speed limits aggravate safety? A case study of Hong Kong*. Accident Analysis & Prevention 37 (3).
131. Yannis G., Evgenikos P., Papadimitriou E. (2005). *Cost - Benefit assessment of selected road safety measures in Greece*. Proceedings of 13th International Conference on Road Safety "Road Safety on four continents", Warsaw, 5-7 October
132. Yannis, G., Evgenikos, P., Lejeune, P., Hoeglinger, S., Broughton, J. (2006). *Enhancement and exploitation of the existing European road accident data*. In the proceedings of the 3rd IRTAD Conference "Road Traffic Accident Data - Improved Data for Better Safety", Brno, 26-28 November 2006.
133. Zegeer C.V. et al. (1988). *Accident effects of sideslope and other roadside features on two-lane roads*. Transportation Research Record No 1195, 33-47.
134. Zegeer, C.V., Council, F.M. (1995). *Safety relationships associated with cross-sectional roadway elements*. Transportation Research Record No 1512.
135. Zegeer, C.V., Twomey, J.M., Heckman, M.L., Hayward, J.C. (1992). *Safety effectiveness of highway design features: Volume II, Alignment*. FHWA-RD-91-045, Federal Highway Administration, Washington, DC.



**La Grande Arche, Nord 5^e
FR – 92055 PARIS – LA DEFENSE
Tél. : + 33 (0) 1 46 98 31 72 Fax. : + 33 (0) 1 40 81 99 16
www.cedr.eu information@cedr.fr**