

GUIDE POUR

**L'INTÉGRATION DE LA
SÉCURITÉ
DANS LA
CONCEPTION DES
ROUTES**



LA BANQUE MONDIALE



Fonds mondial pour la
sécurité routière

FINANCÉ PAR



UKaid
from the British people

MOBILITÉ ET CONNECTIVITÉ DES TRANSPORTS EST UNE SÉRIE PRODUITE PAR LE PÔLE MONDIAL D'EXPERTISE DES TRANSPORTS DE LA BANQUE MONDIALE. LES OUVRAGES DE CETTE SÉRIE RASSEMBLENT DES PREUVES ET PROMEUVENT L'INNOVATION ET LES BONNES PRATIQUES EN RAPPORT AVEC LES DÉFIS DE DÉVELOPPEMENT ABORDÉS DANS LES OPÉRATIONS DE TRANSPORT ET LES SERVICES D'ANALYSE ET DE CONSEIL.

© 2022 Pôle mondial d'expertise des transports

Banque internationale pour la reconstruction et le développement / Banque mondiale

1818 H Street NW, Washington DC 20433 États-Unis

Internet : <http://www.worldbank.org/transport>

Mentions légales

Cet ouvrage est un produit du personnel de la Banque mondiale avec des contributions externes. Les résultats, interprétations et conclusions exprimés dans la présente ne reflètent pas nécessairement les opinions de la Banque mondiale, de son Conseil d'administration ou des gouvernements que cette organisation représente.

La Banque mondiale ne garantit pas l'exactitude des données incluses dans cet ouvrage. Les frontières, couleurs, dénominations et autres informations figurant sur les cartes de cet ouvrage n'impliquent aucun jugement de la part de la Banque mondiale quant au statut juridique d'un territoire, ni l'approbation ou l'acceptation de ces frontières.

Droits et autorisations



Le contenu de cet ouvrage est soumis à des droits d'auteur. Puisque la Banque mondiale encourage la diffusion de ses connaissances, cet ouvrage peut être reproduit, en partie ou en intégralité, à des fins non commerciales à condition que les auteurs soient cités.

Toute question concernant les droits et les licences, y compris les droits subsidiaires, doit être adressée à World Bank Publications, The World Bank Group, 1818 H Street NW, Washington, DC 20433, États-Unis ; télécopie : 202-522-2625 ; e-mail : pubrights@worldbank.org.

Attribution

Veuillez citer le travail comme suit : Mitra, S., Turner, B., Mbugua, L.W., Neki, K., Barrell, J., Wambulwa, W. et Job, S. (2021). Guide pour l'intégration de la sécurité dans la conception des routes. Washington, DC, États-Unis : Banque mondiale.

Photo de couverture : © Daniel Silva Yoshisato/GRSF. Une autorisation supplémentaire est requise pour la réutilisation.

Conception de la couverture : Giannina Raffo.

*Ce document est une traduction de la version anglaise publiée en 2022, et certains documents de référence peuvent avoir été mis à jour depuis cette publication initiale

Contents

Remerciements	1
1. INTRODUCTION	2
1.1. Intégration de la sécurité dans la conception des routes	2
1.2. Principes directeurs du système sûr pour une conception plus sûre	4
1.3. Le rôle des guides de conception routière	5
1.4. À propos de ce guide	7
2. PRINCIPES CLÉS DE LA CONCEPTION DES ROUTES DANS LE CONTEXTE D'UNE PLANIFICATION SÛRE.....	11
2.1. Principes généraux de conception des routes.....	11
2.2. Fonction des routes et utilisation des sols	13
2.3. Type de véhicule et d'usager de la route dans le contexte des PRITI	17
2.4. Conception sensible au contexte.....	21
Exceptions en matière de conception	23
Conception en fonction des caractéristiques des usagers de la route et du respect des règles.....	24
Rues complètes	24
2.5. Engagement communautaire.....	26
2.6. L'innovation.....	30
3. ASPECTS ESSENTIELS DE LA CONCEPTION DES ROUTES DANS LE CONTEXTE D'UNE INGÉNIERIE SÛRE	34
3.1. Vitesse de conception et vitesse de fonctionnement	34
Description générale.....	34
Conséquences pour la sécurité.....	35
Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	35
Pour en savoir plus	35
3.2. Gestion de la vitesse et ralentissement de la circulation	36
Description générale.....	36
Conséquences pour la sécurité.....	37
Bonnes pratiques de conception/ traitements/ solutions.....	38
Pour en savoir plus	42
3.3. Distance de visibilité	42
Description générale.....	42
Conséquences pour la sécurité.....	45
Bonnes pratiques de conception/ traitements/ solutions.....	45
Pour en savoir plus	46
3.4. Collectivités linéaires	47
Description générale.....	47
Conséquences pour la sécurité.....	47

	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	48
	Pour en savoir plus.....	51
3.5.	Contrôle des accès.....	52
	Description générale.....	52
	Conséquences pour la sécurité.....	52
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	53
3.6.	Construction, fonctionnement et entretien.....	54
	Description générale.....	54
	Conséquences pour la sécurité.....	56
	Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	57
	Pour en savoir plus.....	59
4.	CONCEPTION DES INFRASTRUCTURES POUR LES USAGERS VULNÉRABLES DE LA ROUTE.....	60
	Description générale.....	60
	Conséquences pour la sécurité.....	61
4.1.	Conception des aménagements pour les piétons – Voies piétonnes.....	62
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	62
4.2.	Conception des aménagements pour les piétons – Traversées.....	66
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	66
	Traversée contrôlée/à niveau séparé.....	66
	Étude de cas.....	70
4.3.	Conception des aménagements pour les cyclistes.....	71
	Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	72
	Étude de cas/exemple du cycle général.....	77
	Pour en savoir plus.....	78
4.4.	Conception des aménagements pour les motocyclistes.....	78
	Description générale.....	78
	Conséquences pour la sécurité.....	79
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	80
	Étude de cas.....	84
	Pour en savoir plus.....	85
4.5.	Transports publics – Arrêts d'autobus ; transport rapide par autobus et autres modes.....	86
	Description générale.....	86
	Conséquences pour la sécurité.....	87
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	88
	Pour en savoir plus.....	91
5.	SECTION TRANSVERSALE ET ALIGNEMENT.....	92
5.1.	Largeur de la route.....	93
	Description générale.....	93
	Conséquences pour la sécurité.....	93

	Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	95
	Étude de cas.....	96
	Pour en savoir plus	97
5.2.	Largeur et type d'accotement.....	97
	Description générale.....	97
	Conséquences pour la sécurité.....	98
	Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	99
	Pour en savoir plus	101
5.3.	Courbure horizontale	101
	Description générale.....	101
	Conséquences pour la sécurité.....	102
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	103
	Pour en savoir plus	109
5.4.	Dévers et pente transversale (également appelée « cambrure » ou « pente transversale »)	109
	Description générale.....	109
	Conséquences pour la sécurité.....	111
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	111
	Pour en savoir plus	112
5.5.	Courbe verticale et gradient	113
	Description générale.....	113
	Conséquences pour la sécurité.....	113
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	114
	Pour en savoir plus	119
5.6.	Voies de dépassement	119
	Description générale.....	119
	Conséquences pour la sécurité.....	120
	Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	121
	Étude de cas.....	123
	Pour en savoir plus	123
5.7.	Bords de route – Bords de route favorables et zones de dégagement.....	124
	Description générale.....	124
	Conséquences pour la sécurité.....	126
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	127
	Pour en savoir plus	130
5.8.	Glissières	131
	Description générale.....	131
	Conséquences pour la sécurité.....	132
	Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	134
	Pour en savoir plus	136

5.9. Terre-pleins centraux	136
Description générale.....	136
Conséquences pour la sécurité.....	138
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	139
Pour en savoir plus	142
Études de cas/exemples.....	143
5.10. Revêtement des routes	144
Description générale.....	144
Conséquences pour la sécurité.....	144
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	147
Pour en savoir plus	149
5.11. Drainage	149
Description générale.....	149
Conséquences pour la sécurité.....	150
Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	151
Étude de cas.....	155
Pour en savoir plus	156
5.12. Bordures de trottoir.....	156
Description générale.....	156
Conséquences pour la sécurité.....	157
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	158
Pour en savoir plus	161
5.13. Panneaux de signalisation	161
Description générale.....	161
Conséquences pour la sécurité.....	164
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	165
Pour en savoir plus	166
5.14. Marquage au sol.....	166
Description générale.....	166
Conséquences pour la sécurité.....	167
Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	168
Pour en savoir plus	169
5.15. Éclairage public.....	169
Description générale.....	169
Conséquences pour la sécurité.....	170
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	171
Pour en savoir plus	173

6. CARREFOURS	174
Conséquences pour la sécurité.....	174
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	174
Pour en savoir plus.....	177
6.1. Carrefours non contrôlés et sans feux de signalisation (priorité)	177
Description générale	177
Conséquences pour la sécurité.....	177
Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	178
Pour en savoir plus.....	181
Études de cas/exemples	182
6.2. Carrefours à feux de signalisation.....	185
Description générale	185
Conséquences pour la sécurité.....	186
Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions.....	187
Études de cas/exemples	191
Pour en savoir plus.....	191
6.3. Carrefours giratoires	192
Description générale	192
Conséquences pour la sécurité.....	192
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	193
Études de cas/exemples	198
Pour en savoir plus.....	199
6.4. Carrefours surélevés	200
Description générale	200
Conséquences pour la sécurité.....	200
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	200
Pour en savoir plus.....	203
6.5. Canalisation (y compris voies de virage et bretelles)	204
Description générale	204
Conséquences pour la sécurité.....	205
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	207
Pour en savoir plus.....	211
6.6. Entrée à gauche sortie à gauche/entrée à droite sortie à droite.....	211
Description générale	211
Conséquences pour la sécurité.....	211
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	213
Pour en savoir plus.....	213
6.7. Voies d'accélération et de décélération	214
Description générale	214
Conséquences pour la sécurité.....	215
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions.....	215

	Pour en savoir plus	216
6.8.	Niveau séparé et rampes	216
	Description générale	216
	Conséquences pour la sécurité	218
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions	219
	Pour en savoir plus	220
6.9.	Passages à niveau	220
	Description générale	220
	Conséquences pour la sécurité	221
	Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions	222
	Pour en savoir plus	224
7.	OUTILS DE CONCEPTION POUR DES RÉSULTATS SÛRS	225
7.1.	Introduction	225
7.2.	Indicateurs de performance en matière de sécurité des infrastructures routières	226
7.3.	Outils et techniques d'infrastructure	228
	Pour en savoir plus	236
8.	DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE CLÉS	237

Figures

Figure 2.1:	Fonctions d'accès et de mobilité pour différentes catégories de routes.	14
Figure 2.2:	Vendeurs sur la route au Sénégal.....	15
Figure 2.3:	Magasins empiétant sur les voies piétonnes et la route.	15
Figure 2.4:	La route est un lieu de rencontre dans les villages d'Arménie.	15
Figure 2.5:	Illustration du statut du mouvement et de la place des routes et des rues.....	15
Figure 2.6:	Route rurale traversant un marché – Tchad.	16
Figure 2.7:	Principale artère urbaine séparée de la zone d'activité mixte – Qatar.....	16
Figure 2.8:	Étals sur la route sans séparation des mouvements de circulation à grande vitesse et de la zone d'activité mixte – Népal.....	16
Figure 2.9:	Route nationale séparée de la zone d'activité mixte – Qatar.....	16
Figure 2.10:	Différents types de véhicules et nombre élevé de piétons.....	18
Figure 2.11:	Différents types de véhicules – Vietnam.....	18
Figure 2.12:	Quatre types de véhicules différents sur l'autoroute – Inde.	18
Figure 2.13:	Différents types de véhicules.	18
Figure 2.14:	Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers – Bangkok.	19
Figure 2.15:	Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers – Philippines.	19
Figure 2.16:	Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers.	19
Figure 2.17:	Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers à un carrefour.	19
Figure 2.18:	Concept du domaine de la conception.	22
Figure 2.19:	Concept de la rue complète.	26

Figure 2.20: Niveaux d'engagement communautaire	27
Figure 2.21: Village le long de l'autoroute	29
Figure 2.22: Bus roulant à vive allure et dépassements à proximité d'une collectivité.	29
Figure 2.23: Bandes rugueuses.	29
Figure 2.24: Ralentisseur.	29
Figure 2.25: Passage pour piétons.	29
Figure 2.26: Avant l'amélioration du carrefour HP en mars 2017.	32
Figure 2.27: Magasins empiétant sur les voies piétonnes et figure 2.27 : Des interventions temporaires à faible coût ont été mises en œuvre (avec de la peinture, de la craie et des barricades) pendant l'essai (avril 2017). ...	32
Figure 2.28: Les changements ont été rendus permanents en décembre 2018.....	32
Figure 3.1: Courbes de vitesse/risque d'accident.	34
Figure 3.2: Rétrécissement de la chaussée, délinéateurs et ralentisseurs.....	36
Figure 3.3: Rétrécissement de la route avec des îlots de circulation et des bordures prolongées.....	36
Figure 3.4: Bandes rugueuses sur l'autoroute.	37
Figure 3.5: Rétrécissement de la route avec des îlots de circulation et des bordures prolongées.....	37
Figure 3.6: Rue en Colombie avec une bande rugueuse de fortune.....	37
Figure 3.7: Panneau d'information sur la vitesse.....	39
Figure 3.8: Ralentisseur non signalé (« invisible ») – Zanzibar.	39
Figure 3.9: Ralentisseur à marquage pour le ralentissement de la circulation	39
Figure 3.10: Passage piéton surélevé et cercle miniature	40
Figure 3.11: Utilisation d'infrastructures mixtes de ralentissement de la circulation – rétrécissements, ralentisseurs et délinéateurs	40
Figure 3.12: Les enfants n'avaient pas de point de passage sûr et dédié et étaient très souvent en conflit permanent avec les automobilistes.....	41
Figure 3.13: Les écoliers sont protégés par un passage zébré surélevé qui constitue en soi un élément de ralentissement de la circulation.	41
Figure 3.14: Installation d'un plateau ralentisseur avec marquage de damier. À gauche : avant l'intervention ; à droite : après l'intervention.....	42
Figure 3.15: Exemple du lien entre la vitesse et la vision périphérique et entre la vitesse et le point focal.	42
Figure 3.16: Distance de visibilité d'arrêt	43
Figure 3.17: Manœuvre de dépassement et distance de visibilité.	43
Figure 3.18: Exemples de triangles de visibilité du conducteur aux carrefours	44
Figure 3.19: Illustration de la distance de visibilité du conducteur dans les virages.	44
Figure 3.20: Corrélation entre la visibilité, la largeur de la chaussée et la vitesse des véhicules.....	45
Figure 3.21: Exemple de collectivité linéaire.....	47
Figure 3.22: Pas de voie piétonne ni d'aménagement de traversée pour les piétons.....	48
Figure 3.23: Manque de passages pour piétons.	48
Figure 3.24: Passerelle pour piétons, mais non utilisée.....	48
Figure 3.25: Pas de voie piétonne	48
Figure 3.26: Terre-plein central mal conçu, sans endroit pour traverser – Roumanie.	48
Figure 3.27: Étal dangereux sur le bord de la route	49
Figure 3.28: Marché séparé en bord de route avec stationnement, couloir de Dar es Salam entre Morogoro et Mafinga, Tanzanie.	49
Figure 3.29: Exemples de routes de contournement.	49
Figure 3.30: Croquis d'éléments routiers dans des zones bâties.	50
Figure 3.31: Route de desserte – Inde.	50
Figure 3.32: Moldavie – Route de desserte pour les véhicules lents.....	50

Figure 3.33: Panneau de signalisation et ralentisseur pour établir un point de passage – Inde	51
Figure 3.34: Points de passage en Inde	51
Figure 3.35: Point de passage mixte – Roumanie	51
Figure 3.36: Le trafic local n'est pas isolé de la voie rapide	52
Figure 3.37: Accès direct de la route locale à la voie rapide	52
Figure 3.38: Absence de voie piétonne.	53
Figure 3.39: Voie piétonne centrale à Lusaka, Zambie.....	53
Figure 3.40: Habillage latéral opaque sur la passerelle pouvant dissuader les piétons d'utiliser l'infrastructure pour des raisons de sécurité	53
Figure 3.41: Aménagements pour cyclistes et piétons avec zone tampon.	53
Figure 3.42: Gestion des accès.	54
Figure 3.43: Absence totale de signalisation et de contrôle – Kenya.	55
Figure 3.44: Signalisation non contrôlée – Roumanie Signalisation non contrôlée – Roumanie	55
Figure 3.45: Site bien signalisé et contrôlé – Tanzanie.....	55
Figure 3.46: Aucun aménagement pour les piétons – Qatar.....	55
Figure 3.47: Chantier bien signalisé et protégé – Abu Dhabi.	55
Figure 3.48: Le chantier se poursuit sans aucune mesure de sécurité temporaire – Bengale-Occidental.....	56
Figure 3.49: Excavation importante sans protection ni séparation du chantier et de la circulation générale – Kenya.	56
Figure 3.50: Construction sans protection ou séparation du chantier et de la circulation générale – Roumanie.	56
Figure 3.51: Absence totale de vêtements de protection pour les ouvriers sur la route ou de délimitation adéquate du chantier.	56
Figure 3.52: Chantiers et matériaux non protégés – Inde	57
Figure 3.53: Matériaux de construction empilés sans protection ni séparation le long de l'autoroute – Inde ...	57
Figure 3.54: Revêtement routier mal entretenu – Roumanie.	57
Figure 3.55: Route bien entretenue avec un marquage au sol clair – Inde.....	57
Figure 4.1: Séparation d'une voie de circulation pour véhicules, d'une piste cyclable et d'une voie piétonne sur une artère urbaine avec des pavés en béton sur la voie piétonne et une piste cyclable fermée.....	61
Figure 4.2: Pas de risque de trébuchement ou de sols glissants.....	62
Figure 4.3: Voie piétonne urbaine typique – Ghana.	63
Figure 4.4: Voie piétonne urbaine avec protection contre le trafic et pente dangereuse, Ghana.	63
Figure 4.5: Espace partagé en zone urbaine.	63
Figure 4.6: Espace partagé – Inde.	63
Figure 4.7: Trafic mixte sur une route de campagne	63
Figure 4.8: Voie piétonne obstruée et absence de bordure de trottoir à Manille.	64
Figure 4.9: Voie piétonne bien délimitée avec un itinéraire piéton clair et des indications tactiles en Chine.	64
Figure 4.10: Glissière de sécurité pour piétons mal entretenue – Inspection de la maintenance.....	64
Figure 4.11: Voie piétonne non protégée sur une route nationale rurale.	64
Figure 4.12: Infrastructure de transport séparée pour les piétons/usagers non motorisés sur une route rurale.. ..	65
Figure 4.13: Voie piétonne urbaine dégagée sur terre-plein central – Kenya.....	65
Figure 4.14: Projet de trottoir vivant – transformation d'une voie piétonne inexistante en une voie piétonne protégée.	65
Figure 4.15: Passerelle à niveau séparé – Ethiopie.....	66
Figure 4.16: Passage souterrain à niveau séparé – États-Unis.....	66
Figure 4.17: Pont piétonnier bien conçu – Shanghai.....	66
Figure 4.18: Passage piéton muni d'une signalisation.	67
Figure 4.19: Passages piétons en diagonale.....	67

Figure 4.20: Passage piéton bien défini – Rwanda.	68
Figure 4.21: Passage piéton surélevé pour ralentir les vitesses d'approche – Kenya.....	68
Figure 4.22: Passage piéton bien défini avec signalisation – Singapour.....	68
Figure 4.23: Îlot pour piéton	69
Figure 4.24: Traversée contrôlée avec îlot.	69
Figure 4.25: Manque d'espace pour les piétons sur le terre-plein central – Maurice – inspection de sécurité. ...	69
Figure 4.26: Peinture et rétrécissement à l'approche du passage piéton.	69
Figure 4.27: Transformation d'un passage piéton inexistant en un passage piéton surélevé bien défini avec signalisation.	70
Figure 4.28: Installation d'un îlot pour piétons – Vietnam.	70
Figure 4.29: Installation d'un passage surélevé avec signalisation et voie piétonne protégée – Zambie	70
Figure 4.30: Exemples de couloirs cyclables.....	71
Figure 4.31: Voie verte – La Rochelle, France.....	72
Figure 4.32: Cyclistes utilisant un accotement étroit – Rwanda.....	73
Figure 4.33: Cyclistes sur l'accotement scellé, le revêtement de la chaussée provoquant une différence de niveau – Rwanda.	73
Figure 4.34: Piste cyclable urbaine en Chine.	73
Figure 4.35: Piste cyclable à Pékin, Chine.....	73
Figure 4.36: Couloir cyclable séparé sur une autoroute en Éthiopie.	73
Figure 4.37: Une bande cyclable bien conçue à Shanghai.....	73
Figure 4.38: Voie piétonne/cyclable partagée en Tanzanie.	74
Figure 4.39: Bande cyclable séparée de la circulation des véhicules sur la route principale – Bucarest, Roumanie.	74
Figure 4.40: Bande cyclable non réussie séparée de la circulation automobile et du stationnement – Bucarest, Roumanie.	74
Figure 4.41: Rue cyclable – Royaume-Uni.	75
Figure 4.42: Zone avancée pour cyclistes (sas vélos) avec bande cyclable en double sens.....	76
Figure 4.43: Carrefour avec priorité de passage (pour les cyclistes) – Pays-Bas.	76
Figure 4.44: Carrefour giratoire pour cyclistes – Pays-Bas.	77
Figure 4.45: Carrefour giratoire suspendu pour cyclistes – Pays-Bas.....	77
Figure 4.46: Bandes cyclables séparées des piétons.....	77
Figure 4.47: Installation de passages piétons avec une zone avancée pour cyclistes – Inde.	78
Figure 4.48: Transport de marchandises à moto – Kenya.	79
Figure 4.49: motocyclistes « Boda Boda » Kenya.	79
Figure 4.50: Motocyclistes à un carrefour – Thaïlande.....	82
Figure 4.51: Zone avancée pour motocyclistes.	82
Figure 4.52: Impact d'une moto avec une barrière en câble métallique.	83
Figure 4.53: Glissière métallique typique.....	83
Figure 4.54: Une lisse-basse ajoutée à la glissière métallique au Vietnam.	84
Figure 4.55: Voie séparée par une glissière en béton pour les motocyclistes en Indonésie.	84
Figure 4.56: Poteaux modifiés en forme de U et fixés à une glissière en béton incurvée	84
Figure 4.57: Voie réservée aux motocyclistes – Malaisie	85
Figure 4.58: Voie réservée aux motocyclistes – Malaisie.	85
Figure 4.59: Système de tramway – Ukraine.	86
Figure 4.60: Voie BHNS – Bolivie.....	86
Figure 4.61: Service de bus Matatu – Kenya.	86
Figure 4.62: Cyclo-pousse – Inde.....	86

Figure 4.63: Voies réservées aux bus pour le système de bus à haut niveau de service.....	89
Figure 4.64: Voie de bus et signalisation de priorité – Royaume-Uni.....	89
Figure 4.65: Arrêt de trolleybus en bordure de route – Ukraine, avec abri et kiosque.	90
Figure 4.66: Arrêt de bus d'un village rural au Burundi, sans signalisation ni équipement.....	90
Figure 4. 67: Gare routière – Ghana et Roumanie, utilisée comme garage.	91
Figure 5.1: Disposition tridimensionnelle combinée à des alignements horizontaux et verticaux.	92
Figure 5.2: Utilisation de voies larges en zone urbaine au détriment des usagers vulnérables (piétons et cyclistes).....	94
Figure 5.3: Utilisation appropriée des voies larges sur l'autoroute.....	94
Figure 5.4: Exemple d'un aménagement routier au Brésil montrant la réduction du nombre de voies de trois voies en 2009 à deux voies en 2014, avec l'ajout d'une voie piétonne centrale et de bandes cyclables.	95
Figure 5.5: Avant/après de la rue Joel Carlos Borges, São Paulo, Brésil, septembre 2017.....	96
Figure 5.6: Accotement revêtu.....	98
Figure 5.7: Accotement en gravier non revêtu.	98
Figure 5.8: Accotement partiellement pavé ou composite.....	98
Figure 5.9: Les accotements étroits augmentent les risques pour les cyclistes sur la voie de circulation	98
Figure 5.10: Abaissement du bord de la chaussée.....	98
Figure 5.11: Camions stationnés illégalement sur l'accotement.	99
Figure 5.12: Accotement de 2.5 m que les gens utilisent à tort comme voie de circulation – Roumanie.....	99
Figure 5.13: Large accotement scellé.	99
Figure 5.14: Large accotement revêtu dans le virage.....	100
Figure 5.15: Accotement revêtu avec bandes rugueuses utilisé par les cyclistes.	100
Figure 5.16: Arbre situé trop près de la chaussée à l'intérieur de la courbe. Il obstrue la ligne de vue et constitue un risque pour la sécurité. Il peut également pousser les usagers de la route à se rapprocher de la ligne médiane dans une courbe, voire à la franchir.....	102
Figure 5.17: Un virage en montagne avec un arbre obstrue l'endroit où un accident de la route s'est produit.	102
Figure 5.18: Délimitation insuffisante de la courbe.....	103
Figure 5.19: Combinaison dangereuse d'une courbe horizontale au pied d'une pente raide.	103
Figure 5.20: Mauvaise combinaison d'alignement montrant des ruptures optiques causées par des courbes rentrantes abruptes le long de la tangente horizontale.....	103
Figure 5.21: Combinaison dangereuse : courbe saillante précédant une courbe horizontale prononcée, avec des carrefours et des voies d'accès.	103
Figure 5.22: Exemple de bonne combinaison de courbes horizontales et verticales offrant une bonne visibilité.	105
Figure 5.23: Illustration sur la mise en place de poteaux flexibles et de panneaux à chevrons dans les courbes où la distance de visibilité est limitée.	106
Figure 5.24: Les panneaux d'alignement utilisant des chevrons offrent une bonne visibilité de nuit.	106
Figure 5.25: Lignes transversales à l'entrée du virage en Chine.....	106
Figure 5.26: Panneau d'avertissement de virage et de vitesse.	106
Figure 5.27: Courbe horizontale au pied d'une pente raide avec signalisation avancée.	107
Figure 5.28: Exemple d'amélioration d'un virage en Malaisie.	107
Figure 5.29: Ligne médiane large avec bandes rugueuses centrales dans une courbe en Australie.	107
Figure 5.30: Bordure de sécurité. Après l'installation de la bordure de sécurité, le matériau non revêtu adjacent doit être nivelé pour l'aligner sur le dessus de la chaussée.	107
Figure 5.31: Bandes rugueuses aux accotements.	108
Figure 5.32: Ajoutez des nervures à la ligne de démarcation des bandes de frottement.	108
Figure 5.33: Bande rugueuse en bordure de route par fraisage de la route.	108

Figure 5.34: Bandes rugueuses sur la ligne médiane par fraisage de la route.....	108
Figure 5.35: Glissière en béton dans la section de la courbe avec des panneaux d'alignement en chevron.....	108
Figure 5.36: Glissière sem irigide sur une courbe horizontale au Népal.....	108
Figure 5.37: Glissière en câble sur la section tangente.....	108
Figure 5.38: Exemple de dévers apporté à un virage.....	110
Figure 5.39: Représentation de deux courbes de transition opposées consécutives.....	110
Figure 5.40: Réduction de la distance de visibilité au niveau d'une courbe verticale en crête.....	113
Figure 5.41: Réduction de la distance de visibilité dans une courbe verticale affaissée.....	113
Figure 5.42: Effet des courbes verticales en crête sur la distance de visibilité.....	114
Figure 5.43: Nivellement des pentes.....	115
Figure 5.44: Rampe d'évacuation (en construction) en Chine.....	115
Figure 5.45: Dégagement vertical aux passages inférieurs.....	115
Figure 5.46: Creux caché : gauche – profil vertical de la route ; droite – vue 3D frontale de la route.....	116
Figure 5.47: Effet des courbes verticales brisées.....	116
Figure 5.48: Panneau d'avertissement de pente raide le long d'une route qui semble s'abaisser au loin.....	117
Figure 5.49: Exemples de signalisation avancée d'une pente raide.....	117
Figure 5.50: Panneaux cassés sans entretien en Inde.....	117
Figure 5.51: Illustration de la mise en place de bornes souples dans les courbes où la distance de visibilité est limitée.....	118
Figure 5.52: Bornes souples améliorant la visibilité du terre-plein central au carrefour.....	118
Figure 5.53: Modification de l'alignement pour éliminer une courbe prononcée au bas d'une pente raide.....	119
Figure 5.54: Exemple de voie de dépassement.....	119
Figure 5.55: Illustration de la signalisation et du marquage à l'avance et le long d'un tronçon de dépassement.....	121
Figure 5.56: Exemple de marquage d'une voie en montée.....	121
Figure 5.57: Exemple de signalisation préalable d'une voie en montée.....	122
Figure 5.58: Vue schématique de l'autoroute 2+1.....	122
Figure 5.59: Autoroute 2+1 avec glissière flexible.....	122
Figure 5.60: Autoroute 2+1 avec terre-plein central peint.....	122
Figure 5.61: Programme pilote de modernisation de la route nationale roumaine 2 (DN2) en 2019.....	123
Figure 5.62: Fossé dangereux avec mur de tête (à droite) sur une route à grande vitesse.....	124
Figure 5.63: Route élargie, mais sans déplacer les poteaux – Philippines.....	124
Figure 5.64: Des repères concrets.....	125
Figure 5.65: Arbres (plus de 100 mm de diamètre) situés trop près de la chaussée.....	125
Figure 5.66: Drain non couvert et ponceau dangereux – Roumanie.....	125
Figure 5.67: Plan d'eau non protégé avec une digue abrupte.....	125
Figure 5.68: Piliers de passage supérieur non blindés.....	125
Figure 5.69: Blocs de béton individuels.....	125
Figure 5.70: Mât rigide sur l'accotement.....	126
Figure 5.71: Matériaux empilés au bord de la route. Ils représentent un danger particulier pour les conducteurs de véhicules à deux ou trois roues, surtout la nuit.....	126
Figure 5.72: Exemple de zone dégagée.....	126
Figure 5.73: Traitement de l'extrémité des ponceaux franchissables pour les ponceaux de drainage transversal. Permet aux véhicules qui quittent la chaussée de passer par-dessus sans basculer ni changer brusquement de vitesse.....	128
Figure 5.74: Repère léger peu dangereux.....	129

Figure 5.75: Colonne d'éclairage à patins adaptée aux routes à grande vitesse avec peu d'activité piétonne et de stationnement.	129
Figure 5.76: Colonnes d'éclairage à absorption d'impact adaptées aux faibles vitesses.	129
Figure 5.77: Piliers blindés avec glissières rigides. Un traitement final approprié (coussins/atténuateurs d'impact) doit également être appliqué aux systèmes de glissières.	129
Figure 5.78: Arbre de bord de route délimité, mais discret – Italie.	130
Figure 5.79: Illustration sur la délimitation des arbres comme traitement de dernier recours. La délimitation des dangers peut être utilisée en combinaison avec d'autres traitements, notamment la réduction des vitesses et la protection par des glissières de sécurité.	130
Figure 5.80: Glissière souple (câble).	131
Figure 5.81: Glissière semi-rigide (poutre en W).	131
Figure 5.82: Glissière rigide (forme en F).	131
Figure 5.83: Glissières souples avec des poteaux trop grands.	132
Figure 5.84: Les rails se chevauchent dans le mauvais sens.	132
Figure 5.85: Utilisation d'un type de terre-plein central non standard sur une route à grande vitesse.	132
Figure 5.86: Rails à faible calibre avec bordures en béton.	132
Figure 5.87: L'extrémité exposée de la glissière de sécurité peut transpercer un véhicule en cas d'impact.	133
Figure 5.88: Extrémité rampante non sécurisée d'une glissière semi-rigide qui peut projeter un véhicule percutant.	133
Figure 5.89: Espace dangereux entre la glissière de sécurité et le béton.	133
Figure 5.90: Exemple d'une glissière souple sûre avec un bon dégagement. Étant donné que les glissières se déforment beaucoup, il est important de prévoir un décalage adéquat entre la glissière et le danger.	134
Figure 5.91: Amortisseur de choc entièrement redirectif – Philippines.	135
Figure 5.92: Borne entièrement re directive, évasée ou tangentielle.	135
Figure 5.93 : Borne évasée à absorption d'énergie.	135
Figure 5.94: Amortisseur de sécurité à l'extrémité d'une glissière rigide sur un chantier de construction.	135
Figure 5.95: Connexion sûre entre le garde-corps et la glissière rigide sur un pont avec une section de transition. L'ajout de poteaux supplémentaires sur le garde-corps près de la glissière rigide permet de créer une section de transition. Le marqueur permet égale.	136
Figure 5.96: Terre-plein central affleurant.	137
Figure 5.97: Terre-plein central affleurant avec bandes rugueuses.	137
Figure 5.98: Terre-plein central avec barres de trottoir.	137
Figure 5.99: Terre-plein central engazonné avec bordure.	137
Figure 5.100: Terre-plein central à bordure.	137
Figure 5.101: Terre-plein central peint sur une route à grande vitesse.	137
Figure 5.102: Glissière centrale semi-rigide sur voie rapide.	138
Figure 5.103: Terre-plein central surélevé sur une route à deux voies.	138
Figure 5.104: Terre-plein central complet sans ouverture.	138
Figure 5.105: Ouverture de traversée du terre-plein central, sans galerie de virage à gauche/droite.	138
Figure 5.106: Ouverture de traversée du terre-plein central, avec galerie de virage à gauche/droite.	138
Figure 5.107: Traversée du terre-plein central avec galeries directionnelles de virage à gauche/droite (empêche le croisement).	138
Figure 5.108: Demi-tour sur un terre-plein central étroit (avec voie d'attente).	140
Figure 5.109: Véhicule faisant demi-tour et empiétant sur l'espace routier pour le trafic en approche.	140
Figure 5.110: Véhicules utilisant le terre-plein central surélevé comme voie de circulation en cas d'embouteillage.	140
Figure 5.111: Demi-tour illégal sur le terre-plein central.	140
Figure 5.112: Ouverture dangereuse du terre-plein central entraînant une circulation en double sens.	141
Figure 5.113: Utilisation d'un type de terre-plein central non standard et ouverture dangereuse du terre-plein	

central sur une route à grande vitesse.	141
Figure 5.114: Terre-plein central surélevé avec voie de virage réservée au demi-tour.....	141
Figure 5.115: Terre-plein central surélevé sur la.....	141
Figure 5.116: Glissière anti-éblouissement sur le dessus du terre-plein central.	142
Figure 5.117: Terre-plein central étroit et dangereux	143
Figure 5.118: Grande ouverture dans le terre-plein central avec bornes en béton	143
Figure 5.119: Ouverture du terre-plein central pour les piétons.....	143
Figure 5.120: Une chaussée asphaltée en bon état.....	145
Figure 5.121: Revêtement en blocs de béton (adoquins) en bon état et installations de drainage appropriées.	145
Figure 5.122: Enduit de surface Otta sur une route à faible trafic en bon état avec des résultats satisfaisants. (Image de gauche : gros plan de l'enduit de surface Otta.)	145
Figure 5.123: Traitement de surface à haut coefficient de frottement dans les courbes à haut risque	147
Figure 5.124: Revêtement à haut coefficient de frottement appliqué aux deux approches du carrefour.	147
Figure 5.125: Revêtement à haut coefficient de frottement (coloré) appliqué à l'approche d'un mini carrefour giratoire.	147
Figure 5.126: Canaux ouverts.	149
Figure 5.127: Drainage fermé rempli de matériaux poreux pour éviter l'érosion et la chute.	149
Figure 5.128: Drainage conventionnel en forme de V.....	149
Figure 5.129: Large accotement revêtu et dispositif de drainage sur une pente descendante.	150
Figure 5.130: Mur de tête de ponceau typique à prolonger ou à remplacer.....	150
Figure 5.131: Bord du revêtement partiel de la chaussée entraînant une rétention d'eau en surface	150
Figure 5.132: Ponceau allongé typique et conception révisée du mur de tête.	152
Figure 5.133: Tuyau canalisé.....	152
Figure 5.134: Obstacle physique devant le drain.....	152
Figure 5.135: Route mal drainée avec une surface de conduite rugueuse (source desédiments).	153
Figure 5.136: Mauvais emplacement de la route par rapport au ruisseau et à la connexion hydrologique avec les cours d'eau.	153
Figure 5.137: Matériaux de glissement bloquant les fossés de drainage.	153
Figure 5.138: Dispositif de drainage dangereux sur une route étroite et vallonnée.	154
Figure 5.139: Drainage parabolique (bonne hydrodynamique, mais faible capacité).....	154
Figure 5.140: La combinaison des accès au bord de la route et des fossés de drainage profonds augmente le risque et la gravité potentielle des accidents.	154
Figure 5.141: Drainage par excavation au Malawi.	154
Figure 5.142: Drainage non protégé.....	155
Figure 5.143: Protection des fossés avec de la végétation, des rochers, de la maçonnerie ou du béton pour résister à l'érosion des fossés.....	155
Figure 5.144: Élargissement de l'accotement et drainage en toute sécurité.	155
Figure 5.145: Fossé protégé en bordure de route avec des roches calibrées (enrochement) pour le contrôle de l'érosion.	155
Figure 5.146: Gouttière transversale.	155
Figure 5.147: Bordure verticale en béton.	156
Figure 5.148: Bordure de trottoir inclinée permettant d'accéder à l'allée.....	156
Figure 5.149: Bordures de trottoir verticales dangereuses sur une route à grande vitesse.	157
Figure 5.150: Exemple de combinaison dangereuse d'une bordure de trottoir et d'une barrière avec la barrière en acier juste derrière la bordure.	158
Figure 5.151: Triple bordure de trottoir à Bucarest, limitant l'accès des piétons.	158
Figure 5.152: Bordure de trottoir très haute (environ 250 mm) limitant l'accès des piétons à la passerelle.....	158
Figure 5.153: Bordure de trottoir verticale adjacente à la voie piétonne.....	159

Figure 5.154: Bordure de trottoir abaissée aux deux extrémités du passage pour piétons avec revêtement tactile.....	159
Figure 5.155: Bordure d'arrêt de bus pour faciliter l'accès des passagers.	159
Figure 5.156: Bordure de trottoir abaissée permettant d'accéder à la propriété.	159
Figure 5.157: Une bordure de trottoir inclinée est prévue sur le terre-plein central pour permettre aux véhicules de monter occasionnellement sur l'îlot de circulation en cas de besoin, tandis que la bordure de trottoir verticale est prévue sur le bord de la chaussé	160
Figure 5.158: Bordure de trottoir peinte sur le terre-plein central. Toutefois, la bordure de trottoir ne permet pas aux personnes handicapées d'accéder au passage à niveau.	160
Figure 5.159: Publicité routière : Ukraine.....	164
Figure 5.160: Signalisation des voies piétonnes : Ghana.	164
Figure 5.161: Manque de cohérence des directives d'orientation.	165
Figure 5.162: La surutilisation des panneaux est une source de distraction.....	165
Figure 5.163: Voie rapide avec panneaux d'échange et éclairage à Hyderabad, en Inde.	166
Figure 5.164: Marques de passage pour piétons défraîchies au Cambodge.....	167
Figure 5.165: Déviation inattendue du marquage au sol : Inde.....	169
Figure 5.166: Marquage au sol éclairé par un matériau rétro réfléchissant.....	169
Figure 5.167: Éclairage d'un village : Inde.	171
Figure 5.168: Éclairage public à énergie solaire,	171
Figure 5.169: Colonne d'éclairage à patins adaptée aux routes à grande vitesse avec peu d'activité piétonne et de stationnement.	172
Figure 5.170: Colonnes d'éclairage à absorption d'impact adaptées aux environnements à faible vitesse, à forte activité piétonne et de stationnement.	172
Figure 6.1: Carrefour en Y non contrôlée en Inde.	175
Figure 6.2: Points de conflit entre différents types de carrefours à une voie.....	176
Figure 6.3: Panneaux de cédez-le-passage utilisés pour contrôler les carrefours.....	178
Figure 6.4: Obstacles au triangle de visibilité sur une route secondaire à un carrefour en T.	178
Figure 6.5: Obstacle (espace d'attente d'un arrêt de bus) au centre d'un carrefour en Inde.	179
Figure 6.6: Panneaux d'arrêt avec mesures de ralentissement de la circulation à un carrefour sans feux de signalisation.	179
Figure 6.7: Restriction du virage à gauche par des panneaux et un terre-plein central à un carrefour en T sans feux de signalisation.	179
Figure 6.8: Panneau d'interdiction de tourner à gauche avec marquage d'arrêt à un carrefour sans feux de signalisation en Dominique.	180
Figure 6.9: Bifurcation séparée à proximité d'un carrefour sans feux de signalisation.	180
Figure 6.10: Îlot séparant la circulation au centre d'une route secondaire.....	181
Figure 6.11: Bordure de déviation à l'entrée du carrefour depuis la route secondaire	181
Figure 6.12: Traitement des routes secondaires ; ralentissement de la circulation et panneaux d'avertissement en Inde du point de vue d'une route secondaire.....	182
Figure 6.13: Traitement des routes secondaires ; ralentissement de la circulation et panneaux d'avertissement en Inde du point de vue d'une route principale.....	182
Figure 6.14: Mise en place de mesures d'interdiction de circuler et de protection des piétons en Colombie. .	183
Figure 6.15: Conversion d'un carrefour à quatre branches en deux carrefours en T (carrefours décalés droite-gauche). Source : NACTO.....	184
Figure 6.16: Conversion de carrefours en T décalés en un carrefour à quatre branches + trois branches (réalignement des approches du carrefour pour réduire ou éliminer l'obliquité). Source : NACTO.	184
Figure 6.17: Feu de signalisation pour les véhicules en Inde.	185
Figure 6.18: Feu de signalisation caché par les branches d'un arbre à Gurudwara, Inde ; l'arbre/les branches doivent être enlevés ou le feu doit être remplacé.....	186

Figure 6.19: Tous les points de conflit à un carrefour à quatre branches.....	187
Figure 6.20: Exemple de points de conflit en phase spécifique à un carrefour à quatre branches.	187
Figure 6.21: Cycle de feu de signalisation typique pour les étapes ci-dessus.	188
Figure 6.22: Carrefour aux feux non fonctionnels en Inde.....	189
Figure 6.23: Feu de signalisation dysfonctionnel à Dwarka, Inde.....	189
Figure 6.24: Feu de signalisation supplémentaire dans les courbes horizontales.....	189
Figure 6.25: Feu de signalisation supplémentaire pour un carrefour au milieu de la courbe inversée.	189
Figure 6.26: Pratique dangereuse à la ligne d'arrêt (franchissement de la ligne d'arrêt).....	190
Figure 6.28: Dispositifs d'aide à la traversée des piétons (feux sur le passage piétons) à Hyderabad, Inde.	190
Figure 6.29: Flux de trafic à un carrefour sans feux de signalisation et sans passage piétons à Phnom Penh, Cambodge.	191
Figure 6.30: Flux de trafic ordonné à un carrefour à feux avec réduction des points de conflit.	191
Figure 6.31: Conception dangereuse d'un carrefour giratoire en Roumanie, où la route principale n'a pas de déviation.	193
Figure 6.32: Véhicule ignorant un carrefour giratoire plat en Croatie	194
Figure 6.33: Au Bhoutan, un carrefour giratoire décoré masque la vue des conducteurs	194
Figure 6.34: Carrefour giratoire avec un îlot central trop petit en Inde.....	194
Figure 6.35: Emplacement et taille inappropriés des carrefours giratoires au Bhoutan.	194
Figure 6.36: Ajustement du diamètre et de la longueur des îlots dans un carrefour giratoire.....	195
Figure 6.37: Parking de camions correctement conçu pour être utilisé uniquement par des camions à carrosserie circulaire étroite en Afrique du Sud.	195
Figure 6.38: Le parking de camions ne répond pas à l'objectif de la conception en Afrique du Sud (parking trop haut pour les gros camions et trop bas pour empêcher les voitures de circuler).	195
Figure 6.39: Carrefour giratoire (rotatif) dont l'alignement et la largeur des voies ne sont pas corrects, créant ainsi des voies supplémentaires en Serbie.....	196
Figure 6.40: Mini-carrefour giratoire (Wetherby, Angleterre).	196
Figure 6.41: Mini-carrefour giratoire avec poteau d'affichage à Zagreb, en Croatie.	196
Figure 6.42: Panneau de bonne qualité pour les carrefours giratoires, mais la variation du panneau dans le même pays perturbe les conducteurs en Afrique du Sud.....	197
Figure 6.43: Carrefour giratoire permettant aux véhicules de plus grande taille de monter sur une partie de l'îlot central (les mêmes conditions que pour les mini-carrefours giratoires s'appliquent).....	198
Figure 6.44: Carrefour giratoire avec rails de tramway en Pologne.....	198
Figure 6.45: Transformation d'un carrefour incontrôlé en carrefour giratoire aux Philippines.....	198
Figure 6.46: Exemple de carrefour giratoire à faible coût en Argentine.....	199
Figure 6.47: Exemple de mini-carrefour giratoire avec réflexion en Italie.	199
Figure 6.48: Carrefour surélevé à Bogota pour donner la priorité aux piétons sur une artère.	201
Figure 6.49: Carrefour surélevé avec chaussée colorée.	201
Figure 6.50: Carrefour surélevé avec différents types de chaussée.	201
Figure 6.51: Séparer les points de conflit par étapes.....	201
Figure 6.52: Carrefour surélevé avec un panneau stop.....	202
Figure 6.53: Carrefour surélevé avec un panneau indiquant un passage pour piétons.	202
Figure 6.54: Panneaux d'avertissement indiquant la vitesse recommandée.	202
Figure 6.55: Panneaux d'avertissement de basculement de camion avec vitesse conseillée.	203
Figure 6.56: Carrefour marqué à faible coût.	203
Figure 6.57: Carrefour surélevé et colorée avec marquage au sol.....	203
Figure 6.58: Carrefour marqué par un dessin artistique pour attirer l'attention des conducteurs.....	203
Figure 6.60: Angle de la voie d'accès transformé de large (image de gauche) à serré (image de droite)	205
Figure 6.61: Pas de marquage de la voie d'accès en Tanzanie.....	209
Figure 6.62: Voie d'accès mal délimitée au Ghana.....	209

Figure 6.63: Bande d'arrêt d'urgence avec marquage de chaussée en zigzag à Singapour.	209
Figure 6.64: Grand carrefour urbain avec marquage de la chaussée pour les mouvements de virage	209
Figure 6.65: Traitement des routes secondaires avec des poteaux souples.	209
Figure 6.66: Traitement des routes secondaires avec des poteaux souples.	209
Figure 6.67: Voie d'accès à angle large avec des passages pour piétons mal alignés et l'absence de passage pour piétons.....	209
Figure 6.68: Une voie d'accès bien conçue pour le virage à droite à un carrefour complexe.	209
Figure 6.69: Passage piéton surélevé sur la voie d'accès avec marquage d'îlots fantômes et panneaux de signalisation de passage piéton.	210
Figure 6.70: Transformation en mini place aux États-Unis.....	210
Figure 6.71: Transformation d'une bande cyclable en rue aux États-Unis.....	210
Figure 6.72: Transformation des voies piétonnes aux États-Unis.	210
Figure 6.73: Croquis de la modification des points de conflit avec l'arrangement RIRO.....	211
Figure 6.74: Carrefour RIRO avec virage à droite trop rapproché en Ukraine.....	212
Figure 6.75: LILO urbain au Brunei avec un espace insuffisant pour un changement de voie en toute sécurité vers un virage à droite en dehors de la voie.	212
Figure 6.76: Illustration du mouvement de rotation remplacé au carrefour en aval.	213
Figure 6.77: Illustration des voies d'accélération et de décélération.	214
Figure 6.78: Voie de décélération à l'approche d'une sortie à faible rayon au Brunei.	214
Figure 6.79: Voie d'accélération bien définie au Brunei.....	214
Figure 6.80: Voie de déviation en dehors de la chaussée au Brunei: terre-plein central étroit et voie nécessitant un espace supplémentaire au-delà du virage.....	215
Figure 6.81: Barrière supplémentaire à la déviation du côté opposé au Brunei : pour contrôler l'entrée et la zone de virage au-delà de la chaussée la plus éloignée pour TOUS les véhicules, en ajoutant une déviation supplémentaire après avoir traversé le trafic oppo	215
Figure 6.82: Un simple passage supérieur sans connexion entre les deux routes en Éthiopie.	216
Figure 6.83: Aménagement typique d'un échangeur à niveau séparé complet.	217
Figure 6.84: Aménagement typique d'un échangeur à niveau partiellement séparé.....	218
Figure 6.85: Passage à niveau au	222
Figure 6.86: Passage à niveau contrôlé par signal automatique ; tramway de Dubaï.....	222
Figure 6.87: Passage à niveau rural au Zimbabwe (passif).....	222
Figure 6.88: Passage à niveau rural en Australie (actif).....	222
Figure 6.89: Zones de visibilité à l'approche d'un passage à niveau à contrôle passif.	223
Figure 7.1: Techniques de sécurité routière pour les différentes étapes du cycle de vie de la route.	225
Figure 7.2: Les classements par étoiles (mentionnés dans la cible 3) peuvent être obtenus à l'aide des processus décrits par le programme international d'évaluation des routes.	228
Figure 7.3: Processus d'ISP.....	232
Figure 7.4: Options de sélection des carrefours pour le CEPC.....	233
Figure 7.5: Matrice du cadre d'évaluation du système sûr.....	234

Tableaux

Tableau 1.1: Facteurs de risque typiques de la conception de routes.....	8
Tableau 6. 1: Avantages et inconvénients des différentes formes de carrefours.....	176

Remerciements

Ce rapport a été rédigé par Sudeshna Mitra (GRSF), Blair Turner (GRSF), Leah Watetu Mbugua (GRSF), Kazuyuki Neki (GRSF), K., John Barrell (consultant indépendant), William Wambulwa (ancien stagiaire, GRSF) et Soames Job (ancien chef du GRSF). Nous remercions tout particulièrement John Barrell pour avoir rassemblé les œuvres produites par le personnel du GRSF. Un grand merci également à James Hughes, conseiller en chef sur la sécurité sur les programmes et les normes de la New Zealand Transport Agency et membre de l'Austroads Road Design Task Force, pour son examen détaillé et ses commentaires sur le contenu de la conception des routes dans les premières versions de ce guide.

Le rapport a fait l'objet d'une révision par les pairs à différents stades par Arnab Bandyopadhyaya, spécialiste en chef des transports ; Alina Burlacu, spécialiste principal des transports ; James Markland, spécialiste principal des transports ; Negede Lewi, spécialiste principal des transports ; Tesfamichael Nahusenay, ingénieur principal des transports ; et Greg Smith, directeur du programme mondial de l'iRAP, qui ont fourni des recommandations utiles. D'autres remarques ont été formulées par Said Dahdah, spécialiste en chef du transport ; Dipan Bose, spécialiste principal du transport ; et Krishnan Srinivasan, consultant en chef en sécurité routière, Banque mondiale.

Ce rapport a été réalisé avec le soutien financier de UK Aid dans le cadre du Multi Donor Trust Fund Phase 3 financé par le Foreign, Commonwealth & Development Office (FCDO) (anciennement Department for International Development, DFID) et le Department for Health and Social Care (DHSC), par le biais des programmes de recherche exhaustifs sur la sécurité routière du GRSF visant à améliorer la sécurité routière dans le monde entier, gérés par Sudeshna Mitra et Natalya Stankevich.

1. INTRODUCTION

1.1. Intégration de la sécurité dans la conception des routes

On estime que les accidents de la route font chaque année 1,35 million de morts et 50 millions de blessés dans le monde, plus de 90 % des décès signalés se produisant dans les pays en développement.¹ Les accidents de la route représentent une charge importante pour les systèmes de santé et autres services, et sont une source de détresse et de souffrance collective et individuelle. Les coûts sociaux et corporels combinés des accidents représentent un fardeau financier important pour l'économie. Selon les statistiques de la Banque mondiale, dans les seuls pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure (PRITI), les décès et les blessures graves coûtent aux économies 1 700 milliards de dollars et plus de 6,5 % du produit intérieur brut (PIB).² Les gouvernements du monde entier s'efforcent de réduire les blessures liées à la route et ont convenu de réduire de moitié le nombre de décès sur les routes d'ici 2030.³ Il existe des solutions connues et rentables qui peuvent être mises en œuvre pour faire face à cette crise mondiale.

Le programme de développement durable pour 2030 reconnaît que la sécurité routière est une condition préalable pour garantir des vies saines, promouvoir le bien-être et rendre les villes inclusives, sûres, résilientes et durables. La Décennie d'action pour la sécurité routière 2011-2020, officiellement proclamée par l'Assemblée générale des Nations unies en mars 2010, avait pour objectif de stabiliser et de réduire le niveau prévu de décès dus à la circulation routière dans le monde. Pour continuer à mettre l'accent sur l'amélioration de la sécurité routière, l'Assemblée générale des Nations unies a adopté une nouvelle résolution sur la sécurité routière mondiale. Ainsi, la période 2021-2030 a été désignée comme la deuxième Décennie d'action pour la sécurité routière, avec l'objectif de réduire d'au moins 50 % le nombre de morts et de blessés sur les routes d'ici à 2030.

Une réduction substantielle du nombre de morts sur les routes ne sera possible que si des efforts concertés sont déployés, en suivant l'approche du « système sûr » impliquant tous les éléments de la sécurité routière, de la gestion et de la

mise en œuvre. Cela comprend tous les piliers du système sûr : gestion de la sécurité routière, sécurité des routes et des bords des routes, vitesse de sécurité, sécurité des véhicules, sécurité des usagers de la route et prise en charge après l'accident. Ce guide se concentre sur les éléments de la conception de routes et de bords de route sûrs pour les réseaux routiers qui peuvent offrir une mobilité sûre à tous les usagers de la route, ainsi que sur des changements complémentaires visant à améliorer les vitesses, la sécurité des véhicules, les comportements des usagers et la prise en charge après l'accident. Une conception routière équilibrée doit prendre en compte ces éléments complémentaires du système pour maximiser les avantages en termes de sécurité. L'énergie transportée par un objet en mouvement est proportionnelle au carré de sa vitesse. Un « bord de route favorable » bien conçu permet de disperser cette énergie en cas d'accident et, par conséquent, d'en diminuer la part transférée aux occupants.

La conception des infrastructures routières joue un rôle essentiel dans les résultats en matière de sécurité routière. Les infrastructures sûres soutiennent les autres piliers de la sécurité routière en encourageant un comportement approprié de la part des usagers de la route (comme une vitesse appropriée et une position correcte sur la voie) et en produisant un environnement routier favorable en cas de problème.

« Lorsqu'un accident se produit, l'infrastructure routière est le facteur le plus important quant à la gravité de l'issue de l'accident. L'amélioration des infrastructures peut contribuer de manière substantielle à une réduction du nombre de décès et de blessures graves. »

Source : PIARC Road Safety Manual

¹ Organisation mondiale de la santé/OMS. 2018. Global Status Report on Road Safety. OMS : Genève.

² Wambulwa, W.M., et Job, S. 2020. Guide for road safety opportunities and challenges: Low- and middle-income country reports. Washington, DC : Fonds mondial pour la sécurité routière, Banque mondiale.

³ Résolution A/RES/74/299 de l'Assemblée générale des Nations unies sur l'amélioration de la sécurité routière mondiale.

Une infrastructure routière mal conçue peut donner lieu à des comportements dangereux de la part des usagers de la route. L'une des principales réalisations de l'approche du système sûr est que les conducteurs commettent des erreurs et continueront à le faire, même si nous pouvons réduire la fréquence de ces erreurs. Cette tendance à l'erreur des usagers de la route est reconnue depuis longtemps comme un facteur important de mauvais résultats en matière de sécurité routière. Cependant, les routes, quelle que soit leur vitesse, peuvent être conçues de manière à réduire la probabilité d'un accident, et il est clairement établi que la gravité des conséquences d'un accident est fortement influencée par la conception de la route.⁴ Même si un accident se produit, l'amélioration de l'infrastructure routière peut sauver de nombreuses vies et prévenir des blessures graves.

À titre d'exemple des avantages significatifs qui peuvent être obtenus grâce à la mise en place d'infrastructures routières sûres, il est possible d'obtenir jusqu'à 80 % de réduction du nombre de morts et de blessés graves en installant des systèmes de glissières appropriés et en veillant à ce qu'ils soient correctement entretenus, tandis que les mêmes avantages peuvent être obtenus en installant des carrefours giratoires bien conçus.⁵

L'approche des systèmes sûrs souligne qu'une réponse commune est nécessaire pour aborder la question de la sécurité routière. Cela signifie que les usagers de la route continueront à assumer la responsabilité de leurs actes, par exemple en étant vigilants et en respectant le code de la route. Cependant, il est également reconnu que les gestionnaires et les concepteurs de routes ont une responsabilité importante dans la mise en place d'un système routier qui protège tous les usagers de la route. Cet objectif peut être atteint grâce à une conception appropriée des routes.

Par exemple, si un conducteur sort de la route et subit une collision latérale contre un arbre à grande vitesse, la probabilité d'un accident mortel ou grave est très élevée. Dans la même situation, si les usagers de la route étaient protégés de l'arbre par une glissière de sécurité bien conçue et installée, les risques pour les occupants seraient considérablement réduits, au point qu'il est probable que la voiture ne subirait que des dommages mineurs et qu'il n'y aurait pas de blessures graves (en supposant que le véhicule soit raisonnablement sûr

et bien entretenu). Et ce, quelle que soit la cause de l'accident : facultés affaiblies, mauvaise appréciation de la vitesse, fatigue, distraction, drogue ou alcool. La même protection est assurée lorsque les piétons et les cyclistes sont séparés de manière adéquate du trafic motorisé, ou lorsque les vitesses sont gérées par le biais d'un ralentissement de la circulation à des niveaux appropriés compte tenu des usagers de la route présents. De même, lorsque des véhicules circulant à grande vitesse dans des directions opposées sont séparés par des glissières, le risque de collision frontale est fortement réduit. La mise en place de cette infrastructure routière sûre repose sur une bonne prise de décision en reconnaissant les principaux facteurs de risque lors de la planification de l'infrastructure routière et en incorporant des éléments de conception appropriés pour faire face à ces risques. Il faut également comprendre les principaux types d'accidents qui entraînent des décès et des blessures graves. Ces types d'accidents comprennent les collisions avec des usagers de la route vulnérables (y compris les piétons et les cyclistes), les sorties de route, les collisions frontales, les collisions à angle aigu (y compris les collisions à angle droit aux carrefours) et les collisions par l'arrière.

Des améliorations substantielles des systèmes routiers sont déjà en cours dans de nombreux pays. Toutefois, des efforts sont nécessaires pour améliorer l'ensemble du système, ce qui demandera du temps et des ressources. Une vision à long terme est nécessaire pour améliorer la conception et l'utilisation des routes en toute sécurité, conformément aux principes d'un système sûr. De nombreux pays ont fixé l'échéance de 2050 pour l'élimination des décès et des blessures graves sur les routes (par exemple, en Europe⁶, ⁷ et en Australie⁸). Pour ce faire, les principaux partenaires impliqués dans la prise de décision devront s'engager à fournir des infrastructures efficaces parallèlement à l'amélioration de la sécurité des véhicules et aux autres piliers du système sûr afin de produire de tels résultats.

⁴ Stigson, H., Krafft, M. et Tingvall, C. 2008. Use of Fatal Real-Life Crashes to Analyze a Safe Road Transport System Model, Including the Road User, the Vehicle, and the Road. *Traffic Injury Prevention*, 9:5, 463–471.

⁵ Turner, B., Job, S. et Mitra, S. 2021. *Guide for Road Safety Interventions: Evidence of What Works and What Does Not Work*. Washington, DC : Banque mondiale.

⁶ Commission européenne. 2011. Livre blanc « Roadmap to a Single European Transport Area—Towards a competitive and resource efficient transport system », COM (2011) 144 final.

⁷ Conseil de l'Union européenne. 2017. Conclusions du Conseil sur la sécurité routière approuvant la déclaration de La Valette, La Valette, 28-29 mars 2017, 9994/17, <http://data.consilium.europa.eu/doc/document/ST-9994-2017-INIT/fr/pdf>.

⁸ ATC. 2019. Communiqué du Transport and Infrastructure Council; 22 novembre 2019, https://www.transportinfrastructurecouncil.gov.au/sites/default/files/documents/12th_transport_and_infrastructure_council_communique_22nov_2019.pdf.

1.2. Principes directeurs du système sûr pour une conception plus sûre

Les principes du système sûr suivants sont recommandés pour assurer la sécurité dans la conception de systèmes de transport routier durables :

1. Inclusion : les routes doivent être conçues pour tous les usagers, et pas seulement pour les véhicules motorisés. Il en résulte que les concepteurs doivent prendre en compte les usagers de la route les plus vulnérables. Ce faisant, la sécurité sera généralement améliorée pour tous les usagers de la route.
2. Fonctionnalité des routes : les routes ont deux fonctions : « accès et mobilité » ou « mouvement et lieu ». Les routes ont deux fonctions ou « rôles » principaux : faciliter la circulation (mobilité) des personnes et des marchandises et servir de lieux (accès) pour les personnes. Pour une conception sûre, il convient d'identifier la « fonction réelle » et non la « fonction prévue ». Dans les cas où la monofonctionnalité ne peut être réalisée à court terme, des efforts doivent être faits pour assurer une sécurité adéquate grâce à des vitesses sûres, en commençant par prendre en compte les usagers de la route les plus vulnérables.
3. Clarté : la conception doit répondre aux attentes des usagers de la route et ne pas les surprendre. En cas de limitations pratiques, une délimitation claire (par exemple, marquage et signalisation), une distance de visibilité adéquate (par exemple, distance de visibilité de décision) et/ou une gestion de la vitesse doivent être utilisées pour assurer la sécurité de tous les usagers de la route. De plus, les variations des paramètres de conception clés le long de la route ont un impact sur la fluidité du trafic et la sécurité. Ces transitions doivent être soutenues par des réductions de vitesse sûres, par exemple par le ralentissement de la circulation. Cela s'applique en cas de variation de la conception des sections transversales à proximité des ponts et des ponceaux, pour les routes traversant des villages et des villes, les passages à niveau pour les usagers de la route vulnérables, etc.
4. Homogénéité : la conception doit limiter les différences de vitesse, de sens de circulation, de masse et de taille des véhicules. La conception doit garantir que les véhicules (usagers de la route) circulant à des vitesses différentes ne peuvent pas interagir (par exemple, les voitures rapides et les usagers de la route vulnérables) ; que ceux qui circulent dans des directions différentes ne peuvent pas entrer en collision, en particulier à des vitesses élevées (par exemple, dans les conflits frontaux) et que les usagers de la route de masse ou de taille différente ne se mélangent pas (par exemple, les camions et les usagers de la route vulnérables). Lorsqu'il n'est pas possible d'assurer une séparation, les vitesses doivent être réduites. Ce principe implique notamment que :
 - La conception doit permettre de séparer en toute sécurité les usagers de la route vulnérables du trafic motorisé lorsque la vitesse de circulation doit être supérieure à 30 km/h, c'est-à-dire conforme à la vitesse du système sûr.
 - Les conceptions doivent assurer, dans la mesure du possible, une séparation physique entre le trafic bidirectionnel dans les situations où les vitesses sont supérieures aux niveaux de tolérance humaine (par exemple, 70 km/h pour les véhicules motorisés dotés de dispositifs de sécurité modernes) et plus encore lorsque la visibilité est réduite.
5. Vitesse de sécurité : la conception doit soutenir les vitesses du système sûr. L'élément déterminant d'une « conception sûre » est la sécurité de l'utilisateur de la route le plus vulnérable ou le moins protégé et sa tolérance aux forces d'impact lors d'une collision. Cette capacité de survie est largement déterminée par la vitesse d'impact pour les différents usagers de la route. Par conséquent, à l'instar de la « conception du véhicule », le concept de « conception de l'utilisateur de la route » doit être adopté pour garantir la sécurité, en particulier si l'on tient compte de l'environnement de la vitesse.
6. Des routes et des bords de route indulgents : les routes et les bords de route doivent être indulgents, c'est-à-dire exempts de dangers. Dans les environnements où la vitesse est plus élevée, les routes et les bords de route doivent être exempts d'objets fixes permanents ou temporaires, tels que des structures rigides, des arbres, des véhicules arrêtés ou garés, etc. et doivent être protégés si la sortie du véhicule est irrémédiable.
7. Exposition minimisée : la conception doit minimiser l'exposition au risque pour tous les usagers. Cet objectif peut être atteint au stade de la planification en fournissant des infrastructures sûres et de bonne qualité qui encouragent les changements modaux (par exemple, le passage de la moto aux systèmes de transport en commun

dans les villes). L'exposition au risque peut également être gérée par la mise en place d'éléments d'infrastructure sûrs. Par exemple, les carrefours peuvent être conçus de manière à supprimer ou à éliminer l'exposition en interdisant les mouvements de virage sur plusieurs voies de circulation.

8. Conception du système : les routes doivent être conçues de manière à soutenir les autres éléments du système sûr. Par exemple, il peut être possible d'intégrer dans la conception des mesures à prendre après l'accident (par exemple, en fournissant des accotements pour garer les véhicules en panne ou un accès aux véhicules d'urgence, permettant une activité de contrôle sécuritaire).

1.3. Le rôle des guides de conception routière

Il est essentiel de comprendre que les lignes directrices fournissent des principes généraux de conception dans les environnements urbains et ruraux, ainsi que des détails techniques, mais ne fournissent pas tous les détails sur la conception pour chaque situation. Ces principes et détails techniques doivent être respectés afin d'obtenir les résultats escomptés, y compris en matière de sécurité. Cependant, chaque solution est une combinaison unique d'éléments standard qui nécessitent des connaissances d'expert et une compréhension locale pour être appliquées correctement. Le guide australien de conception des routes stipule ce qui suit :

« Chaque projet routier est une entreprise unique et ne peut jamais être répété à l'identique. Il n'existe pas de solutions toutes faites pour répondre à toutes les situations rencontrées, et il est peu probable que l'application rigide et irréfléchie de graphiques, de tableaux et de figures conduise à un résultat de conception réussi. Une bonne conception exige un apport créatif fondé sur l'expérience et une bonne compréhension des principes. Cependant, chaque situation étant différente, les exigences en matière de conception le seront également. »⁹

Cela s'applique à tous les éléments de la conception, et en particulier à la sécurité. Les lignes directrices australiennes développent davantage cette question en déclarant que « la conception et la construction de routes conformément aux lignes directrices ne produiront pas nécessairement des résultats sûrs ». ¹⁰ Sur la base des résultats de la conception et de notre connaissance des performances en matière de sécurité, cela s'est malheureusement avéré vrai dans de nombreuses situations. La conception de routes sûres ne

s'apparente pas à une recette de cuisine, mais nécessite une expertise considérable pour concevoir des routes sûres pour tous les usagers de la route. En raison de la complexité de la conception des routes, des contrôles et des outils supplémentaires ont été mis au point pour aider à identifier les risques en matière de sécurité et à maximiser le potentiel de sécurité par le biais de la conception. Ces outils comprennent l'audit/inspection de la sécurité routière, l'évaluation de la sécurité des infrastructures routières (y compris le programme international d'évaluation des routes [iRAP]) et l'évaluation d'un système sûr. De plus, une plus grande attention est accordée à l'application de mesures de sécurité pertinentes dans la planification et la conception des projets. Ces questions et outils sont examinés au chapitre 7.

Les guides de conception routière ont toujours pris en compte la sécurité routière. Des questions telles que la distance de visibilité et la vitesse de conception dictent une grande partie du processus de conception, qui repose fondamentalement sur la recherche de résultats sûrs pour les usagers de la route. Cependant, les routes sont toujours conçues et construites avec des risques inhérents pouvant entraîner des décès et des blessures graves. Ce manque de sécurité peut être dû à un « compromis » entre la sécurité et l'efficacité ou la mobilité en raison de contraintes liées au projet, telles que le coût, l'incohérence dans la conception des routes, ou simplement le manque de considération pour les usagers de la route vulnérables, en particulier dans les PRITI (voir la section 2.3 pour une discussion sur les différents types de véhicules et d'usagers de la route dans ce contexte). Cependant, dans de nombreux pays, ce résultat n'est plus considéré comme acceptable. Il n'est plus acceptable de concevoir ou d'améliorer des routes présentant des défauts de sécurité intrinsèques qui entraînent des niveaux inacceptables de risque de décès ou de blessures graves. Nous devons veiller à ce que les conceptions respectent les principes du système sûr et, dans la mesure du possible, éliminent les décès et les blessures graves.

Les informations de conception liées à la sécurité se retrouvent souvent dans les étapes ultérieures des documents de directives de conception. Par exemple, les décisions concernant le type de carrefour à utiliser ou la disponibilité d'un droit de passage sont prises au début du processus de conception. Les concepteurs de routes peuvent avoir une capacité limitée à modifier cette décision ou avoir l'impression de ne pas pouvoir le faire. Ils font de leur mieux pour concevoir la version la plus sûre de ce qu'on leur a demandé de produire. Cependant, ce processus décisionnel précoce a des implications importantes en matière de sécurité. Par exemple, dans les environnements où la vitesse est élevée, les

⁹ Austroads. 2015. Guide to Road Design Part 1, AGRD01-15, Austroads, Sydney, Australie.

¹⁰ Austroads. 2019. Guide to Road Safety Part 6: Road Safety Audit, AGRS06-19, Austroads, Sydney, Australie.

carrefours giratoires présentent généralement de bien meilleures performances en matière de sécurité que les feux de signalisation. Cela montre que les décisions en matière de planification et de politique ont souvent un impact important sur les choix et les résultats en matière de conception. Cependant, cela souligne également la nécessité pour les concepteurs de comprendre les implications des décisions de conception et de les remettre en question lorsqu'il est possible d'obtenir de meilleurs résultats.

Les connaissances en matière de conception de routes sûres s'améliorent également, de nouvelles solutions apparaissant régulièrement et, dans certains cas, les principes de base de la conception des routes évoluent. Par exemple, la base de connaissances sur la conception des carrefours évolue, avec des options de conception améliorées telles que l'utilisation de plateformes pour surélever les carrefours afin de mieux gérer les vitesses et d'améliorer la sécurité (voir la section 6.4). En raison de l'évolution des connaissances, les directives doivent être mises à jour en permanence. Il est important de comprendre que la mise à jour des directives prend souvent plusieurs années et que les éditions actuelles des guides de conception et des normes nationales ne reflètent pas nécessairement les bonnes pratiques les plus récentes. Par exemple, à l'échelle mondiale, la grande majorité des guides de conception existants ne reflètent pas encore les nouvelles idées en matière de sécurité routière. Ce guide vise à être aussi à jour que possible au moment de sa préparation.

Les directives produites pour et dans les PRITI sont souvent adaptées des meilleures pratiques des pays à revenu élevé (PRE). Cela s'explique par le fait que les PRE ont souvent été les premiers à produire de telles directives et qu'une grande partie de la recherche sous-jacente sur la conception a été menée dans ces pays. Dans certains cas, des tentatives ont été faites pour refléter les conditions locales lors de la traduction de ces guides pour les PRITI. Cependant, il existe d'importantes lacunes dans les connaissances sur certaines questions liées à la conception et à l'utilisation des routes dans les PRITI. Par exemple, la composition du trafic est souvent très différente, avec une proportion beaucoup plus élevée de motocyclettes et d'autres usagers de la route vulnérables, ainsi qu'un mélange de véhicules plus lents. Même si les normes de conception reflètent les bonnes pratiques, elles sont souvent appliquées à

l'amélioration des routes existantes, ce qui peut poser des problèmes. Cela peut conduire à l'adoption d'écarts par rapport aux normes de conception afin d'éviter l'acquisition de terrains ou de conserver un tracé existant. Tout écart par rapport aux normes doit s'accompagner de mesures visant à atténuer les risques de sécurité qui en résultent, bien que ce ne soit pas toujours le cas (voir la section 2.4). De même, les normes et l'entretien des véhicules sont souvent insuffisants. Il y a aussi parfois différents comportements dangereux des usagers de la route dus au manque d'application du code de la route, par ailleurs commun, et au manque d'infrastructures. En raison de ces lacunes, les conseils en matière de conception qui s'alignent sur l'environnement routier d'un PRITI et de ses usagers peuvent présenter des insuffisances. Cela peut nécessiter une meilleure compréhension et un besoin de développer le contenu des directives actuelles. Cela doit se faire de manière structurée et fondée sur des données probantes (voir la section 2.6).

En résumé, les guides de conception routière sont techniquement valables, mais ils peuvent ne pas atteindre tous les objectifs consistant à informer les concepteurs sur la manière de fournir la combinaison unique d'éléments dans la conception routière et les solutions de sécurité routière. La plupart des contraintes identifiées ci-dessus sont reconnues et souvent documentées dans les guides de conception eux-mêmes. Cependant, ces contraintes sont souvent négligées par les praticiens, ce qui conduit à une application stricte sans référence au contexte local (un problème abordé plus en détail dans la section 2.4). Dans de nombreux cas, cela se traduit également par des résultats médiocres en matière de sécurité routière. En raison de la complexité de la conception des routes, des outils supplémentaires ont été mis au point pour aider à identifier les risques en matière de sécurité et à maximiser le potentiel de sécurité par le biais de la conception (voir le chapitre 7). Ce guide a été conçu pour combler ces lacunes, notamment en mettant en évidence les questions liées à la sécurité qui doivent être prises en compte lors de la conception routière, ainsi que les outils et les approches nécessaires pour garantir la sécurité.

1.4. À propos de ce guide

Ce guide a été produit par le Fonds mondial pour la sécurité routière (GRSF), hébergé par la Banque mondiale. Un résumé du programme GRSF figure dans l'encadré 1.1. Ce document a été élaboré principalement pour ceux qui travaillent au développement et à la mise en œuvre d'aménagements routiers et de dispositifs de sécurité dans les PRITI, bien que les informations puissent également intéresser ceux qui travaillent dans les PRE. Il fournit des conseils directs sur les questions liées à la sécurité pour les conceptions dans les environnements urbains et ruraux, sur la base de l'expérience et de la connaissance de l'activité des PRITI dans le monde entier. Ce guide devrait donc être utilisé par les chefs d'équipe de la Banque mondiale et d'autres banques multilatérales de développement (BMD) pour informer les clients des PRITI sur les questions de sécurité dans la conception, ainsi que par les concepteurs de routes et les praticiens impliqués dans des projets de développement routier, les chercheurs et les universitaires. La liste des facteurs de risque courants fournie ici peut servir de point de départ, et les éléments de conception respectifs doivent être soigneusement suivis pour intégrer la sécurité dans la conception routière.

Le guide sera également utile à ceux qui souhaitent intégrer les bonnes pratiques et prendre en compte la sécurité dans leur conception. Par conséquent, les informations contenues dans ce guide seront pertinentes pour les personnes travaillant sur des projets financés par la Banque mondiale, mais aussi pour les pays clients et d'autres personnes impliquées dans des activités liées aux routes. Il doit être utilisé en parallèle avec les directives locales en matière de conception et peut être utile pour attirer l'attention sur les problèmes de sécurité susceptibles de se poser dans une conception ou simplement pour aider à identifier les lacunes dans les directives existantes. De ce point de vue, il peut également être utile à ceux qui, dans les PRITI, sont sur le point de mettre à jour les directives locales ou qui tentent d'adapter celles d'autres pays aux conditions locales.

Ce guide ne fournit pas d'informations détaillées sur la conception en elle-même. Les informations contenues dans ce guide ne permettront pas à un concepteur de concevoir un carrefour giratoire, une glissière de sécurité ou une courbe rurale à grande vitesse. Ce document fournit des références externes pour ce type de conseils. Ce document permettra plutôt d'identifier les problèmes de sécurité qui doivent être pris en compte lors de la conception d'un carrefour giratoire, d'une glissière de sécurité, d'une courbe rurale à grande vitesse ou d'autres installations similaires. Il fournit également des informations sur les outils qui doivent être utilisés dans le cadre du processus de conception pour s'assurer que la

sécurité est intégrée dans les projets et les politiques.

Le document n'est pas destiné à être lu d'un bout à l'autre, mais plutôt à servir de référence pour tous les aspects du processus de conception, afin de garantir que la sécurité des usagers de la route soit au premier plan des considérations de conception. Les dimensions appropriées pour des traitements spécifiques dépendront également des normes locales appropriées, qui devront peut-être être révisées pour offrir des avantages adéquats en matière de sécurité.

Le chapitre 2 du présent guide aborde certains grands principes de conception des routes qui permettent d'obtenir des résultats sûrs. Les chapitres 2 à 6 constituent l'essentiel du contenu de ce rapport. Dans chaque chapitre, diverses questions relatives à la conception sont présentées. Une description est fournie pour chacune d'entre elles, ainsi que des informations fondées sur des données probantes concernant les questions liées à la sécurité. Des solutions applicables dans les PRITI sont fournies, ainsi que des études de cas illustrant ces questions et solutions et des références clés pour une lecture plus approfondie. Le chapitre 2 est consacré à la planification et à la conception, tandis que le chapitre 4 est consacré à la conception des usagers de la route vulnérables, notamment les piétons, les cyclistes et les motocyclistes. Le chapitre 5 évalue les conceptions relatives à la section transversale et à l'alignement, et le chapitre 6 fournit ces informations pour les carrefours. Le chapitre 7 fournit des informations sur certains outils de conception permettant d'obtenir des résultats sûrs.

Les chapitres 4 à 6 couvrent les aspects de conception des différents groupes d'usagers et des éléments d'infrastructure. Les recherches citées tout au long des sections sont principalement basées sur des travaux menés dans les PRE. Lorsque cela était possible, des recherches spécifiques sur les PRITI ont été citées. Cependant, il faut souligner que l'impact sur la sécurité de nombreuses caractéristiques de conception n'a pas été validé dans les PRITI. Nous espérons que cela encouragera les pays et les organisations travaillant dans les PRITI à développer cette validation pour des situations spécifiques, sinon les mêmes hypothèses sur la transférabilité non testée des mesures persisteront.

Comme indiqué dans la section 1.1, la mise en place de cette infrastructure routière sûre repose sur une bonne prise de décision en reconnaissant les principaux facteurs de risque lors de la planification de l'infrastructure routière et en incorporant des éléments de conception appropriés pour faire face à ces risques. À titre de directive, les principaux facteurs de risque liés à la conception de routes pour chaque type de

route sont identifiés dans le tableau 1.1. Il est attendu que des considérations minutieuses soient prises lors de la planification et de la conception des infrastructures dans un tel environnement routier. Ces facteurs de risque sont examinés plus en détail, ainsi que leurs solutions, dans les sections suivantes, comme indiqué dans le tableau.

Tableau 1.1: Facteurs de risque typiques de la conception de routes

	Facteur de risque	Autoroutes	Routes interurbaines à grande vitesse	Routes urbaines, résidentielles et villageoises	Aller à la section :
1.	Distance de visibilité insuffisante ou ligne de visibilité obstruée par des travaux imprévus sur le bord de la route	X	X	X	3.3 : Distance de visibilité
2.	Installations de glissières de sécurité manquantes, insuffisantes ou incorrectes (en bordure de route et sur la ligne médiane)	X	X		5.8 : Glissières
3.	Mauvaises combinaisons d'alignement horizontal et vertical, en particulier les « creux cachés »	X	X		5.3 : Courbure horizontale, 5.5 : Courbe verticale et gradient
4.	Présence d'objets rigides sur le bord de la route présentant des risques	X	X		5.7 : Bords de route
5.	Drainage insuffisant entraînant un engorgement ou des fossés de drainage profonds et ouverts présentant un risque	X	X	X	5.11 : Drainage
6.	Section transversale avec des accotements larges et durs qui sont (à tort) régulièrement utilisés pour les dépassements		X		5.2 : Largeur et type d'accotement
7.	Séquence incohérente de rayons de courbes consécutives, par exemple, courbe aiguë après une séquence de courbes nettement plus douces, courbes composées erronées avec une grande variabilité du rapport des rayons, courbes en dos d'âne, etc.		X		5.3 : Courbure horizontale
8.	Itinéraire dangereux et protection insuffisante des piétons, des cyclistes et des motocyclistes le long de la route et aux carrefours, notamment absence/insuffisance de séparation entre les piétons et les cyclistes et la circulation à grande vitesse, et absence/insuffisance d'installations pour traverser	X	X	X	4 : Conception des infrastructures pour les usagers vulnérables de la route
9.	Résistance au dérapage insuffisante	X	X		5.10 : Revêtement des routes
10.	Absence de voies de montée dans les pentes abruptes sur les routes à deux voies		X		5.6 : Voies de dépassement
11.	Dévers insuffisant dans les virages entraînant un risque élevé de déplacement latéral ou de renversement	X	X		5.4 : Dévers et pente transversale
12.	Absence d'accotements solides et stables		X		5.2 : Largeur et type d'accotement

13.	Des contrôles de signalisation qui ne tiennent pas compte des besoins de tous les usagers de la route, y compris des retards excessifs pour les piétons et les cyclistes		X	X	6.2 : Carrefours à feux de signalisation
14.	Absence de protection des mouvements de virage à gauche dans la circulation à droite, et des mouvements de virage à droite dans la circulation à gauche		X	X	6. Carrefours, 5.13. Panneaux de signalisation, 5.14. Marquage au sol
15.	Largeurs de route et sections transversales inappropriées dans les zones bâties, par exemple, largeurs de route/voie au détriment des installations pour les usagers de la route vulnérables		X	X	5.1 : Largeur de la route
16.	Voies étroites sur les routes à grande vitesse, les courbes et les voies de virage	X	X		5.1 : Largeur de la route
17.	Installations de stationnement et de chargement inappropriées		X	X	5.7 : Bords de route
18.	Mesures de ralentissement de la circulation manquantes ou inefficaces		X	X	3.2 : Gestion de la vitesse et ralentissement de la circulation
19.	Absence de contact visuel entre les automobilistes et les piétons/cyclistes			X	3.3 : Distance de visibilité
20.	Mauvaise reconnaissance des carrefours et des droits de passage en raison de l'absence d'éléments de guidage (canalisation, marquage et signalisation)			X	6.5 : Canalisation, 5.13 : Panneaux de signalisation, 5.14 : Marquage au sol
21.	Signalisation et marquage de la chaussée inadéquats	X	X	X	5.13 Panneaux de signalisation, 5.14 : Marquage au sol

Encadré 1.1 : Comment le GRSF et la Banque mondiale intègrent-ils une conception sûre dans les projets de transport ?

La Banque mondiale a pour double objectif de mettre fin à l'extrême pauvreté et de promouvoir une prospérité partagée. Dans le cadre de ces objectifs généraux, la Banque mondiale s'efforce de promouvoir la mobilité durable dans le monde entier. Sous les effets combinés de la mondialisation, de la croissance démographique, de l'urbanisation rapide, du développement économique et du progrès technologique, les besoins des pays augmentent de manière exponentielle, faisant du transport durable un élément essentiel du programme de développement mondial. L'amélioration de la sécurité routière est un élément essentiel de la mise en œuvre de solutions de transport durables. La Banque mondiale et le GRSF reconnaissent l'impact significatif des décès et des blessures dus aux accidents de la route sur la croissance économique des PRITI et le rôle des accidents dans l'appauvrissement des familles résultant de la perte du soutien de famille en raison d'un décès ou d'une invalidité. Les accidents de la route ont donc un impact direct sur le double objectif de la Banque mondiale.

Le GRSF est hébergé à la Banque mondiale depuis sa création en 2006 et a pour objectif d'aider à résoudre la crise croissante des décès et des traumatismes dus aux accidents de la route dans les PRITI. Le GRSF assure le financement et le développement des connaissances par le biais de la recherche, du transfert de connaissances, du plaidoyer et de l'assistance technique afin de développer et d'améliorer la sécurité routière dans les PRITI.

La sécurité routière est intégrée dans les activités de la Banque mondiale en tant qu'élément du cadre environnemental et social (ESF) par le biais de la norme environnementale et sociale 4 (ESS4). L'ESF, entré en vigueur en octobre 2018, exige que la sécurité routière soit prise en compte dans les projets et abordée chaque fois qu'elle est pertinente. Une note de bonnes pratiques a été préparée pour guider la mise en œuvre des exigences de l'ESF en matière de sécurité routière. Les exigences comprennent désormais un indicateur de sécurité routière pour les projets pertinents afin de contrôler les composantes de sécurité routière des projets. Le GRSF a mis au point l'outil d'évaluation de la sécurité routière RSSAT (Road Safety Screening and Appraisal Tool, Outil de contrôle et d'évaluation de la sécurité routière) (voir également la section 7.3) qui permet d'évaluer l'impact des projets prévus sur la sécurité routière à un stade précoce de leur développement. Cela permet d'affiner les projets afin d'améliorer la sécurité routière avant que le projet ne soit bien avancé et qu'il soit plus difficile d'inclure des interventions en matière de sécurité routière. La pratique globale des transports a mis en œuvre une politique exigeant l'utilisation du RSSAT sur les routes et les projets de mobilité urbaine, y compris l'atteinte de normes de sécurité minimales. Le GRSF prévoit de développer le RSSAT en tant qu'outil en ligne et de le partager publiquement, veuillez-vous référer au site Web du GRSF (<https://www.roadsafetyfacility.org/>).

En outre, le GRSF a encouragé les bonnes pratiques en matière de conception par le biais de formations dans les PRITI et les a intégrées dans des projets à travers le monde. De plus, le GRSF s'est associé à l'iRAP pour développer l'outil Star Rating for Designs, qui peut être utilisé gratuitement. Cet outil a été développé pour permettre d'intégrer facilement un classement par étoiles dans le processus de conception de routes. De plus amples détails sur ces outils et sur la manière dont ils peuvent être utilisés pour intégrer la sécurité routière dans la conception figurent au chapitre 7.

2. PRINCIPES CLÉS DE LA CONCEPTION DES ROUTES DANS LE CONTEXTE D'UNE PLANIFICATION SÛRE

2.1. Principes généraux de conception des routes

La conception des infrastructures routières joue un rôle important dans les résultats en matière de sécurité routière, mais la sécurité n'est généralement qu'une considération parmi d'autres au cours du processus de conception des routes et n'est souvent pas considérée comme une priorité. Cette section présente certaines des considérations générales relatives à la conception. De plus amples détails sur ces questions peuvent être trouvés dans plusieurs guides nationaux de conception, tels que l'Austroads Guide to Road Design,¹¹ qui fournit aux concepteurs un contexte favorisant l'efficacité de la conception et de la construction, l'économie, ainsi que la cohérence et la sécurité pour les usagers de la route. Parmi les autres documents similaires, nous pouvons citer le livre vert de l'AASHTO¹² et le PIARC Road Safety Manual, ainsi que de nombreux autres.

La conception et la construction des routes impliquent la conception géométrique et structurelle d'une route. L'un des principaux objectifs est d'optimiser la sécurité opérationnelle et l'efficacité du transport dans le respect des contraintes (y compris les budgets, les préoccupations environnementales et d'autres résultats sociaux). La conception doit prendre en compte le volume et le type de trafic susceptible d'emprunter la route. Cela concerne tous les groupes d'usagers, motorisés et non motorisés.

Les ingénieurs routiers conçoivent la géométrie des routes de manière à assurer la stabilité de tous les véhicules lorsqu'ils négocient des courbes et des pentes et à offrir des distances de visibilité suffisantes pour effectuer des manœuvres de dépassement et d'arrêt. Les choix liés à la conception géométrique des routes dépendent de l'environnement traversé par la route, principalement les habitations et la topographie, et les interactions entre ces caractéristiques de conception et l'environnement ont un

impact fondamental sur la sécurité du site. Chaque situation de conception est unique et il n'existe pas de solutions prêtes à l'emploi pour répondre à toutes les situations rencontrées. Comme indiqué à la section 1.3, l'application rigide et irréfléchie de graphiques, de tableaux et de figures a peu de chances d'aboutir à une conception réussie et sûre. Une bonne conception nécessite un apport créatif basé sur l'expérience, la connaissance de l'environnement local (y compris les considérations relatives aux usagers de la route) et une bonne compréhension de la conception, ce qui permet d'appliquer efficacement des principes et des solutions fondés sur des données probantes, en les affinant en fonction des circonstances locales exactes. Des processus et des outils permettant de garantir que la sécurité est intégrée de manière proactive dans la conception sont également nécessaires (voir le chapitre 7).

Toute conception DOIT :

- Répondre aux besoins de tous les usagers de la route.
- Être entreprise par un concepteur de routes qualifié sous la supervision d'un ingénieur professionnel/ingénieur concepteur principal, tous deux ayant une expérience appropriée en matière de conception de routes en fonction de la portée du projet.
- Être sûre, en veillant à ce que les dispositions recommandées en matière de sécurité ne soient pas réduites en vue de réaliser des économies au cours du processus de conception et de construction.
- Tenir compte du contexte, notamment en s'adaptant à l'utilisation du terrain.
- Démontrer la rentabilité par des processus d'ingénierie de la valeur, des analyses coûts-avantages et la prise en compte des coûts sur l'ensemble de la durée de vie (y compris les avantages en matière de sécurité).
- Être adaptée à l'usage prévu, c'est-à-dire à la fonction qu'elle est censée remplir, tout en essayant d'atteindre les normes les plus élevées possibles en matière de

¹¹ <https://austroads.com.au/safety-and-design/road-design/guide-to-road-design> consulté le 27/07/2020.

¹² A Policy of Development of Highways and Streets 7th ed. 2018. AASHTO.

conception, de sécurité et d'efficacité opérationnelle dans le contexte du site, de la portée du projet et du budget.

- Être soumise à un processus d'audit par des auditeurs de sécurité routière indépendants et qualifiés.

Elle DOIT également :

- Tenir compte des exigences en matière d'environnement, de patrimoine culturel et de société.
- Reconnaître l'impact croissant du changement climatique sur la résilience des infrastructures routières.
- Maintenir ou améliorer les performances d'une route existante.
- Documenter pleinement les raisons qui sous-tendent les décisions de conception.
- Répondre aux objectifs du projet tout en tenant compte des objectifs de la liaison routière et du réseau.
- Être en mesure de démontrer qu'elle équilibre de manière appropriée tous les principes susmentionnés dans les limites de la portée et des contraintes du projet et qu'elle est complémentaire du réseau.
- Tenir compte de l'interaction entre tous les usagers de la route et la chaussée.
- Répondre aux besoins actuels tout en prévoyant les besoins futurs.
- Être élaborée conformément à des directives solides en matière de conception. Des conceptions innovantes peuvent être développées en utilisant les bases fournies dans les directives de conception acceptées. Cependant, tous les autres principes de conception des routes doivent être maintenus.

Dans le cadre de la conception et de la mise en place d'un environnement routier plus sûr, l'approche du « système sûr » vise à garantir que les collisions potentielles sont évitées et, si elles se produisent, que les forces d'impact de la collision ne dépassent pas la tolérance humaine. Les résultats obtenus en Suède ont montré que, s'il existe une forte interaction entre les trois composantes du système (véhicules, infrastructure routière et usagers de la route), les facteurs liés à la route, notamment la vitesse, sont les plus fortement liés aux conséquences des accidents mortels.¹³

Par conséquent, les routes doivent être conçues de manière à réduire le risque d'accident et à minimiser les blessures des usagers de la route, même lorsqu'un accident se produit. De plus, il existe des preuves très claires qui suggèrent que la gravité des résultats lorsque des accidents se produisent est très fortement influencée par la

conception de la route. Il s'agit en particulier des caractéristiques qui indiquent aux conducteurs la vitesse à laquelle le corridor routier est conçu pour fonctionner et des caractéristiques qui imposent des vitesses inférieures. Les éléments qui sont généralement considérés comme ayant un impact sur l'efficacité et la sécurité comprennent les carrefours, les courbes horizontales et verticales, la cambrure (dévers), les pentes, les sections transversales (largeur des voies et des accotements, terre-pleins centraux et aménagement des bords de route) et les zones d'insertion et de bifurcation. Tous ces éléments (et bien d'autres) sont traités en détail dans les manuels et lignes directrices nationaux et locaux en matière de conception.

Les routes doivent être conçues pour répondre à une fonction et à un usage définis (voir la section 2.2). En adoptant une conception cohérente et clairement différenciée pour chaque groupe de fonctions, la route peut créer une meilleure appréciation du risque chez (la plupart) des conducteurs. Cela encourage les usagers de la route à adopter un comportement conforme aux normes de sécurité de la route. Les mêmes principes généraux de gestion fonctionnelle doivent être appliqués aux réseaux urbains et ruraux.

Des choix de conception appropriés sont nécessaires pour les routes remplissant différentes fonctions afin de minimiser le nombre d'accidents susceptibles de se produire et d'atténuer la gravité des blessures, en particulier sur les routes à grande vitesse. En outre, il est également important de préciser qu'une sélection cohérente de critères de conception minimaux n'est pas une bonne pratique et que de tels choix conduisent souvent à des conceptions peu sûres et incohérentes.

Alors que les ingénieurs routiers se concentrent sur les paramètres géométriques, les usagers de la route sont davantage préoccupés par le contexte de la route et s'appuient sur les repères visuels et les détails du bord de la route pour déterminer la vitesse sûre et appropriée et le risque. Ces éléments doivent être fournis de manière à donner à tous les usagers de la route suffisamment de temps pour prendre les décisions appropriées afin d'éviter les conflits et les collisions entraînant des blessures. Un équilibre est nécessaire entre trop et trop peu d'informations, mais tout ce qui est fourni doit permettre aux usagers de la route d'adopter un comportement approprié et sûr. (Voir la section 2.2 pour plus d'informations sur les routes explicites.)

Les infrastructures routières doivent être conçues pour

¹³ Stigson, H. 2009. A safe road transport system—factors influencing injury outcome for car occupants. Thèse de doctorat. Stockholm, Karolinska Institutet.

tenir compte de manière proactive des mêmes critères de tolérance aux blessures que ceux développés pour la protection des occupants des véhicules et les impacts des piétons, afin que les routes et les véhicules constituent un système de sécurité efficace. Vous trouverez ci-dessous quelques niveaux de risque associés à différents usagers de la route.

Les risques encourus par les cyclistes varient considérablement d'un pays à l'autre, principalement en fonction des infrastructures mises à leur disposition et des niveaux de trafic motorisé avec lesquels ils interagissent.

- Le risque pour les deux-roues motorisés est particulièrement élevé¹⁴ et des solutions sont nécessaires pour minimiser la gravité des blessures résultant de leur impact avec le mobilier en bordure de route.
- Parmi les piétons, les personnes jeunes et âgées sont les plus exposées.
- Les usagers de la route âgés ont des capacités physiques et cognitives réduites.¹⁵

La sécurité est un élément fondamental de la conception et de l'exploitation d'une route. La sécurité ne doit pas dépendre du comportement des usagers de la route, les millions d'accidents et de blessures qui se produisent chaque année dans le monde montrent que cela ne fonctionne pas. Le processus doit commencer par une évaluation de l'impact sur la sécurité d'une proposition avant même qu'une décision ne soit prise sur l'emplacement d'une nouvelle route.

Une approche proactive est nécessaire pour améliorer la sécurité routière. Des audits de sécurité sont ensuite entrepris à des moments spécifiques des étapes de conception, de construction et de post-ouverture pour garantir que tous les aspects de la conception détaillée susceptibles d'affecter la sécurité sont pris en compte. Un audit de sécurité pendant la phase de construction permet également de s'assurer que les travailleurs et les usagers de la route ne sont pas exposés à des risques lorsque les conditions routières se développent et changent.

Une fois la route construite et acceptée par les autorités routières, celles-ci ont la responsabilité de veiller à ce qu'elle fonctionne en toute sécurité. Le meilleur moyen d'y parvenir

est de combiner une enquête sur les accidents et une inspection sur route afin de permettre l'élaboration de programmes correctifs rentables. Il existe de nombreux outils pour soutenir ces activités. Ces aspects des évaluations et des outils proactifs sont examinés plus en détail au chapitre 7 : outils de conception pour des résultats sûrs.

2.2. Fonction des routes et utilisation des sols

Historiquement, les classifications fonctionnelles ont été utilisées pour regrouper les routes en classes, ou systèmes, en fonction du type de service qu'elles sont censées fournir. La classification fonctionnelle indique comment les déplacements peuvent être canalisés au sein du réseau de manière logique et efficace en définissant le rôle que doit jouer une route ou une rue particulière dans le flux des déplacements à travers un réseau routier. Les grands axes du réseau routier sont le plus souvent classés selon les deux fonctions : l'accès et la mobilité (ou le mouvement et le lieu, voir la figure et sont souvent connus sous le nom de :

- routes principales et artères,
- routes de distribution/collectrices, et
- routes locales.

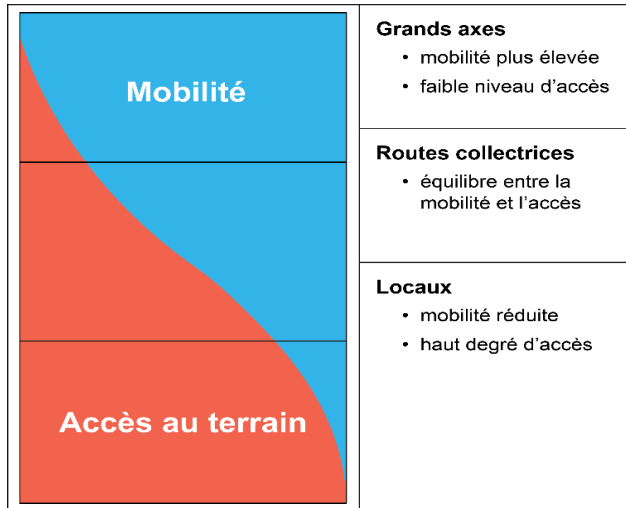
Ces classifications standard restent constantes pour l'ensemble de l'itinéraire et ont souvent été utilisées pour informer les critères de conception et de gestion appliqués aux différentes parties du réseau.

Les différentes classifications de routes offrent différents niveaux de mobilité et d'accessibilité en fonction de leur utilisation globale qui nécessite différentes vitesses de circulation, séparation des usagers et autres actions de conduite, par ex. préparation à gérer les cyclistes et les piétons (y compris les jeunes enfants).

¹⁴ Une étude réalisée dans les pays de l'UE indique que le risque de décès des conducteurs de deux-roues motorisés est 20 fois plus élevé que celui des occupants d'une voiture en moyenne (Conseil européen de la sécurité des transports. 2003. Performances en matière de sécurité des transports dans l'UE : un aperçu statistique. Conseil européen pour la sécurité des transports, Bruxelles, Belgique, 32. <https://etsc.eu/transport-safety-performance-in-the-eu-a-statistical-overview/>). Le risque dans les PRITI peut être bien pire en raison de l'existence de facteurs contributifs tels que les motocyclettes dangereuses, le faible taux de port du casque, les normes inadéquates sur les casques, la formation insuffisante des conducteurs et l'absence de permis de conduire, l'application insuffisante et les lacunes de la réglementation, l'environnement routier médiocre et les soins inadéquats après un accident.

¹⁵ FHWA. 2014. Manuel de conception des routes pour la population vieillissante. Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/older_users/handbook/.

Figure 2.1: Fonctions d'accès et de mobilité pour différentes catégories de routes.



Source : FHWA.

Dans la plupart des pays, les réseaux refléteront le développement d'une hiérarchie d'utilisation motorisée, avec les autoroutes/grandes routes/voies express au niveau le plus élevé d'utilisation motorisée¹⁶ et les routes d'accès local au niveau le plus bas. Dans la pratique, une hiérarchie de base s'établira naturellement, les routes les plus fréquentées étant aménagées selon des normes plus strictes. Mais il est important que la hiérarchie soit établie selon des lignes directrices claires liant la conception à la fonction réelle afin de fournir les niveaux souhaités de mobilité et d'accessibilité. Cependant, dans de nombreux PRITI, cette hiérarchie claire devient floue, les routes remplissant un ensemble de fonctions. Par exemple, les ressources peuvent être insuffisantes pour financer un réseau routier séparé, et les routes principales servent souvent de centres d'activité commerciale. En outre, les réseaux routiers relient entre eux les zones résidentielles, commerciales, urbaines et suburbaines des villes et des villages. Ils remplissent de nombreuses fonctions tout au long de leur parcours et accueillent de nombreux types d'activités, et pas seulement des déplacements par différents modes de transport. Ainsi, les routes doivent être conçues pour leur fonction réelle, celle-ci peut différer selon leur longueur.

Il n'est pas prudent de supposer que la fonction prévue d'une route sera sa fonction sur toute sa longueur ou pendant toute sa durée de vie. En ne tenant pas compte du contexte changeant le long de l'itinéraire, ce système de classification limite la compréhension de la manière dont les améliorations, l'entretien ou la sécurité devraient refléter les fonctions plus larges que remplissent les itinéraires. Ce contexte changeant est illustré par certaines des images des figures 2.2 à 2.4.

Il convient d'établir une distinction claire entre les rues et les autres types de routes. Les routes locales d'une zone urbaine sont souvent appelées « rues » et sont généralement bordées de bâtiments et d'activités non liées aux déplacements, telles que les commerces, les espaces de jeux et d'autres formes d'engagement. Si la circulation reste une exigence importante dans les rues, la capacité à remplir d'autres fonctions en toute sécurité devient de plus en plus prépondérante. Dans le contexte des PRITI, ces hiérarchies sont souvent confrontées à un défi majeur en raison de la répartition typique des parts de marché des modes de transport, qui comprend une part importante d'utilisateurs de la route non motorisés.

Dans les rues de n'importe quelle zone urbaine, nous pouvons trouver des personnes qui promènent leur chien, qui déjeunent dans un café sur le trottoir, qui attendent un ami ou qui observent simplement les passants. Pour les routes reliant la ville A à la ville B, vous avez moins de chances de trouver tout cela, car la mobilité est la fonction première. Par conséquent, le terme « rue » devrait s'appliquer spécifiquement aux routes urbaines locales. Les rues relient les personnes aux interactions, tandis que les autres routes relient les villes pour les déplacements (bien que la fonction puisse différer pour des points spécifiques de la route).

En 1997, les autorités néerlandaises chargées de la gestion des routes sont parvenues à un accord sur un important programme de sécurité routière, appelé *Duurzaam Veilig* (« Sécurité durable »). L'un de ses principes est une catégorisation claire des routes en un petit nombre de modèles visuellement distincts et clairement reconnaissables qui doivent être appliqués de manière cohérente dans tout le pays. Quatre catégories de routes semblent suffisantes pour répondre à tous les besoins¹⁷ :

- Autoroute ;

¹⁶ Le niveau le plus élevé est lié au volume de trafic et pas nécessairement à l'importance.

¹⁷ Theeuwes and Godthelp. 1995. *Self-Explaining Roads*. *Safety Science*, 19, 217-225.

Figure 2.2: Vendeurs sur la route au Sénégal.



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

Figure 2.3: Magasins empiétant sur les voies piétonnes et la route.



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

Figure 2.4: La route est un lieu de rencontre dans les villages d'Arménie.



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

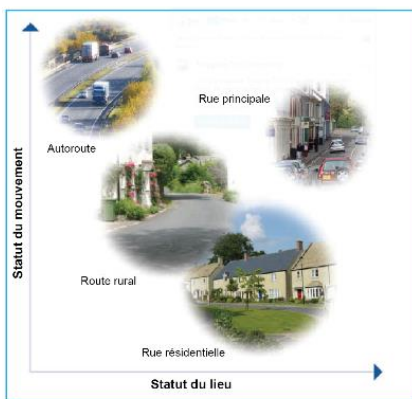
- principales routes interurbaines
- les routes locales (ou rues) pour relier les zones résidentielles aux commerces et aux services ;
- les woonerfs (ou zones résidentielles à circulation réduite).

De nombreux pays constatent aujourd'hui qu'ils ont besoin d'un plus grand nombre de catégories pour couvrir l'ensemble de leurs types de routes (par exemple, les routes d'accès rurales, les routes collectrices urbaines), et la distinction entre chaque catégorie devient plus floue en fonction des diverses activités qui doivent être prises en compte. Le point important est que toutes les routes et rues peuvent être conçues de manière à créer des attentes différentes quant à la manière dont les usagers de la route doivent s'y comporter.

La figure 2.5 présente des exemples de matrices de déplacement et de lieu au Royaume-Uni et en Australie. Les deux axes représentent les priorités relatives des routes pour faciliter la circulation des personnes et des marchandises, et pour servir de destination aux personnes. La position de la route sur l'axe de déplacement est basée sur l'importance stratégique de la route, identifiée par son rôle dans le réseau plus large. La position de la route sur l'axe des lieux est basée sur l'importance stratégique et la valeur communautaire de la route en tant que lieu.

L'objectif est que les différentes classes de routes soient distinctes et qu'au sein de chaque classe, des caractéristiques telles que la largeur de la chaussée, le marquage routier, la signalisation et

Figure 2.5: Illustration du statut du mouvement et de la place des routes et des rues.



Source : UK CIHT, 2010 (à gauche). UK CIHT, 2010. Manuel des rues 2. <https://www.ciht.org.uk/knowledge-resource-centre/resources/revising-manual-for-streets/>. Application plus large des principes. Notez que le terme « grande rue » dans ce diagramme se rapporte à une rue commerçante très fréquentée. Cette rue est parfois appelée « rue principale » dans d'autres pays ; gouvernement d'Australie-Méridionale, 2012 (à droite). Gouvernement d'Australie-Méridionale, 2012, Streets for people, Adélaïde, Australie.

l'utilisation de l'éclairage public soient cohérentes tout au long de l'itinéraire et adaptées à leur utilisation fonctionnelle. Les conducteurs percevraient ainsi le type de route et sauraient « instinctivement » comment se comporter. L'environnement fournit effectivement une « étiquette » pour le type particulier de route, et il y aurait moins besoin de dispositifs de contrôle de la circulation distincts, tels que des panneaux de signalisation supplémentaires, pour réguler le comportement du trafic.¹⁸ Les routes deviennent « autoexplicatives », c'est-à-dire plus intuitives, pour tous les usagers.

Cependant, il ne serait peut-être pas acceptable de se contenter de dépenser de précieuses ressources pour assurer la cohérence sur un corridor routier sûr et efficace. Par conséquent, il est possible d'appliquer une philosophie moins onéreuse pour atteindre un niveau acceptable de cohérence des installations le long d'un corridor.

Figure 2.6: Route rurale traversant un marché – Tchad.



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

Figure 2.7: Principale artère urbaine séparée de la zone d'activité mixte – Qatar.



Source : © John Barrell.

Cette philosophie est celle de la prévisibilité. Autrement dit, pour des tronçons successifs le long d'une route dans un environnement cohérent (rural ou urbain), il ne devrait y avoir que peu ou pas de variation dans le niveau de section transversale, la norme géométrique horizontale ou verticale ou la distance de visibilité fournie. Une approche « sans surprise » se caractérise par la cohérence du contexte qui fournit aux usagers des informations appropriées et pertinentes en temps utile pour faciliter leur prise de décision. Tout changement rapide ou isolé, par exemple des virages serrés ou un rétrécissement de l'accotement, serait considéré comme « hors contexte » et doit idéalement être éliminé, mais s'il est inévitable, un traitement local plus spécifique doit être envisagé pour avertir les conducteurs de leur présence.

Figure 2.8: Étals sur la route sans séparation des mouvements de circulation à grande vitesse et de la zone d'activité mixte – Népal



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale

Figure 2.9: Route nationale séparée de la zone d'activité mixte – Qatar



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale

¹⁸ https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/road/designing_for_road_function/self_explaining_roads_en.

Ces approches font appel à la simplicité et à la cohérence de la conception pour réduire le stress et les erreurs des conducteurs et pour guider leur comportement et leur choix de vitesse. Elles sont déjà utilisées pour les catégories de routes les plus élevées (autoroutes), mais sur les routes de moindre importance, la cohérence de la conception est souvent compromise par d'autres objectifs tels que des niveaux d'accès élevés, un tracé variable, une utilisation mixte et un aménagement variable des abords de la route, ce qui entraîne un manque de cohérence et un manque de différenciation entre les catégories de routes.

Les implications de l'autoexplication des routes sont particulièrement profondes pour les PRITI. Les développements affectant des parties du système routier qui ont été habituellement utilisées à des fins sociales ou commerciales doivent ainsi être traités avec une attention particulière. S'il est possible de conserver la fonction sociale ou commerciale, il faut veiller à séparer le trafic de transit du trafic local dans les zones d'activités mixtes et s'assurer qu'un environnement à grande vitesse ne lui est pas imposé. S'il n'est pas possible de conserver les fonctions sociales et commerciales, il convient de trouver un autre site approprié pour ces activités, et la nouvelle infrastructure routière qui remplace l'ancienne zone d'activité mixte doit être clairement identifiée comme étant principalement une infrastructure de circulation. Lorsque le trafic de transit à grande vitesse ne peut être séparé du trafic et des activités locales, il est nécessaire de rétrograder la classe fonctionnelle afin de maintenir des vitesses de circulation sûres dans ces zones, grâce à une conception appropriée des infrastructures et au contrôle de la vitesse. Les figures 2.6 et 2.7 illustrent l'absence de séparation entre le trafic de transit et le trafic local dans les zones d'activité mixte, tandis que les figures 2.8 et 2.9 illustrent la séparation du trafic à grande vitesse.

2.3. Type de véhicule et d'utilisateur de la route dans le contexte des PRITI

Le type, la qualité et le volume des véhicules ainsi que l'expérience des usagers de la route sont uniques dans les PRITI et diffèrent souvent considérablement de ceux des pays développés. Cette situation est principalement due aux facteurs socio-économiques, à l'accessibilité financière des véhicules dotés de technologies modernes et, surtout, aux politiques nationales. Par conséquent, il existe plusieurs variantes de véhicules dans les catégories de véhicules légers et de véhicules lourds, avec une gamme plus large de

capacités d'accélération et de décélération et de vitesse maximale pouvant être maintenue. En outre, la part des véhicules à deux ou trois roues, des véhicules de fortune, des véhicules surchargés, des véhicules agricoles et d'animaux (chevaux, par exemple) ou des véhicules à traction animale est également très élevée. Un tel mélange de trafic est communément appelé mélange de trafic hétérogène, avec une forte variation de la vitesse de déplacement. Alors que les caractéristiques dynamiques des véhicules varient considérablement dans un trafic mixte, il n'y a généralement pas d'installations de transport séparées dans la plupart des PRITI. Par conséquent, tous les véhicules utilisent les mêmes chaussées, souvent avec une discipline de voie médiocre ou nulle. Outre les véhicules motorisés, la part du trafic non motorisé et des piétons est très élevée dans tous les PRITI. Cependant, le plus souvent, il n'y a pas d'installations dédiées aux usagers de la route non motorisés, ce qui entraîne une plus grande interaction avec les véhicules motorisés et non motorisés, ainsi qu'un nombre élevé d'accidents et de blessures impliquant ces usagers vulnérables, y compris les personnes handicapées (voir le chapitre 4, Conception des infrastructures pour les usagers vulnérables de la route). En raison de ces problèmes, l'adoption de configurations et de normes de conception directement issues des PRE peut ne pas être conseillée pour répondre aux besoins de tous les usagers de la route. Cela signifie souvent que les normes de conception et de fourniture d'infrastructures doivent être plus élevées dans les pays en développement pour le transport non motorisé (par exemple, les trottoirs sont beaucoup plus souvent nécessaires au Bangladesh qu'en Australie). Cependant, le montant investi par kilomètre dans les projets routiers est nettement inférieur. En outre, lorsqu'un nombre important d'animaux et de charrettes tirées par des animaux empruntent un chemin, il convient de prendre en compte les risques de collision et les véhicules lents dans la conception afin de les accueillir en toute sécurité (par exemple, largeur supplémentaire, signalisation spéciale, clôtures, mobilier routier tel que des murs antibruit ou des glissières de sécurité, ségrégation aux carrefours et aux croisements) (voir les sections séparées pertinentes pour plus de détails sur ces mesures, ainsi que FHWA [2020]. Amélioration de la sécurité des voyageurs et de la faune pour une approche globale). Il est vrai que les budgets sont limités et que le caractère abordable est important dans les pays en développement, mais davantage d'investissements sont nécessaires pour gérer cet environnement difficile et parvenir à un environnement routier sûr.

Figure 2.10: Différents types de véhicules et nombre élevé de piétons.



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

Figure 2.12: Quatre types de véhicules différents sur l'autoroute – Inde.



Source : © Sudeshna Mitra/GRSF/Banque mondiale.

Les figures 2.10 à 2.13 illustrent les différents types de véhicules dans le contexte des PRITI.

En Inde, par exemple, le trafic est hétérogène et se compose de différents types de véhicules : voitures particulières, motocyclettes, véhicules utilitaires légers (tels que les camionnettes), pousse-pousse motorisés et véhicules lourds (tels que les camions et les autobus). Ces types de véhicules ont des capacités d'accélération et de décélération très différentes et une facilité de maniabilité dans un mélange de trafic qui ne suit aucune discipline de voie.¹⁹ Par exemple, les véhicules utilitaires légers ont tendance à ralentir le flux de

Figure 2.11: Différents types de véhicules – Vietnam.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 2.13: Différents types de véhicules.



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

circulation en raison de leur vitesse libre moyenne inférieure et de leur variation de vitesse plus élevée (par rapport aux camions et aux bus), et ces véhicules ont également des taux d'accélération relativement faibles à des vitesses plus élevées.^{20, 21} En conséquence, les flux de trafic comportant un pourcentage élevé de ces véhicules et un pourcentage moindre d'autres véhicules devraient avoir des caractéristiques de trafic différentes de celles des flux de trafic présentant des compositions différentes, ce qui aura également des implications sur la sécurité. En outre, la maniabilité de certains véhicules, en particulier les motocyclettes, peut avoir des effets différents sur la sécurité.

¹⁹ Mitra, S., Haque, M., and King, M. J. 2017. Effects of access, geometric design, and heterogeneous traffic on safety performance of divided multilane highways in India, *Journal of Transportation Safety & Security*, 9: sup 1, 216–235.

²⁰ Arasan, V. T. et Koshy, R. Z. 2005. Methodology for modeling highly heterogeneous traffic flow. *Journal of Transportation Engineering*, 131(7), 544–551.

²¹ Dey, P. P., Chandra, S. et Gangopadhaya, S. 2006. Speed distribution curves under mixed traffic conditions. *Journal of Transportation Engineering*, 132(6), 475–481.

Figure 2.14: Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers – Bangkok.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 2.16: Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers.



Source : © Banque mondiale.

Figure 2.15: Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers – Philippines.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 2.17: Trafic mixte de véhicules avec conflit entre les différents usagers à un carrefour.



Source : © Banque mondiale.

Par exemple, il est fréquent que les motocyclistes manœuvrent côte à côte et se fauillent entre deux véhicules plus grands, partageant pratiquement le même espace sur une voie, ce qui est moins courant dans un trafic largement homogène. Des véhicules lourds lents occupent souvent les voies extérieures des autoroutes, encourageant les autres conducteurs à dépasser à l'intérieur. En outre, la proportion de véhicules lourds s'est avérée dans certains cas avoir un effet négatif sur la sécurité routière,²² et il a été prouvé qu'une proportion plus élevée de motocyclettes dans le flux de circulation était positivement et significativement associée aux collisions par l'arrière. En revanche, le pourcentage plus élevé de véhicules lourds dans le flux de circulation s'est avéré substantiellement lié aux collisions frontales. Divers conflits entre usagers de la route dans le

trafic mixte sont illustrés dans les figures 2.14 à 2.17.

Bien que cette étude identifie des problèmes associés à des types de véhicules spécifiques, les effets de la composition globale des véhicules sur les flux de trafic doivent encore être étudiés et approfondis dans différentes régions des PRITI, afin de fournir une orientation claire sur les effets de sécurité de ces véhicules sur le mélange. Par conséquent, nous pouvons dire que les effets sur la sécurité des différentes compositions de types de véhicules dans un trafic hétérogène sont encore un domaine sous-explore.

Néanmoins, il est prouvé que la séparation d'une combinaison de trafic diversifiée (en particulier lorsque la vitesse est impliquée), comme le trafic de transit à grande vitesse et le trafic local à faible vitesse, à l'aide de routes de service, et la séparation des

²² Robert, R. V., Veeraaragavan, A. et Murthy, K. 2006. Safety relationships for highway segments in developing countries. In Transportation Research Board 85th Annual Meeting (No. 06-0508).

Routes à faible trafic dans les pays à revenu faible et intermédiaire

Dans les pays à revenu faible et intermédiaire, les routes à faible trafic posent des problèmes de sécurité spécifiques. Une route à faible trafic (LVR) est une route sur laquelle circulent peu de véhicules par jour (généralement moins de 400 véhicules par jour) et où le pourcentage de véhicules lourds est très faible (5 à 10 %). Ces routes tendent à relier les communautés rurales au réseau routier stratégique, ainsi qu'aux services publics vitaux tels que les écoles, les hôpitaux, les fermes et les marchés, et peuvent être pavées ou non pavées. Les LVR doivent souvent répondre à des proportions élevées de trafic non motorisé (TNM), y compris les piétons, les bicyclettes, les charrettes tirées par des animaux, ainsi que les motocyclettes. En outre, l'utilisation des terres existantes et les propriétés adjacentes limitent souvent la largeur effective de la section transversale qui peut être construite sans causer de perturbations majeures pour la population locale et les coûts associés pour l'acquisition de terres et les compensations.

La conception géométrique classique des autoroutes associe l'augmentation des normes à l'augmentation de la vitesse, du volume de trafic, du confort et de la commodité pour l'utilisateur. Cependant, la conception des LVR se concentre sur la fourniture d'un accès suffisant. La vitesse, le volume, le confort et la commodité ne sont généralement pas pris en compte dans la conception. La conception des LVR doit donc viser à maintenir des vitesses de déplacement relativement faibles. Pour autant que les vitesses restent faibles, les accotements normaux ou une largeur supplémentaire pour accueillir les équipements de TNM peuvent être omis, sauf dans les zones particulièrement fréquentées à l'intérieur des villages, des centres commerciaux, etc.

La conception géométrique des LVR doit être associée aux mesures suivantes :

- Installation de mesures de ralentissement de la circulation, le cas échéant, en particulier dans les zones à forte incidence de trafic non motorisé (TNM), par exemple ralentisseurs, bandes rugueuses, panneaux d'avertissement et de limitation de vitesse, etc.
- Des solutions techniques complètes aux endroits potentiellement dangereux qui peuvent être réalisées à des coûts raisonnables (par exemple, élargissement de la route/séparation des voies sur les crêtes abruptes, amélioration du tracé pour redresser les courbes en aveugle).
- Signalisation avancée adéquate des conducteurs et mesures de réduction de la vitesse lorsque des situations potentiellement dangereuses ne peuvent être évitées (voir la section 5.13).
- Variations de la largeur de la chaussée en fonction de l'importance et de la composition du trafic et du terrain (voir la section 5.1).

usagers de la route vulnérables tels que les motocyclistes, les cyclistes et les piétons, grâce à l'introduction de bandes pour motos, de bandes cyclables et de trottoirs ou de voies piétonnes, respectivement, est susceptible de produire des avantages significatifs en matière de sécurité. La section 4 décrit en détail la conception des usagers de la route vulnérables. Enfin, l'intégration des infrastructures de transport public (par exemple, les bus à haut niveau de service [BHNS]) avec des installations de traversée bien conçues s'est avérée efficace pour améliorer la sécurité des usagers des transports publics qui sont principalement des piétons avant et après l'utilisation des infrastructures de transport public.

Pour en savoir plus :

- Giummarra G (2001). Road Classifications, Geometric Designs and Maintenance Standards for Low Volume Roads. Rapport de recherche AR 354, ARRB Transport Research Ltd, Vermont, South, Victoria, Australie.
- Département des transports et des routes principales du Queensland (2013). Guidelines for Road Design on Brownfield Sites. Queensland, Australie.
- Southern Africa Development Community (SADC) (2003). Guideline on Low-volume Sealed Roads.
- Banque mondiale (2001). Design and Appraisal of Rural Transport Infrastructure: Ensuring Basic Access for Rural Communities. Document technique n° 496, Banque mondiale, Washington, DC, États-Unis.

- World Road Association (PIARC) (2016). Human Factors Guidelines for a Safer Man-Road Interface. Comité technique C3.2, conception et exploitation d'infrastructures routières plus sûres, World Road Association (PIARC), Paris, France

2.4. Conception sensible au contexte

Une conception routière ne peut être considérée comme sûre, adaptée à son objectif ou conforme si elle se contente d'adopter des minima de conception, en particulier en combinaison, pour les éléments de la conception. La plupart des critères de conception (gamme, souhaitable, absolu) ont été étudiés ou développés indépendamment les uns des autres (bien qu'il puisse y avoir des relations implicites) et lorsqu'ils sont utilisés en combinaison avec d'autres éléments, tout en étant conformes aux lignes directrices publiées, ils peuvent aboutir à une solution qui compromet la sécurité ou l'efficacité opérationnelle.

Toute route doit également fonctionner de manière appropriée au sein de l'environnement naturel et bâti afin de répondre aux diverses attentes des usagers et de la communauté au sens large. Par conséquent, la conception ne peut être réalisée de manière isolée, mais doit être sensible au contexte dans lequel la route sera exploitée et, en conséquence, des critères concurrents ou conflictuels doivent souvent être compromis pour parvenir à une solution équilibrée, sûre et rentable.

La conception sensible au contexte (CSD) est une approche qui offre la souplesse nécessaire pour encourager des conceptions indépendantes adaptées à des situations particulières²³ tout en tenant dûment compte de tous les facteurs.

Un « domaine de conception » peut être considéré comme une gamme de valeurs qu'un paramètre particulier peut prendre. Cela s'applique à une série de paramètres de

conception qui, lorsqu'ils sont utilisés dans leur contexte, permettent d'obtenir des résultats acceptables en termes de sécurité, d'efficacité et d'efficacités. Elles sont justifiées d'un point de vue technique par un ensemble cohérent de principes, fondés sur des données d'essai et un raisonnement solide, par exemple, et peuvent donc être raisonnablement défendues en cas de contestation.^{24, 25, 26}

L'approche du domaine de la conception met l'accent sur l'élaboration de conceptions appropriées et rentables plutôt que sur la fourniture d'une conception qui répond simplement aux normes. Il comprend un domaine de conception normal (NDD), un domaine de conception étendu (EDD) (figure 2.18) et des exceptions de conception (DE). On parle également de norme de conception, d'assouplissement et d'écart par rapport à la norme. Le concept exige du concepteur qu'il choisisse une valeur, adaptée au contexte, pour chaque élément de conception parmi une gamme de valeurs, en tenant compte des avantages et des coûts de chaque sélection.

Les régions inférieures du domaine de conception représentent des valeurs qui seraient généralement considérées comme moins sûres ou moins efficaces, mais souvent moins coûteuses que celles des régions supérieures du domaine. La décision sur les valeurs à adopter doit être prise en utilisant des données objectives sur les changements de coût, de sécurité et de niveau de service causés par des modifications de la conception, ainsi qu'une analyse coûts-avantages. Les principes techniques et les valeurs cibles pour chaque paramètre de la conception doivent être convenus à un stade très précoce du projet. Bien que ces éléments puissent être modifiés ultérieurement au cours du processus de conception, à mesure que l'on obtient davantage d'informations, les premières indications données par le client au concepteur sont importantes pour définir l'objectif et la fonction des routes et permettre à la conception de progresser avec une plus grande certitude quant au résultat escompté.

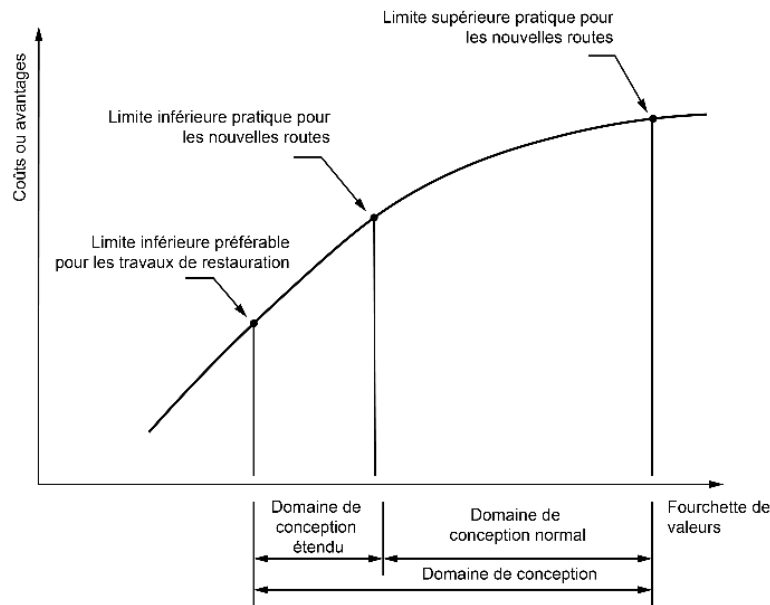
²³ FHWA. 2002. Context Sensitive Design/Thinking Beyond the Pavement, Federal Highway Administration (www.fhwa.dot.gov/csd).

²⁴ Association des transports du Canada. 1999. Geometric design guide for Canadian roads: parts 1 and 2, TAC, Ottawa, Ontario, Canada.

²⁵ Cox et Arndt. 2005. « Using an extended design domain concept for road restoration projects. » International symposium on highway geometric design, 3e édition, 2005, Chicago, Illinois, Transportation Research Board, Washington, DC, 20 pp.

²⁶ Department of Transport and Main Roads. 2013. Road planning and design manual, 2e édition, TMR, Brisbane, Qld.

Figure 2.18: Concept du domaine de la conception.



Source : Daniel Kueper, 2010. « The Context Sensitive State Design Manual », ITE Journal (www.ite.org), Vol. 80, n° 11, pp. 30-35.

Remarque :

Les limites de valeur d'un critère particulier définissent la fourchette absolue des valeurs qui peuvent lui être attribuées.

Le domaine de conception d'un critère particulier est la plage de valeurs, à l'intérieur de ces limites, qui peut être attribuée à ce critère dans la pratique.

La CSD cherche à produire une conception qui combine de bonnes pratiques d'ingénierie en harmonie avec l'environnement naturel et l'environnement bâti, et répond aux contraintes et paramètres requis pour le projet. Il s'agit de normes routières et de pratiques d'aménagement souples et sensibles aux valeurs de la communauté. Il prévoit également l'utilisation de voies plus étroites, de vitesses de conception inférieures, de virages plus serrés et de caractéristiques spéciales non incluses dans les lignes directrices génériques relatives à la conception des routes, afin de contribuer à la création d'un système de transport plus équilibré et plus efficace et de répondre aux objectifs d'utilisation des sols de la collectivité.

Quelle que soit la manière dont elle est dérivée, une conception doit démontrer une ingénierie de la valeur et des coûts acceptables sur l'ensemble de la durée de vie pour prendre en compte toutes les disciplines de l'ingénierie routière, notamment la sécurité, la conception géométrique, la circulation, l'évacuation des eaux, les chaussées, la gestion du patrimoine et les parties prenantes (par exemple, les usagers de la route, les usagers vulnérables, le fret, les transports publics, les services d'urgence, l'environnement), tout en prenant en compte les besoins actuels et futurs.

Au début du cycle de vie du projet, il faut déterminer quels

sont les usagers de la route présents et comment ils seront pris en charge (voir la section 2.4.2 Conception pour les caractéristiques des usagers de la route et la conformité). L'adéquation d'une conception doit également tenir compte des effets qu'elle peut avoir sur les tronçons routiers adjacents et le réseau environnant.

Les conceptions nécessitent de prendre des décisions sur l'intérêt d'améliorer la qualité d'une route et sur l'impact que cela peut avoir sur la capacité à financer des améliorations ailleurs sur le réseau routier. En fonction des priorités de financement de l'autorité de contrôle, par exemple, l'accent peut être mis sur la sécurité, l'environnement ou l'efficacité, ce qui peut conduire à des résultats différents. Le compromis le plus approprié est généralement un équilibre entre les trois catégories, c'est-à-dire que la solution de sécurité la plus rentable peut être la moins attrayante d'un point de vue environnemental.

Il est donc important que les décisions de conception soient documentées et fondées sur un jugement et un raisonnement techniques solides pour résoudre le problème. Ces décisions sont soumises à un examen/gouvernance approprié et doivent montrer comment elles démontrent l'ingénierie de la valeur et gèrent les coûts sur l'ensemble de la durée de vie dans le cadre des contraintes de conception et du contexte du site

Des routes résistantes au changement climatique

Le transport routier joue un rôle important dans le développement socio-économique global d'un pays. Cependant, l'infrastructure routière est extrêmement exigeante sur le plan environnemental et très vulnérable aux effets du changement climatique, tels que les crues soudaines et les glissements de terrain provoqués par de fortes pluies. En outre, la croissance rapide du nombre et de la circulation des véhicules rend l'infrastructure routière vulnérable. Les réseaux routiers des pays en développement sont généralement plus vulnérables aux effets du changement climatique en raison d'un entretien insuffisant, d'une proportion élevée de routes non revêtues et de ressources et technologies limitées pour s'adapter.

- Structures de stabilisation des pentes.
- Revêtement des routes avec des matériaux durables.
- Alignement correct des nouvelles routes pour éviter la perte de végétation.
- Amélioration des systèmes de drainage pour éviter l'érosion des matériaux routiers.
- Amélioration de la planification des routes avec une section transversale appropriée et des dimensions standard

Exceptions en matière de conception

Les exceptions en matière de conception sont des situations dans lesquelles la conception n'est pas conforme aux critères minimaux ou limitatifs définis dans les normes, les politiques et les spécifications standard. Ils sont plus susceptibles de se produire en raison d'un terrain difficile, de contraintes dues aux infrastructures existantes, aux services, aux limites de propriété, aux conditions environnementales, à l'héritage culturel et aux attentes de la communauté.

Les exceptions en matière de conception peuvent avoir un impact négatif sur la sécurité routière et le fonctionnement du trafic. C'est pourquoi l'examen d'une exception en matière de conception doit être délibéré et approfondi, et une compréhension claire des impacts négatifs potentiels doit être développée grâce à une évaluation des risques impartiale et étayée par une analyse des collisions. Parfois, les raisons qui incitent à l'adoption de telles exceptions de conception sont de nature sociale, environnementale ou économique. Toutefois, l'évaluation des risques doit montrer que les décisions associées à l'adoption d'une norme aussi basse l'emportent sur le coût potentiellement plus élevé des accidents mortels et des blessures graves. Si la décision d'aller de l'avant avec une exception de conception est prise, elle doit être formellement approuvée par l'agence routière compétente et étayée par une

justification bien documentée. Il est également particulièrement important que les mesures visant à réduire ou à éliminer les impacts négatifs potentiels soient évaluées et, le cas échéant, mises en œuvre.

La documentation relative aux exceptions en matière de conception doit décrire tous les éléments suivants :

- Critères de conception spécifiques qui ne seront pas respectés ;
- Caractéristiques des routes existantes ;
- Alternatives envisagées ;
- Comparaison de la sécurité et de la performance opérationnelle de la route et d'autres impacts tels que le droit de passage, la communauté, l'environnement, le coût et l'accès pour tous les modes de transport ;
- Les mesures d'atténuation proposées ; et
- Compatibilité avec les tronçons de route adjacents.

Les exceptions en matière de conception ne doivent PAS être utilisées lorsque l'une des situations suivantes s'applique :

- Il existe des antécédents d'accidents liés à l'utilisation de l'exception, par exemple les rapports de police indiquent que la visibilité limitée a été un facteur contribuant à l'accident. Ceci est d'autant plus

important dans les cas suivants :

- si plusieurs accidents de ce type sont signalés
- des dispositifs d'atténuation sont déjà en place.
- L'utilisation de la même exception, ou d'une exception similaire, est connue pour causer des problèmes de sécurité ailleurs sur le réseau.
- La valeur de l'exception de conception est bien en dehors de la plage de valeurs du domaine de conception.
- L'exception de conception est un cas isolé, par exemple si une route présente une courbure horizontale généreuse à l'exception d'une (ou de quelques) courbe(s) horizontale(s) de très mauvaise qualité. Dans ce cas, les conducteurs s'habituent à la norme générale de courbure horizontale et sont moins susceptibles de percevoir et de négocier correctement le ou les éléments inférieurs aux normes. Cette situation est différente de celle d'une chaussée présentant un alignement horizontal plus serré, mais plus cohérent, qui inciterait les conducteurs à être plus vigilants et à s'attendre davantage à des éléments géométriques serrés.
- Une exception de conception est combinée avec d'autres minima géométriques, en particulier d'autres exceptions de conception. Plus le nombre de minima combinés est élevé, plus la probabilité qu'une exception de conception puisse être tolérée comme l'un de ces minima est faible.
- Pour les projets de remise en état des routes comprenant des routes à fonction plus élevée et/ou à volume de trafic plus important.
- Le paramètre pris en compte est la distance de visibilité aux carrefours. Dans ce cas, les valeurs EDD sont les plus basses à fournir.
- Lorsque peu d'efforts et de dépenses sont nécessaires pour éviter de recourir à l'exception en matière de conception.
- Sur les projets de restauration de routes ou de routes à faible trafic où la chaussée est remplacée, en particulier si les travaux de terrassement sont minimales.

Conception en fonction des caractéristiques des usagers de la route et du respect des règles

Les normes et orientations classiques en matière de conception des routes définissent des caractéristiques telles que la largeur des voies et des accotements, les vitesses de conception et l'offre minimale de stationnement. Elles reflètent souvent l'hypothèse selon laquelle plus c'est grand et plus c'est rapide, mieux c'est, ce qui conduit à une conception qui dépasse effectivement la norme requise pour l'usage auquel elle est destinée. Il peut en résulter des vitesses de circulation plus élevées, des coûts de projet plus importants et des routes qui vont à l'encontre d'autres objectifs de planification. Par exemple, les routes plus larges et plus droites ont tendance à augmenter la vitesse du trafic et à disperser les destinations, ce qui peut réduire l'accessibilité, la sécurité et l'habitabilité.

Au début du cycle de vie du projet, il faut déterminer quels sont les usagers de la route présents et comment ils seront pris en charge. Pour ce faire, des données doivent être collectées sur les usagers de la route et sur la manière dont ils l'utilisent, par exemple : où marchent les piétons, quel est le pourcentage de motocyclistes dans les véhicules et quelle est la vitesse réelle à laquelle les véhicules circulent. Ces données sont importantes pour comprendre le véritable environnement de conception, par opposition à une conception de la manière dont les gens « devraient » se comporter. Il est également important qu'au début de chaque phase du projet, les exigences des usagers de la route et des parties prenantes soient clairement documentées afin que le concepteur puisse comprendre comment développer une conception qui réponde aux besoins et aux exigences de tous les usagers de la route et les équilibre dans la solution de conception globale.

Rues complètes

L'approche des rues complètes est une approche moderne de l'aménagement urbain qui vise à répondre aux problèmes de sécurité et d'aménagement de tous les usagers de la route et à remédier à l'ancienne approche centrée sur les véhicules motorisés. Les rues complètes sont des rues conçues et exploitées pour permettre une utilisation sûre et favoriser la mobilité de tous les usagers. Il s'agit de personnes de tous âges et de toutes capacités,

qu'elles soient automobilistes, piétons, cyclistes ou usagers des transports publics. Le concept de rues complètes englobe de nombreuses approches de planification, de conception et d'exploitation des routes et des droits de passage en tenant compte de tous les usagers afin de rendre le réseau de transport plus sûr et plus efficace. Les politiques de rues complètes sont définies au niveau de l'État, de la région et de la commune et sont souvent soutenues par des lignes directrices relatives à la conception des routes.

Les approches des rues complètes varient en fonction du contexte de la communauté. Une rue complète dans une zone rurale aura un aspect très différent d'une rue complète dans une zone très urbaine, mais toutes deux sont conçues pour assurer la sécurité et la commodité de tous les usagers de la route, y compris les piétons handicapés.

Dans le contexte des PRITI, les routes communautaires sont généralement utilisées par tous les modes de transport, avec une forte proportion d'usagers non motorisés. Cependant, avec l'augmentation de la motorisation, les rues et les routes des PRITI sont envahies par les véhicules motorisés. Les menaces pour la sécurité des usagers non motorisés augmentent en raison d'un manque de planification et de conception en général, et d'un manque de gestion de la vitesse en particulier. Dans le contexte des PRITI, la conception de rues complètes, en particulier pour l'utilisation mixte, est très pertinente.

Les rues complètes peuvent comporter un large éventail d'éléments, tels que des trottoirs, des bandes cyclables, des voies de bus, des arrêts de transport public, des points de traversée, des îlots centraux, des signaux accessibles aux piétons, des avancées de trottoir, des voies de circulation modifiées, des aménagements de rues et des traitements paysagers (voir les sections séparées pertinentes pour plus de détails sur ces mesures ; la figure 2.19 est un exemple de coupe transversale conforme au concept de rues complètes). Elles réduisent également les accidents liés aux véhicules à moteur et aux piétons, ainsi que les risques encourus par les cyclistes lorsqu'elles sont dotées d'infrastructures bien conçues destinées aux cyclistes.²⁷ Elles peuvent promouvoir la marche et le vélo en offrant des lieux plus sûrs pour pratiquer une activité physique par le biais des transports, ce qui peut à son tour avoir des effets positifs sur la santé, notamment sur la réduction de l'obésité. Une étude a montré que 43 pour cent des

personnes déclarant disposer d'un lieu de promenade étaient nettement plus susceptibles de respecter les recommandations actuelles en matière d'activité physique régulière que les personnes déclarant ne pas disposer d'un lieu de promenade.²⁸

Le processus commence par l'examen de la fonction et de la forme de la rue et l'élaboration d'une hiérarchie d'utilisation par les différents modes de transport. Cette hiérarchie peut changer en fonction de la fonction de la rue et de la complexité/mixité des usagers. Ce concept est particulièrement pertinent pour les PRITI où la cohérence entre le lieu et la fonction est souvent très indistincte (voir la section 2.2 concernant la fonction des routes et l'utilisation des sols).

La conception des rues n'est pas simplement un exercice technique ou quantitatif qui doit rester figé pour des générations. La conception des rues nécessite plutôt une observation de la manière dont les gens utilisent l'espace, des conducteurs aux personnes assises sur les marches et les porches. C'est à partir de ces observations que la meilleure conception peut être élaborée.

Contrairement à la conception des autoroutes, la conception des rues est itérative. À la vitesse des autoroutes, il faut de l'uniformité et de la cohérence. Avec le ralentissement de la vitesse, les options s'élargissent. Avec plus de possibilités, il est nécessaire d'expérimenter et d'ajuster en fonction de la réaction des utilisateurs. La conception d'une rue peut toujours être améliorée. Les rues réussies ne peuvent pas être imposées, mais nécessitent un effort de collaboration entre l'autorité routière ou la municipalité et la communauté locale qu'elles desservent.

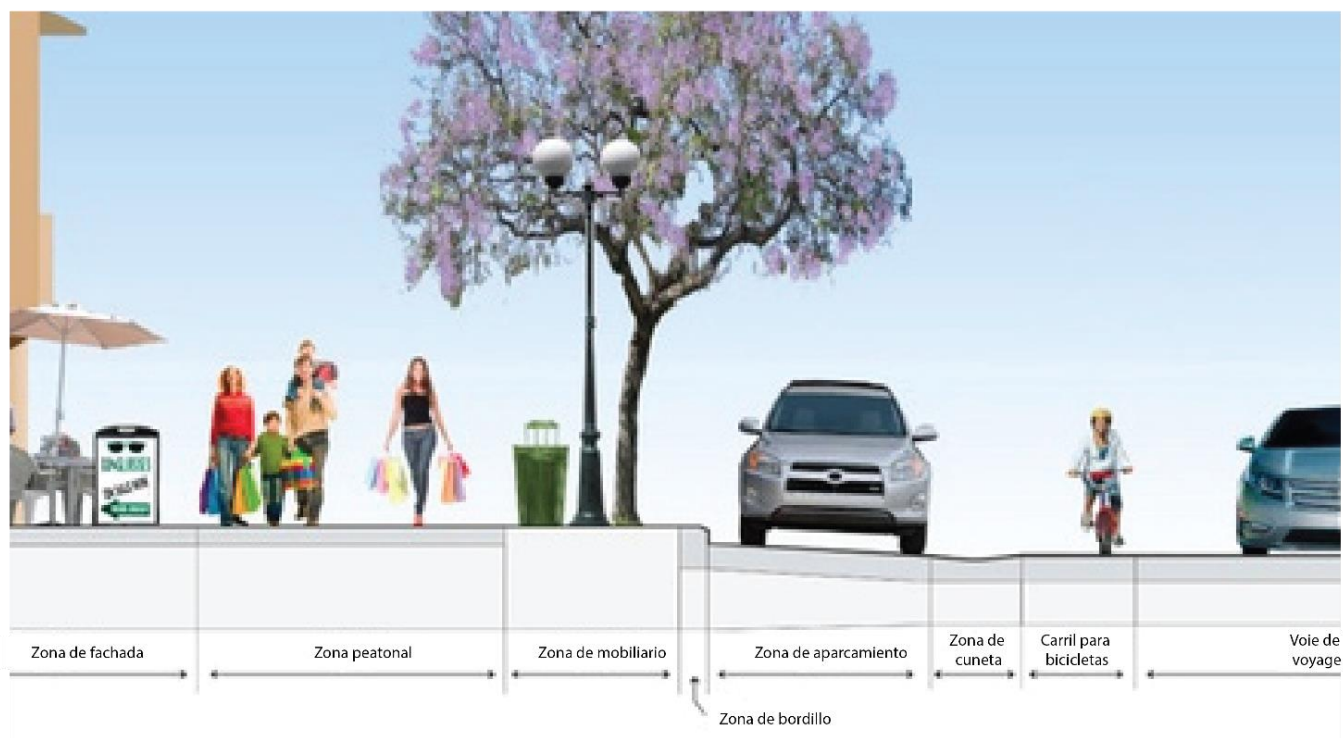
Pour en savoir plus

- NACTO. 2019. Urban Street Design Guide. Accessible à l'adresse <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/>. Chapitres à lire : Street Design Elements ; Interim Design Strategies ; Intersection Design Elements.
- NACTO. 2011. Urban Bikeway Design Guide. National Association of City Transportation Officials. Accessible à l'adresse <https://nacto.org/publication/urban-bikeway-design-guide/>. Chapitres à lire : Intersection Treatments ; Designing for All Ages & Abilities.

²⁷ Reynolds, C. C. et al. 2009. The impact of transportation infrastructure on bicycling injuries and crashes: a review of the literature. *Environmental Health* 2009, 8:47.

²⁸ Powell, K. E., Martin, L. et Chowdhury, P. P. 2003. Places to walk: convenience and regular physical activity. *American Journal of Public Health* 2003 ; 93:1519-1521.

Figure 2.19: Concept de la rue complète.



Source : Complete Streets Conference, LA, 2011.

- Active Transportation Alliance. 2012. Halupka, Paul, Lippens, Paul, Persky, Dan et Woodall, Amanda. « Complete Streets Complete Networks: A Manual for the Design of Active Transportation. » Accessible à l'adresse <http://www.atpolicy.org/Design>. À lire : chapitre 2, Typologies ; chapitre 3, Geometrics ; chapitre 4, Amenities.
- Ville de L'viv. 2019. Sustainable Urban Mobility Plan for L'viv. Accessible à l'adresse <https://www.mobiliseyourcity.net/sustainable-urban-mobility-plan-lviv>. À lire : défi 1, Traffic Safety.

2.5. Engagement communautaire

La communauté désigne les personnes dont les habitations, les lieux de travail, les établissements d'enseignement, les magasins et les installations sociales, récréatives et religieuses sont situés dans une zone géographique définie, y compris les organisations qui les représentent, telles que les organisations non gouvernementales (ONG), les organisations communautaires (OC), les groupes culturels et sportifs, les organisations de services et les organisations religieuses. (ONG), les organisations communautaires (OC), les groupes culturels et sportifs, les organisations de services et les organisations religieuses. Il s'agit des personnes qui sont directement touchées par un projet et qui peuvent en bénéficier. Les ONG peuvent inclure celles

dont les activités ne se limitent pas à la sécurité routière ainsi que celles qui se consacrent principalement, voire exclusivement, à la sécurité routière.

L'engagement communautaire est un processus systématique d'implication de la communauté locale dans l'élaboration et la mise en œuvre de programmes, de politiques et de projets de sécurité routière. Elle peut intervenir à plusieurs niveaux, allant du partage d'informations et de la consultation à la participation active aux processus de prise de décision. Les différents niveaux sont résumés dans la figure 2.20.

Dans les projets routiers, l'engagement communautaire est un processus inclusif mené tout au long du cycle de vie du projet : lors de la conceptualisation, de la conception, de la construction, de l'entretien et de l'exploitation. Il est important qu'au début de chaque phase du projet, les exigences des usagers de la route et des parties prenantes soient clairement documentées afin que le concepteur puisse comprendre comment développer une conception qui réponde à ces besoins et exigences.

Le processus doit être bien pensé et planifié, avec des programmes clairs pour les facilitateurs et les experts. Si elle est bien menée, elle renforcera l'appropriation locale et créera une interface entre les organisations chargées de la mise en œuvre de la route et la communauté. Les avantages de l'engagement communautaire sont les suivants :

- Donner l'occasion d'informer la communauté sur les raisons de la nécessité du projet, y compris les avantages en termes de sécurité et les avantages plus généraux. De cette manière, la communauté peut comprendre les options et prendre des décisions en connaissance de cause.
- Une bonne prise de décision résultant de l'accès à des informations de qualité/complémentaires.
- Établir de nouveaux réseaux et de nouvelles relations (et développer les réseaux existants).
- Une plus grande appropriation locale des solutions aux problèmes actuels et un niveau plus élevé de responsabilité dans la création de l'avenir.
- Un soutien local accru pour le changement, ou même le pouvoir de la communauté pour exiger le changement.
- Renforcer les communautés en les tenant informées des questions locales.
- Instaurer un climat de confiance entre les parties prenantes et la communauté.
- Contribuer à l'identification et au développement du leadership en matière de sécurité routière communautaire.
- Donner la parole à ceux qui ont tendance à être moins impliqués dans les processus de prise de décision ou qui rencontrent des obstacles pour y participer.

Figure 2.20: Niveaux d'engagement communautaire

Informer	Consulter	Impliquer	Collaborer	Améliorer l'autonomie
Description		Engagement		L'habilitation
<p>Participation</p> <p>Généralement, les deux premiers niveaux de participation du grand public, l'information et la consultation, ont lieu quand une décision a déjà été prise et que le gouvernement souhaite soit communiquer cette décision au public, soit recueillir des avis sur cette décision.</p>		<p>Les troisième et quatrième niveaux de participation du grand public, l'implication et la collaboration, incluent des flux d'informations à double sens ainsi que le partage d'informations au sein des communautés de parties prenantes et entre elles au cours du processus de prise de décision.</p> <p>Lors de l'engagement, les décideurs s'engagent à utiliser le retour d'information des parties prenantes pour éclairer la décision et façonner le résultat.</p> <p>Les activités menées au niveau de la collaboration sont aussi parfois désignées sous le terme de partenariat.</p>		<p>Le cinquième niveau de participation du grand public, l'habilitation, est aussi souvent désigné sous le terme de coproduction, ce qui signifie que les décisions sont prises conjointement par le gouvernement et la communauté.</p> <p>C'est généralement le cas lorsque le pouvoir décisionnel a été délégué à un groupe incluant des membres du gouvernement et de la communauté/de l'industrie.</p>
Objectifs:				
Fournir des informations équilibrées et objectives pour faciliter la compréhension du grand public.	Obtenir l'avis du grand public sur l'analyse, les alternatives et/ou les décisions.	Travailler avec le grand public pour s'assurer que ses souhaits et aspirations sont bien compris et pris en compte.	S'engager avec le grand public sur les aspects de la prise de décision, y compris l'élaboration d'alternatives et d'une solution privilégiée.	Créer des structures de gouvernance pour déléguer la prise de décision et/ou travailler directement avec le grand public.
Engagements				
Informar le grand public.	Écouter et prendre en compte les préoccupations du grand public.	Travailler avec le grand public pour échanger des informations, des idées et des préoccupations.	Rechercher des conseils et des innovations auprès de divers acteurs publics.	Travailler avec le grand public pour mettre en œuvre les décisions prises.

Source : VicRoads. 2017. VicRoads. 2017. Traffic Engineering Manual: Speed Zoning Guidelines. <https://www.vicroads.vic.gov.au/>. Adapté du Public Participation Spectrum de l'International Association for Public Participation.

- Étendre les processus démocratiques aux parties prenantes et à la communauté en ce qui concerne la sécurité routière communautaire.
- Favoriser un sentiment d'appartenance et de responsabilisation en travaillant ensemble.

L'engagement auprès d'une communauté peut être particulièrement important dans les situations où des décisions difficiles doivent être prises. À titre d'exemple, les décisions relatives à l'acquisition de terrains, à la mise en place de voies de contournement et à la modification des limitations de vitesse sont des domaines dans lesquels la communauté joue un rôle important dans l'amélioration de la sécurité. Il est important de travailler en étroite collaboration avec les communautés sur ces sujets et d'autres sujets similaires afin de s'assurer que toutes les parties prenantes contribuent aux décisions et comprennent les implications générales de ces décisions.

Le temps nécessaire à l'établissement de partenariats communautaires en vaut vraiment la peine, car les personnes concernées peuvent apporter une contribution précieuse à l'identification des problèmes et à la conception des actions, et peuvent agir en tant « qu'informateurs clés », en fournissant des données qualitatives qui peuvent aider à hiérarchiser les problèmes identifiés par l'analyse des données.

Lorsque les statistiques sur les accidents sont insuffisantes, comme c'est le cas dans de nombreux pays à faible revenu (PFR), il est encore plus important de consulter les usagers de la route afin que les connaissances locales permettent d'identifier les bons problèmes et les solutions appropriées et acceptables. Par exemple, la communauté peut fournir des informations sur les endroits dangereux (où les accidents se produisent souvent) et participer à la recherche de solutions et à l'élaboration de mesures visant à résoudre les problèmes de sécurité. Il peut s'agir de l'ajout de voies piétonnes, de glissières centrales, de l'amélioration des ponts pour les piétons, de l'amélioration de l'éclairage, de la signalisation et des clôtures, ainsi que des tracés autour des croisements dans le but de réduire la vitesse. Un résultat important de cette approche est l'information recueillie auprès de la communauté, qui n'aurait pas été disponible par le biais des processus normaux d'évaluation visuelle et de collecte et d'analyse de données. Dans le même temps, la communauté s'approprie les solutions mises en œuvre pour résoudre le problème.

L'importance de l'engagement des parties prenantes et de la divulgation d'informations est également soulignée dans le cadre économique et social (ESF) de la Banque mondiale (2016). Pour améliorer le processus d'engagement et de consultation, l'ESF propose une approche documentée :

1. Identification et analyse des parties prenantes ;
2. Élaboration d'un plan d'engagement des parties prenantes ;
3. Divulgation d'informations ;
4. Consultation sérieuse des parties prenantes ;
5. Traiter et répondre aux griefs ; et
6. Rendre compte aux parties prenantes

Défis liés à l'engagement communautaire :

- La définition des communautés peut poser des difficultés. Les organisations communautaires établies sont souvent composées de personnes influentes qui se font déjà entendre, mais qui ne sont généralement pas des usagers de la route vulnérables, c'est-à-dire des piétons et des cyclistes, ou des pauvres et des femmes. Des efforts et un suivi particuliers seront donc nécessaires pour s'assurer que les personnes les plus vulnérables sont consultées et prises en compte.
- Les partenariats communautaires impliquent des personnes concernées par les problèmes de sécurité routière et peuvent jouer un rôle important dans la résolution de ces problèmes, mais leur activité quotidienne n'est pas forcément liée à la sécurité routière. Il faudra du temps pour obtenir l'adhésion de tous et une compréhension commune du problème et de la solution.
- Le public peut s'opposer au changement ou au projet (peut-être en raison d'un manque d'informations), ce qui peut constituer un obstacle majeur à l'amélioration des routes.
- Il peut y avoir des malentendus sur le rôle et les ressources des partenaires communautaires. Par exemple, peu d'ONG auront la capacité d'entreprendre des études de recherche, alors que cette tâche leur a souvent été confiée dans un plan d'action pour la sécurité routière.
- La collecte de données peut être liée à des indicateurs clés de performance sur le lieu de travail, et le partage des données avec le public peut avoir un impact sur la perception de l'efficacité ou de l'efficacité des services gouvernementaux.

Étude de cas : Gestion de la vitesse et implication de la communauté sur la route nationale N2 au Bangladesh

La route nationale N2 relie la capitale Dhaka au district de Sylhet. Il s'agit d'une route asphaltée à deux voies à chaussée unique. Trois villages situés le long de cette route nationale ont été sélectionnés comme lieux d'intervention. Tous les villages étaient des collectivités rurales avec des activités de part et d'autre de la route nationale. Le risque d'accident de la route était élevé en raison de l'effet combiné des bus et des voitures roulant à vive allure, du nombre considérable de piétons traversant la route, du mélange de trafic à faible et à grande vitesse, du trafic provenant des routes secondaires et des véhicules changeant de vitesse pour prendre et/ou déposer des personnes (figures 2.21 et 2.22). En outre, il n'existait pas de données fiables sur les accidents de la route provenant de la police et d'autres sources.

Le programme d'intervention intégré comportait de multiples composantes, notamment un programme de participation active de la communauté, des mesures

infrastructurelles, et des interventions éducatives. Les mesures d'infrastructure consistent en des ralentisseurs, des bandes rugueuses, des passages pour piétons, des aires de bus et des marquages routiers (figures 2.23 à 2.25). Le programme comprenait des interventions éducatives pour les écoliers et des campagnes de sensibilisation pour les chauffeurs de bus et les piétons. Un système de mesure a été créé à l'aide d'un pistolet laser mesurant la vitesse (également dans des lieux de contrôle), de l'enregistrement vidéo des accidents évités de justesse et de l'intervention d'archivistes locaux (des personnes de la communauté locale qui enregistrent les données relatives aux accidents de la route).

Ces interventions ont permis de réduire la vitesse moyenne du trafic motorisé de 63,6 km/h à 51,1 km/h, soit une réduction de 12,5 km/h (19,7 %). Le nombre de morts a diminué de 67 % et le nombre de blessés graves de 59 %. Le programme a bénéficié d'un fort soutien de la part des communautés locales. Le programme d'intervention intégré, la participation active des communautés locales sont autant de réussites innovantes, et le recours à des archivistes locaux pour l'enregistrement des données relatives aux accidents de la route.

Figure 2.21: Village le long de l'autoroute.



Source : Martijn Thierry/Jasper Vet – Safe Crossings.

Figure 2.22: Bus roulant à vive allure et dépassements à proximité d'une collectivité.



Source : Martijn Thierry/Jasper Vet – Safe Crossings.

Figure 2.23: Bandes rugueuses.



Source : Martijn Thierry/Jasper Vet – Safe Crossings.

Figure 2.24: Ralentisseur.



Source : Martijn Thierry/Jasper Vet – Safe Crossings.

Figure 2.25: Passage pour piétons.



Source : Martijn Thierry/Jasper Vet – Safe Crossings

La reproduction du programme d'intervention dans d'autres pays est possible et nécessite une bonne évaluation de base, l'adaptation du programme d'intervention en fonction des résultats de l'évaluation de base, un financement approprié, la création d'une équipe de mise en œuvre solide et l'approbation des autorités, le cas échéant.

Safe Crossings (www.safe-crossings.org) a lancé et géré le programme d'intervention. La mise en œuvre a été réalisée en collaboration avec le Centre for Injury Prevention and Research Bangladesh (CIPRB) (www.ciprb.org). Pour plus d'informations, voir :

- Horst, A. R. A. van der, Thierry, M. C., Vet, J. M. et Rahman, A. K. M. F. 2017. An evaluation of speed management measures in Bangladesh based upon alternative accident recording, speed measurements, and DOCTOR traffic conflict observations. Transportation Research Part F (2016). <http://dx.doi.org/10.1016/j.trf.2016.05.006>.
- Vet, J. M., Thierry, M. C., Horst, A. R. A. van der et Rahman, A. K. M. F. 2011. The first integrated traffic speed management program benefitting vulnerable road users in Bangladesh: results and implications for LMICs. Document présenté à : la 17e conférence internationale Road Safety on Five Continents, Rio de Janeiro, Brésil, 17-19 mai 2016.

Pour en savoir plus

- Banque mondiale. 2016. Environmental and Social Standard 10: Stakeholder Engagement and Information Disclosure. Dans le cadre environnemental et social de la Banque mondiale. Washington DC : Banque mondiale. <https://www.worldbank.org/en/projects-operations/cadre-environnemental-et-social>.
- Partenariat mondial pour la sécurité routière (GRSP). 2010. Proactive Partnership Strategy: A community participation model to address road safety. https://www.gtkp.com/assets/uploads/20100807-132550-1737-GRSP%20PPS%202010_Booklet.pdf.
- Victoria State Department, Department of Transport. 2021. Context Sensitive Design for Road Projects. <https://www.vicroads.vic.gov.au/-/media/files/technical-documents-new/road-design-notes/>.

- Victoria State Department, Department of Transport. 2011. A Guide for Engaging the Community and Stakeholders in Local Road Safety Programs. <https://www.vicroads.vic.gov.au/-/media/files/documents/safety%20and%20road%20rules/vcrsppcommunityandstakeholderengagementguide.ashx>.

2.6. L'innovation

Comme indiqué à la section 1.3, il peut s'écouler de nombreuses années, voire deux décennies, entre le moment où de nouvelles solutions ou approches sont identifiées, introduites et évaluées, puis adoptées dans des orientations formelles en matière de conception.²⁹ Dans d'autres cas, il peut être nécessaire d'identifier de nouvelles solutions, parce qu'aucune solution n'existe actuellement ou que les solutions existantes ne sont pas adaptées (par exemple, elles ne produisent pas les avantages requis en matière de sécurité, elles sont trop coûteuses ou les demandes évoluent, notamment de la part des usagers de la route). Pour ces raisons, il est souvent nécessaire d'aller au-delà de ce qui est actuellement inclus dans les orientations en matière de conception afin d'atteindre les objectifs. L'innovation est souvent nécessaire pour garantir la sécurité et d'autres résultats du projet. Toutefois, cette innovation doit se faire de manière réfléchie et fondée sur des données probantes. Les risques (qu'ils soient liés à la sécurité, financiers ou autres) doivent être réduits au minimum, ce qui nécessite un processus solide. Il est également nécessaire de documenter ce processus et de partager les résultats de cet apprentissage, qu'ils soient positifs ou négatifs. De nombreuses conceptions en matière de sécurité largement utilisées aujourd'hui n'étaient pas connues il y a 20 ou même 10 ans et n'ont été largement appliquées que parce que les connaissances sur leur efficacité ont été partagées.

²⁹ Jurewicz, C. 2017. Innovation and Safe System Road Infrastructure, Actes de la Conférence australasienne sur la sécurité routière 2017, Perth, Australie.

Il existe un certain nombre de raisons pour lesquelles certaines conceptions et interventions très efficaces ne sont pas utilisées dans certains pays. Le *PIARC Road Safety Manual*³⁰ propose les raisons suivantes en ce qui concerne les interventions de sécurité routière :

- Manque de connaissances sur le traitement et son efficacité;
- Manque d'expérience en matière d'installation et d'entretien d'un traitement;
- Questions relatives à la transférabilité et aux différences de conditions locales;
- Inquiétude quant à la responsabilité juridique en cas de problème;
- Inquiétude quant à la compréhension ou à l'acceptabilité par le public.

Il convient d'être prudent lorsque l'on tente des approches novatrices et les nouvelles conceptions doivent être testées et il doit être démontré qu'elles ont des effets positifs et aucun impact négatif inacceptable avant d'être mises en œuvre à plus grande échelle. Cela peut impliquer l'identification d'études de cas positives dans d'autres juridictions et des analyses plus approfondies (y compris des examens de la littérature sur l'efficacité et les impacts plus larges ; la communication avec ceux qui ont essayé une approche innovante), des essais à petite échelle (sur route, ou hors route si les risques sont élevés), une mise en œuvre à plus grande échelle (y compris dans le cadre de projets de démonstration) et enfin l'adoption complète. Chaque étape nécessite un suivi et une documentation minutieux ; en fonction des enseignements tirés de chaque étape, il peut être nécessaire de procéder à des ajustements.

Urbanisme tactique

L'urbanisme tactique (également connu sous le nom de guérilla ou d'urbanisme pop-up) est une approche citoyenne de la construction communautaire caractérisée par des interventions à court terme, peu coûteuses et évolutives destinées à catalyser des changements à long terme. Elle est généralement appliquée dans le cadre de projets de démonstration et de projets pilotes/intérimaires pour des périodes définies afin d'impliquer le public dans l'élaboration de la ville et de tester les conceptions avant d'investir. L'urbanisme tactique s'est également avéré être un outil puissant pour les villes pour répondre à la pandémie de COVID-19, en raison de son faible coût et de sa rapidité de mise en œuvre. Par exemple, des villes ont

transformé leurs rues en utilisant de la peinture, de la craie, des barricades et d'autres matériaux peu coûteux pour augmenter l'espace réservé à la marche et au vélo, afin d'aider les gens à se déplacer tout en conservant une certaine distance physique.

Étude de cas : Amélioration du carrefour HP, Mumbai, Inde

En 2017, le WRI Inde s'est associé à la police de la circulation de Mumbai et à la municipalité de Mumbai pour auditer et améliorer les carrefours à haut risque à travers la ville dans le cadre de l'initiative Bloomberg Philanthropies pour la sécurité routière mondiale. Le carrefour de la pompe à essence HP à Mumbai a été choisie pour le premier essai. Il y a plusieurs décennies, il s'agissait d'un carrefour giratoire qui reliait trois artères. Ce carrefour giratoire a été supprimé par la suite afin d'augmenter la capacité de circulation. Cependant, le carrefour est resté très large, ce qui a rendu sa traversée dangereuse tant pour les automobilistes que pour les usagers vulnérables de la route. Avant la transformation, les schémas de mobilité au carrefour ont été étudiés et ont montré que plus de 5 000 véhicules et un nombre équivalent de piétons traversaient le carrefour pendant les heures de pointe. Malheureusement, aucune infrastructure n'était prévue pour les usagers vulnérables de la route et les autorités de la ville s'étaient jusqu'alors principalement préoccupées de la capacité des véhicules

Le réaménagement proposé impliquait la création d'une infrastructure réservée aux piétons et la redistribution de l'espace pour accueillir tous les usagers de la route. Il s'agissait notamment d'élargir les trottoirs, de prolonger les terre-pleins centraux et d'y aménager des zones de refuge pour les piétons, de récupérer l'espace des zones résiduelles du carrefour pour créer des îlots de refuge, de récupérer l'espace des voies d'accès pour créer des espaces publics et de rationaliser les voies de circulation pour assurer la fluidité du trafic. Cette conception a permis de créer une zone de carrefour compacte et de réduire les distances de traversée des piétons de 50 %.

Un essai (utilisant de la craie, de la peinture et des barricades appliquées et installées pendant la nuit) a d'abord été testé pendant 45 jours. Cela a permis de mener une série d'entretiens avec des piétons, des agents de la circulation, des résidents et des commerçants, afin de recueillir des commentaires et des suggestions qui ont été pris en compte dans la conception finale. Le nombre de collisions au carrefour a également été analysé au cours de

³⁰ <https://roadsafety.piarc.org/>.

l'essai, ce qui a montré que la vitesse moyenne des véhicules a diminué de 15 % et que les conflits à risque élevé, moyen et faible ont été réduits de 71 %, 68 % et 60 %, respectivement. En outre, les données recueillies ont montré que la capacité du trafic n'a pas été affectée négativement et que, dans certains cas, la circulation s'est améliorée grâce à des mouvements plus rationnels et plus clairs. À la suite de cet essai réussi, les autorités de la ville ont décidé de mettre en œuvre de manière permanente la conception recommandée en décembre 2018. Les figures 2.26 à 2.28 montrent la transformation du carrefour.

Comme nous l'avons suggéré plus haut, un processus approfondi et documenté est nécessaire pour innover. Les étapes suivantes sont adaptées du PIARC Road Safety Manual :

- Connaître son problème. Identifier le type d'accident visé, le type d'usager de la route et les lieux à cibler.
- Identifier les solutions possibles. Il peut s'agir de solutions utilisées à l'étranger ou d'une adaptation d'un traitement existant.
- Évaluer les solutions. Il est important de mener des recherches approfondies sur les traitements afin de s'assurer qu'ils sont susceptibles d'être bénéfiques pour les résultats en matière de sécurité dans ce nouveau contexte, et qu'ils sont susceptibles d'être appliqués ailleurs, ainsi que pour d'autres objectifs politiques. Cette évaluation peut être basée sur l'expérience documentée d'autres agences routières. Pour les traitements plus récents, des simulateurs de conduite sont parfois utilisés pour déterminer les effets probables. Dans certains cas, les traitements peuvent être installés dans un environnement contrôlé (par exemple, hors route ou dans une zone à faible vitesse) afin de déterminer les effets probables.
- Essayer la solution sélectionnée. Un projet de démonstration peut être un moyen efficace de tester le traitement dans un contexte spécifique et dans un environnement contrôlé. Cela peut également aider à préparer un déploiement plus large.

Figure 2.26: Avant l'amélioration du carrefour HP en mars 2017.



Source : © Saurabh Jain/WRI India.

Figure 2.27: Magasins empiétant sur les voies piétonnes et figure 2.27 : Des interventions temporaires à faible coût ont été mises en œuvre (avec de la peinture, de la craie et des barricades) pendant l'essai (avril 2017).



Source : © Saurabh Jain/WRI India.

Figure 2.28: Les changements ont été rendus permanents en décembre 2018.



Source : © Saurabh Jain/WRI India.

Systèmes de transport intelligents

Les systèmes de transport intelligents (STI) sont définis comme un ensemble de systèmes d'information et de communication qui fonctionnent en harmonie pour fournir des services de transport et de gestion du trafic. Les STI rassemblent diverses technologies telles que la collecte de données, la communication, l'exploration de données, l'apprentissage automatique, l'intelligence artificielle et la gestion de bases de données pour fournir des applications destinées à améliorer l'efficacité et la sécurité des systèmes de transport.

L'utilisation des STI sur les routes et les rues continue de croître en termes de couverture et de diversité des technologies et des applications, telles que les panneaux d'indication de la vitesse, les systèmes d'alerte active aux carrefours ruraux, la régulation informatisée des feux de signalisation, les systèmes de gestion des incidents, les systèmes de contrôle de la circulation, l'adaptation intelligente de la vitesse, les véhicules connectés et autonomes, ainsi que les systèmes de gestion des situations d'urgence. Les STI modifient considérablement les interactions entre les usagers de la route et les solutions STI peuvent contribuer à la sécurité routière. Par exemple, on a constaté que les systèmes de contrôle avancé des feux de signalisation (ATSC), qui visent à optimiser le cycle des feux de signalisation en fonction du flux de circulation, réduisaient les collisions angulaires aux carrefours jusqu'à 19,3 % dans le Michigan (États-Unis) ^a et réduisaient le nombre total de collisions de 34 % et les collisions mortelles et avec blessés de 45 % en Pennsylvanie (États-Unis). ^b Bien que les preuves de la sécurité de ces nouvelles solutions d'infrastructure continuent de s'accumuler, les praticiens devraient être ouverts à la possibilité que les solutions STI puissent produire des résultats significatifs en matière de sécurité. (voir 3.2, Speed management and traffic calming for an example of speed feedback signs, Woolley, J., Stokes, C., Turner, B., and Jurewicz, C. 2018. Vers une infrastructure des systèmes de sécurité : recueil des connaissances actuelles (N° AP-R560-18), Austroads, pour un certain nombre d'exemples d'infrastructures STI).

a. Fink, J., Kwigizile, V. et Oh, J. S. 2016. Quantifying the impact of adaptive traffic control systems on crash frequency and severity: Evidence from Oakland County, Michigan. *Journal of safety research*, 57, 1-7.

b. Khattak, Z. H. 2016. Evaluating the Operational & Safety Aspects of Adaptive Traffic Control Systems in Pennsylvania (Doctoral dissertation, University of Pittsburgh).

- Contrôler, analyser et évaluer l'essai. S'assurer que les résultats sont conformes aux attentes et qu'il n'y a pas d'effets négatifs sur la sécurité des usagers de la route. Cette évaluation doit comprendre une évaluation du rapport coût-efficacité des nouveaux traitements, en particulier par rapport à une option existante.
- Déployer la solution à plus grande échelle. Poursuivre le suivi et l'évaluation des traitements, y compris l'analyse des collisions une fois que des données suffisantes auront été collectées. Inclure des informations sur la conception et le fonctionnement dans les documents d'orientation.
- Informer les autres. Si le nouveau traitement est efficace, il est important d'en informer les autres. Les informations sur les traitements qui n'ont pas donné de bons résultats sont également très importantes pour la communauté internationale de la sécurité routière.

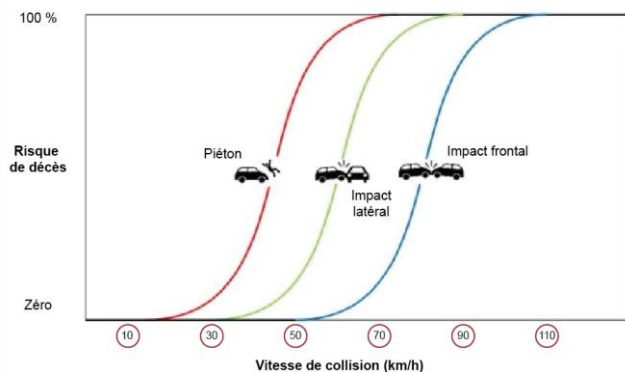
Pour en savoir plus

- Lydon, M., Garcia, A. et Duany, A. 2015. *Tactical Urbanism: Short-term Action for Long-term Change*. Island Press. <https://sci-hub.do/https://doi.org/10.1080/01944363.2015.1054708>.
- Street Plans. 2020. *Tactical Urbanist's Guide to getting it done*. <http://tacticalurbanismguide.com/guides/>.
- Lydon, M., Pascoe, C. et Stace, S., 21 juillet 2020. *Tactical urbanism—Streets for people* [webinaire]. Austroads. <https://vimeo.com/441917563>.
- Tak, R. et Rizzon, B., 14 mars 2019. *Transforming streets and public spaces with tactical urbanism* [webinaire] World Resources Institute. <https://thecityfixlearn.org/webinar/transforming-streets-and-public-spaces-tactical-urbanism>.
- Bhatt, A., Mascarenhas, B. et Ashar, D., 4 mars 2019. *Redesigning one of Mumbai's most dangerous intersections in 3 simple steps*. The City Fix. <https://thecityfix.com/blog/redesigning-one-mum-bais-dangerous-carrefours-3-simple-steps-am-it-bhatt-binoy-mascarenhas-dhawal-ashar/>.

3. ASPECTS ESSENTIELS DE LA CONCEPTION DES ROUTES DANS LE CONTEXTE D'UNE INGÉNIERIE SÛRE

La vitesse est un aspect important étroitement lié à la conception des routes. Dans la conception des routes, la « vitesse de conception » est utilisée comme contrôle de la conception et sert à déterminer les différentes caractéristiques géométriques de la chaussée. La vitesse de conception supposée doit être logique par rapport à la topographie, à la vitesse d'exploitation prévue, à l'utilisation des terrains adjacents et à la classification fonctionnelle de la route. En revanche, la vitesse de déplacement ou « vitesse d'exploitation » est la vitesse à laquelle les véhicules circulent généralement sur une route. La vitesse excessive est le facteur le plus important dans les accidents mortels et graves. Lorsqu'un piéton est heurté par une voiture à 30 km/h, il a des chances raisonnables de survivre, mais au-delà, ces chances diminuent considérablement. Le seuil critique pour les voitures entrant en collision à un carrefour est de 50 km/h, au-delà duquel les chances de survie diminuent rapidement. Pour les collisions frontales, le chiffre est de 70 km/h pour des véhicules bien conçus et de masse égale (figure 3.1). Une gestion efficace de la vitesse peut avoir des effets bénéfiques importants en termes de sécurité et d'autres résultats positifs sur les routes urbaines, interurbaines et rurales

Figure 3.1: Courbes de vitesse/risque d'accident.



Source : Greater Wellington Regional Council, Survivable Speeds, Wellington, Nouvelle-Zélande. 2015. Pour plus d'informations, voir www.gw.govt.nz/survivable-speeds/.

3.1. Vitesse de conception et vitesse de fonctionnement

Description générale

La vitesse de conception est définie comme « la vitesse maximale de sécurité qui peut être maintenue sur une section donnée d'une route lorsque les conditions sont si favorables que les caractéristiques de conception de la route l'imposent ». Dans de nombreux pays, il existe également des concepts de vitesse de conception réglementaire et de vitesse de conception minimale pour un type particulier d'installation. Bien que l'idée soit d'utiliser la vitesse de conception réglementaire pour la conception des éléments géométriques, elle ne doit en aucun cas être inférieure à la vitesse de conception minimale pour cette installation. La vitesse minimale de conception est particulièrement cruciale pour éviter une conception de qualité inférieure en raison de restrictions liées à la disponibilité des terrains, etc.

Malheureusement, le concepteur ne dispose que de peu de variables pour communiquer la vitesse de conception à un conducteur, en particulier en dehors des agglomérations (urbaines). La relation entre la vitesse de conception réglementaire, le rayon des courbes et leur dévers, c'est-à-dire la demande de frottement latéral, doit être cohérente, de même que la distance de visibilité vers l'avant le long de l'itinéraire ou aux carrefours. Par conséquent, le niveau d'exigence à l'égard du conducteur est très important. Voir la section 2.2 pour plus d'informations sur le principe de prévisibilité et « d'absence de surprises ».

Les paramètres intègrent des facteurs de sécurité importants qui dépendent de la vitesse de conception choisie. Dans la mesure du possible, la route doit être conçue pour fonctionner à une vitesse égale ou légèrement supérieure (5 km/h) à la limite de vitesse affichée. Cela peut être évalué en effectuant un « test de sensibilité » de la

conception pour les conducteurs roulant à des vitesses plus élevées. L'évaluation du dévers dans les courbes et des exigences en matière de distance de visibilité sont deux exemples de la manière dont cela pourrait être réalisé. Cependant, il faut reconnaître que la géométrie n'est pas un mécanisme approprié pour contrôler la vitesse, principalement parce qu'elle dépend trop de l'interprétation et des sensations du conducteur. Ceci est particulièrement important, par exemple, lorsque des lignes droites horizontales et des pentes droites sont utilisées sur un terrain généralement plat.

Dans la pratique actuelle, le terme « vitesse de fonctionnement » est défini comme la vitesse à laquelle les conducteurs sont observés en train de conduire leur véhicule dans des conditions de circulation normale. Cette vitesse peut ne pas être sûre et ne doit pas être utilisée pour définir la limite de vitesse appropriée. Le 85e percentile de la distribution des vitesses observées est la mesure la plus fréquemment utilisée de la vitesse d'exploitation associée à un lieu ou à une caractéristique géométrique particulière (Fitzpatrick et al. 1995). Cependant, il existe de nombreuses définitions de la vitesse d'exploitation (NCHRP 2003). (Voir les références dans la section « Pour en savoir plus »)

La vitesse affichée ou limite de vitesse est la vitesse indiquée par un panneau réglementaire. Elle est utilisée dans la plupart des pays pour fixer la vitesse maximale ou minimale légale à laquelle les véhicules routiers peuvent circuler sur un tronçon de route donné. Les limites de vitesse sont souvent proches du 85e percentile de la vitesse d'exploitation de l'installation, mais comme souligné ci-dessus, cette mesure ne devrait pas être utilisée pour fixer des limites de vitesse pour les routes existantes. Toutefois, dans de nombreux pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure (PRITI), les limitations de vitesse sont fixées à des niveaux trop élevés compte tenu de l'état des corridors routiers (géométrie et bord de route) et de la diversité et du volume des usagers de la route, en particulier à proximité des agglomérations et des zones de marché où les piétons et les cyclistes sont nombreux. Il devient donc difficile de garantir des conditions de voyage sûres dans ces circonstances et plusieurs interventions liées à l'infrastructure et à l'application de la loi deviennent essentielles.

Conséquences pour la sécurité

S'il est possible de définir la relation entre la vitesse d'exploitation et la limite de vitesse affichée, l'association entre la vitesse de conception et la vitesse d'exploitation ou la limite de vitesse affichée ne peut être définie avec le même degré de confiance. En outre, vous trouverez ci-dessous les problèmes les plus courants qui peuvent se

poser lorsque l'on travaille avec la vitesse de conception.

- Tout d'abord, il est possible qu'en raison de normes de conception plus strictes et des conditions de circulation existantes, la vitesse d'exploitation d'une installation donnée soit supérieure à la vitesse de conception. Cette vitesse de fonctionnement élevée entraînerait des conditions dangereuses pour l'utilisation actuelle des terres et mettrait en danger les usagers de la route de l'installation.
- D'autre part, il est également possible qu'en raison de restrictions liées aux conditions du site, la vitesse de conception minimale n'ait pas pu être respectée, ce qui soulève la question de la cohérence de la conception.
- En outre, les éléments de conception qui utilisent la vitesse minimale de conception comme critère peuvent conduire à une conception de valeur qui ne conduit pas toujours à des performances plus sûres.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- La fixation d'une vitesse d'exploitation maximale cible est souvent très importante, en particulier dans les PRITI, où les contrôles de vitesse sont le plus souvent inexistant.
- Il est également essentiel de recourir à des interventions de sécurité routière fondées sur l'infrastructure et sur le contrôle de l'application de la loi pour contribuer à limiter la vitesse maximale d'exploitation dans un établissement.
- L'importance de ces interventions est accrue lorsque la différence entre la vitesse d'exploitation et la limite de vitesse affichée est élevée et la conséquence d'une vitesse d'exploitation plus élevée peut conduire à des accidents mortels ou graves.
- La gestion de la vitesse basée sur l'infrastructure devrait idéalement limiter les vitesses à des niveaux sûrs, ce qui correspond sans doute à la vitesse de conception. Souvent, cela ne suffit pas pour assurer la sécurité des opérations.

Pour en savoir plus

- Rapport 504 du NCHRP. 2003. « Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed Practices. » National Cooperative Highway Research Program, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, DC. ISBN 0-309-08767-8 À lire : chapitre 3, Interpretation, Appraisal, Applications.
- Fitzpatrick, K., Blaschke, J. D., Shamburger, C. B., Krammes, R. A. et Fambro, D. B. 1995. « Compatibility of Design Speed, Operating Speed, and Posted Speed. » Rapport

final FHWA/TX95/1465-2F. Texas Department of Transportation, College Station, TX. À lire : 5, Concerns with design speed, operating speed, and posted speed relationships ; 7, Conclusions and recommendations

3.2. Gestion de la vitesse et ralentissement de la circulation

Description générale

Une gestion efficace de la vitesse implique d'identifier l'usage fonctionnel réel de la route pour les différentes parties du réseau (en tenant compte de tous les groupes d'utilisateurs de la route), de choisir une limitation de vitesse sûre correspondant à cet usage et de fournir l'infrastructure appropriée pour supporter ces limitations de vitesse si nécessaire (voir également la discussion de la section 2.2 sur les routes qui s'expliquent d'elles-mêmes ou qui sont prévisibles). Il peut s'agir de mettre au point des traitements visant à renforcer le changement de l'environnement routier et les exigences en matière de vitesse.

Elle peut également nécessiter le soutien de la police pour faire respecter les vitesses requises, en particulier lorsque

l'adéquation entre la vitesse de sécurité, la vitesse de conception et la limitation de vitesse n'a pas été suffisamment prise en compte dans le processus de conception. De plus en plus, les technologies embarquées aident à garantir le respect des vitesses appropriées.

En ce qui concerne la conception des routes, la gestion de la vitesse doit être fortement soutenue par l'infrastructure routière afin que les usagers de la route puissent comprendre clairement les vitesses qui leur sont imposées. En particulier dans les environnements où la vitesse est plus faible, les routes bien conçues contribuent également de manière significative au choix de la vitesse par l'utilisateur de la route. Cela peut souvent être réalisé grâce à des mesures de ralentissement de la circulation, notamment :

- Point de passage à l'entrée des agglomérations et/ou gestion de la vitesse et ralentissement de la circulation le long des routes dont le besoin d'accès est plus important en raison du changement d'utilisation des sols.
- Rétrécissement du champ d'application :
 - Élargissement des trottoirs,
 - Ajout de bornes ou de jardinières, ajout d'une bande cyclable ou d'un parking dans la rue,
 - Élargissement de la ligne médiane (figure 3.2),
 - Les extensions de trottoirs et les constructions (figure 3.3),
 - Réduire la largeur de la chaussée aux passages pour piétons,

Figure 3.2: Rétrécissement de la chaussée, délinéateurs et ralentisseurs.



Source : Afukaar F. K. 2008. Evaluating Road Safety Interventions: The case of Ghana. Accessible à l'adresse https://rtirn.net/PDFs/Evaluating_Road_Safety_Intervention_The_case_of_Ghana.pdf. 12 décembre 2019.

Figure 3.3: Rétrécissement de la route avec des îlots de circulation et des bordures prolongées.



Source : Ghana Highway Authority, 2007.

Figure 3.4: Bandes rugueuses sur l'autoroute.



Source : © Sudeshna Mitra/GRSF/Banque mondiale.

- Chokers (rétrécissement localisé),
- Les réaménagements routiers qui réattribuent l'espace dans une rue, par exemple en autorisant le stationnement d'un côté ou des deux côtés d'une rue afin de réduire le nombre de voies de circulation, ou en ajoutant une voie de virage centrale, et
- des refuges pour piétons ou de petits îlots au milieu de la rue pour réduire la largeur des voies.
- La déflexion verticale, ou l'élévation d'une partie de la surface de la route en tant que plate-forme, peut créer une gêne pour les conducteurs roulant à grande vitesse, y compris l'utilisation de :
 - Ralentisseurs, dos d'âne, coussins et tables,
 - Passages piétons et carrefours surélevés,
 - Tremplins de vitesse,
 - Modification du matériau ou de la texture de la surface, et
 - Bandes rugueuses (figure 3.4).
- Déflexion horizontale qui oblige les véhicules à dévier légèrement et qui comprend les chicanes, les îlots pour piétons, les extensions de trottoir et les étranglements. Les carrefours giratoires permettent également de réduire la vitesse grâce à ce mécanisme.
- Mesures de blocage ou de restriction de l'accès visant à bloquer ou à restreindre l'accès, par exemple :
 - Les dispositifs de déviation centraux pour empêcher les virages à gauche ou les mouvements de transit dans une zone résidentielle.
 - La transformation d'un carrefour en cul-de-sac ou en impasse.

Figure 3.5: Rétrécissement de la route avec des îlots de circulation et des bordures prolongées.



Source : Ghana Highway Authority, 2007.

Figure 3.6: Rue en Colombie avec une bande rugueuse de fortune.



Source : © Soames job/GRSF/Banque mondiale.

- Barrière levante, limitant la circulation aux seuls véhicules autorisés.
- Fermeture de rues pour créer des zones piétonnes.

Il convient de noter que les gens comprennent généralement le risque élevé lié à la vitesse et souhaitent souvent que celle-ci soit réduite sur les routes qui traversent les villes et les zones d'habitation. Il est toutefois préférable que la conception des ralentisseurs et autres infrastructures de ralentissement de la circulation ne soit pas laissée aux communautés qui se sentent négligées, comme le montrent les figures 3.5 et 3.6.

Conséquences pour la sécurité

- Une gestion efficace de la vitesse peut réduire la vitesse de déplacement des véhicules, ce qui a des effets bénéfiques sur la sécurité.
- Lorsque des vitesses sûres sont pratiquées (en fonction des activités requises sur la route et en bordure de route), la fréquence et la gravité des collisions peuvent être considérablement réduites (jusqu'à 60 % de réduction du

nombre de morts et de blessés graves, voire plus).³¹

- Même avec des changements mineurs de la vitesse, il peut y avoir des avantages significatifs en termes de sécurité.
- Une gestion appropriée de la vitesse peut réduire le besoin de contrôle de la vitesse par la police, libérant ainsi des ressources pour d'autres activités de contrôle.
- Au-delà de la sécurité routière, les avantages sont nombreux : incitation à l'utilisation de modes de transport actifs (en particulier la marche et le vélo, qui ont des effets bénéfiques sur la santé), réduction des émissions, du bruit et de la consommation de carburant, et espace plus « vivable » pour les résidents et les visiteurs.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/ solutions

Les facteurs actuels de mise en œuvre du ralentissement de la circulation sont les suivants :

- Pour un effet maximal, il convient de combiner les mesures de ralentissement de la circulation, de préférence dans le cadre d'une stratégie de transport intégrée.
 - L'engagement de la communauté sur les avantages en matière de sécurité peut être nécessaire pour éviter les réactions négatives du public en raison des inconvénients perçus et de l'idée erronée d'une augmentation des blessures. Il convient d'en tenir compte dans les calendriers de réalisation des projets.
 - Le cas échéant, les projets doivent être conçus de manière à ne pas gêner les cyclistes, les services d'urgence essentiels et les autres véhicules lourds.
 - Le rétrécissement des voies de circulation des véhicules permet de réduire la vitesse et d'offrir de l'espace aux modes de transport durables.
 - Il convient de recourir à des solutions de ralentissement de la circulation efficaces en termes de coûts.
 - Dans de nombreux cas, des options moins coûteuses (comme le marquage de lignes pour rétrécir les voies plutôt que des îlots entièrement construits) peuvent être aussi efficaces.
 - Il est également important de surveiller les effets des traitements, en commençant éventuellement par le moins coûteux, afin de bien comprendre la contribution de chacun et, par conséquent, de savoir où l'on obtient la valeur la plus élevée.
- Une signalisation claire peut être nécessaire, en particulier pour les dispositifs isolés de ralentissement de la circulation, afin d'alerter les usagers de la route et d'éviter que les mesures de modération du trafic ne deviennent des dangers pour la circulation. Certains types de traitement peuvent constituer un danger pour la route ou le bord de la route.
 - Les limitations de vitesse doivent être cohérentes et adaptées à la fonction, à la norme et à l'utilisation de la route.
 - Les ralentisseurs et autres dispositifs doivent être bien conçus pour offrir un maximum d'avantages en termes de sécurité. Les conceptions non standardisées qui ne sont pas bien comprises par les usagers de la route peuvent créer un danger.
 - Certains types de traitement (ralentisseurs, bandes rugueuses, chicanes) peuvent constituer des dangers en bordure de route s'ils ne sont pas correctement conçus, signalés et entretenus.
 - Les limitations de vitesse doivent sembler réalistes et crédibles pour que les conducteurs les respectent.
 - L'entretien des infrastructures de ralentissement de la circulation doit être prioritaire après leur mise en œuvre afin de garantir une sécurité continue.
 - En tant que mesure interactive de ralentissement de la circulation utilisant des technologies, un panneau de retour d'information sur la vitesse (également appelé panneau de retour d'information du conducteur ou panneau à message variable) est utilisé dans certains pays tels que l'Australie, le Canada, le Royaume-Uni et les États-Unis. Un panneau d'information sur la vitesse est généralement constitué d'une série de diodes électroluminescentes (DEL) qui indiquent la vitesse réelle du véhicule aux conducteurs qui s'approchent du panneau (figure 3.7). Une étude américaine a montré que les panneaux d'information sur la vitesse peuvent s'avérer efficaces pour réduire les vitesses moyennes et les vitesses du 85e percentile dans diverses

³¹ Damsere-Derry, J., Ebel, B. E., Mock, C. N., Afukaar, F., Donkor, P. et Kalowole, T. O. 2019. Evaluation of the effectiveness of traffic calming measures on vehicle speeds and pedestrian injury severity in Ghana. *Traffic Injury Prevention*, 20(3), 336–342.

situations³² (voir 5.13 Panneaux de signalisation pour l'installation des panneaux).

Ce ralentisseur non signalé (figure 3.8) augmente le risque d'accident de la route par rapport à un marquage adapté (figure 3.9), car les automobilistes ne voient pas le

ralentisseur. Les ralentisseurs et autres mesures de ralentissement de la circulation doivent être clairement signalés et signalisés. Des fonds suffisants doivent être alloués à leur entretien.

Figure 3.7: Panneau d'information sur la vitesse.



Source : Richard Drdul/FHWA.

Figure 3.8: Ralentisseur non signalé (« invisible ») – Zanzibar.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 3.9: Ralentisseur à marquage pour le ralentissement de la circulation



Source : © James Robert Markland/Banque mondiale

³² Forbes, G., Gardner, T., McGee, H. W. et Srinivasan, R. 2012. Methods and practices for setting speed limits: An informational report (n° FHWA-SA-12-004). États-Unis. Administration fédérale des autoroutes. Bureau de la sécurité.

Études de cas

Infrastructures de ralentissement de la circulation en Afrique du Sud

Figure 3.10: Passage piéton surélevé et cercle miniature



Source : Arrive Alive. Ralentissement de la circulation, réduction de la vitesse et sécurité routière ; modération du trafic et sécurité des piétons. Accessible à l'adresse <https://www.arrivealive.mobi/>. 17 décembre 2019.

Figure 3.11: Utilisation d'infrastructures mixtes de ralentissement de la circulation – rétrécissements, ralentisseurs et délinéateurs



Source : Arrive Alive

En Afrique du Sud, plus de 35 % des victimes d'accidents de la route sont des piétons. En raison de fonds limités, l'autorité routière sud-africaine fait appel à un système de priorité pour les infrastructures de ralentissement de la circulation. Les demandes de mise en œuvre de mesures de ralentissement de la circulation telles que les ralentisseurs, les passages pour piétons surélevés et les cercles miniatures (comme le montrent les figures 3.10 et 3.11 ci-dessus) émanent du public, des conseillers, des membres du personnel et des observations des autorités. Un échantillon des résultats obtenus en Afrique du Sud montre que les ralentisseurs de trafic ont amélioré la sécurité en matière de gravité des collisions. Les collisions graves entre piétons et véhicules ont diminué de 23 % et 22 %, tandis que les collisions mortelles ont diminué de 68 % et 50 % dans certaines régions.^a

Le ralentissement de la circulation s'est avéré efficace dans la réduction du nombre de collisions entre piétons et véhicules. Cependant, il doit être complété par des mesures supplémentaires destinées à améliorer davantage la sécurité des piétons.

a Nadesan-Reddy, N., et Knight, S. 2013. The effect of traffic calming on pedestrian injuries and motor vehicle collisions in two areas of the eThekweni Municipality: A before-and-after study. SAMJ: South African Medical Journal, 103(9), 621-625.

Figure 3.12: Les enfants n'avaient pas de point de passage sûr et dédié et étaient très souvent en conflit permanent avec les automobilistes.



Source : (à gauche) Lusaka Times. École primaire Vera Chiluba : restructuration routière qui promeut la sécurité routière. Accessible à l'adresse <https://www.lusakatimes.com/2019/11/11/why-we-support-mayor-sampa-lowering-of-speed-limits-around-schools/>. 17 décembre 2019. (à droite) Guardian News & Media Limited. Pourquoi les routes du Ghana sont-elles si meurtrières ? Le dernier décès en date suscite la fureur des habitants d'Accra. Accessible à l'adresse <https://www.theguardian.com/cities/2018/nov/27/why-are-ghanas-roads-so-deadly-latest-fatality-sparks-fury-in-accra-adenta-madina>. 19 décembre 2019.

Figure 3.13: Les écoliers sont protégés par un passage zébré surélevé qui constitue en soi un élément de ralentissement de la circulation.



Source : (à gauche) Lusaka Times, (à droite) Poswayo A. Street Shaper. Décembre 2018. Accessible à l'adresse <https://globaldesigningcities.org/2018/12/12/street-shaper-december-2018/>. 19 décembre 2019.

Infrastructures de ralentissement de la circulation dans les zones scolaires en Zambie et au Ghana

Le Zambia Road Safety Trust (ZRST) est préoccupé par les répercussions du trafic routier sur les enfants. En 2014, environ 1 550 enfants ont été tués ou blessés sur les routes. Le maire de Lusaka et le ZRST prévoient de réduire les limitations de vitesse dans toutes les zones scolaires de 40 km/h à 30 km/h, comme cela est généralement le cas. Cela est possible grâce à l'amélioration de l'infrastructure piétonne : voies piétonnes, passages zébrés, ralentisseurs, panneaux de signalisation, etc. (voir les figures 3.12 à 3.14 pour des photos avant/après).

Ces améliorations font partie du programme School Area Road Safety Assessments and Improvement (SARSAI) de l'ONG Amend, axé sur la réduction des blessures à proximité des zones scolaires en Afrique urbaine, où l'on sait que les enfants courent un risque très élevé d'être victimes d'un accident de la route.

Figure 3.14: Installation d'un plateau ralentisseur avec marquage de damier. À gauche : avant l'intervention ; à droite : après l'intervention.



Source : safe-crossings.org.

Pour en savoir plus

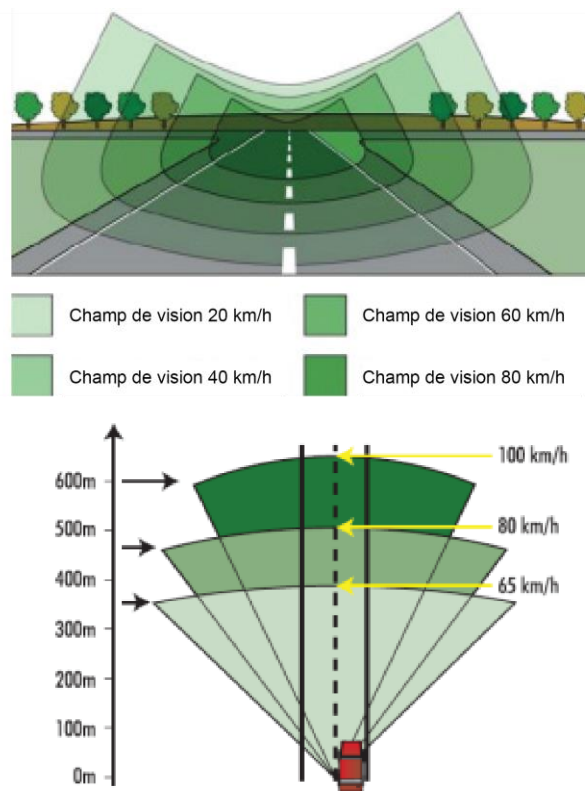
- South Central Regional Council of Governments. 2008. Traffic Calming Resources Guide. À lire : chapitre 2, Toolbox ; chapitre 3, Contents.
- GRSP Speed Management: A guide for practitioners and policy makers. GRSP, Genève. À lire : annexe 4 et chapitre 3 sous le sous-titre 3.4.
- FHWA Traffic Calming Guidelines. À lire : chapitre 1, Introduction et annexe A.

3.3. Distance de visibilité

Description générale

- La distance de visibilité est nécessaire pour que les conducteurs disposent d'un temps de réaction et de manœuvre (y compris le freinage) suffisant afin de s'adapter aux conditions de la route.
- La distance de visibilité à des fins de décision est assurée dans les situations complexes ou inattendues et permet d'augmenter le temps de décision.
- Selon des recherches sur les facteurs humains, les conducteurs ont besoin de 4 à 6 secondes pour réagir à une nouvelle situation, soit 110 à 170 m devant eux si la vitesse est limitée à 100 km/h ou 90 à 135 m si la vitesse est limitée à 80 km/h. Plus les gens conduisent vite, plus ils doivent projeter leur regard et inversement (figure 3.15), afin de pouvoir lire, comprendre, et réagir à temps à un danger. Les panneaux d'avertissement et d'information peuvent parfois être placés de sorte

Figure 3.15: Exemple du lien entre la vitesse et la vision périphérique et entre la vitesse et le point focal.



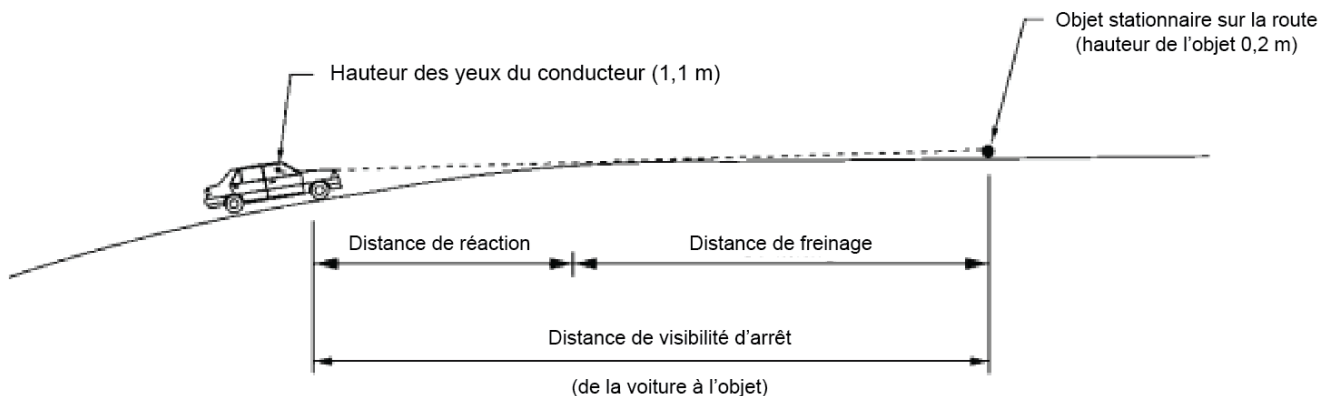
Source : PIARC, 2003.

qu'ils soient peu visibles, et les particularités de la route peuvent ne pas fournir suffisamment d'indices supplémentaires quant au danger ou à la décision à venir.³³

- La distance de visibilité d'arrêt est la distance de visibilité minimale qui doit toujours être assurée en tous points sur une route.³⁴
- La distance de visibilité d'arrêt permet à un conducteur roulant à une vitesse adéquate d'immobiliser son véhicule en toute sécurité et efficacité, et notamment de repérer tout objet se trouvant sur la trajectoire du véhicule (figure 3.16).
- La distance de visibilité pour le dépassement est assurée aux endroits où le dépassement sur la voie opposée est autorisé, et permet d'effectuer une manœuvre complète en toute sécurité (figure 3.17).

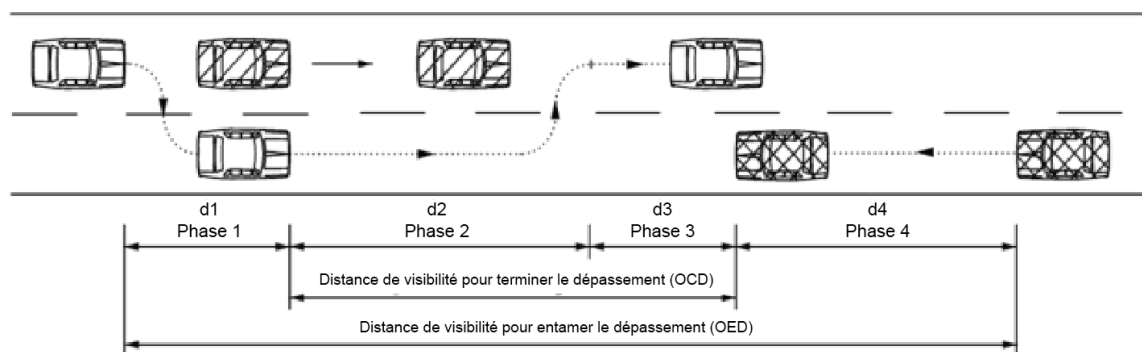
- La distance de visibilité aux carrefours implique un triangle de distances de visibilité (figure 3.18) qui améliore la visibilité et la prise de conscience de tous les usagers de la route.
- La distance de visibilité aux carrefours est généralement définie comme la distance à laquelle un automobiliste peut voir les véhicules approchant avant que sa ligne de vue ne soit bloquée par un obstacle à proximité du carrefour.³⁵ Le conducteur d'un véhicule approchant ou partant d'une position arrêtée à un carrefour doit bénéficier d'une vue dégagée du carrefour, y compris de tout dispositif de contrôle du trafic et de distances suffisantes le long de la route croisant le carrefour pour qu'il ait suffisamment de temps afin d'anticiper et d'éviter les collisions éventuelles.

Figure 3.16: Distance de visibilité d'arrêt



Source : Austroads, 2021. Austroads. 2021. Guide to Road Design Part 3: Geometric Design.

Figure 3.17: Manœuvre de dépassement et distance de visibilité.



Source : Austroads. 2021. Guide to Road Design Part 3: Geometric Design.

³³ PIARC. 2018. Practical Guide for Road Safety Auditors and Inspectors.

³⁴ Austroads. 2016. Achieving Safe System Speeds on Urban Arterial Roads: Compendium of Good Practice.

³⁵ FHWA Federal Highway Administration. 2011. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners, US.

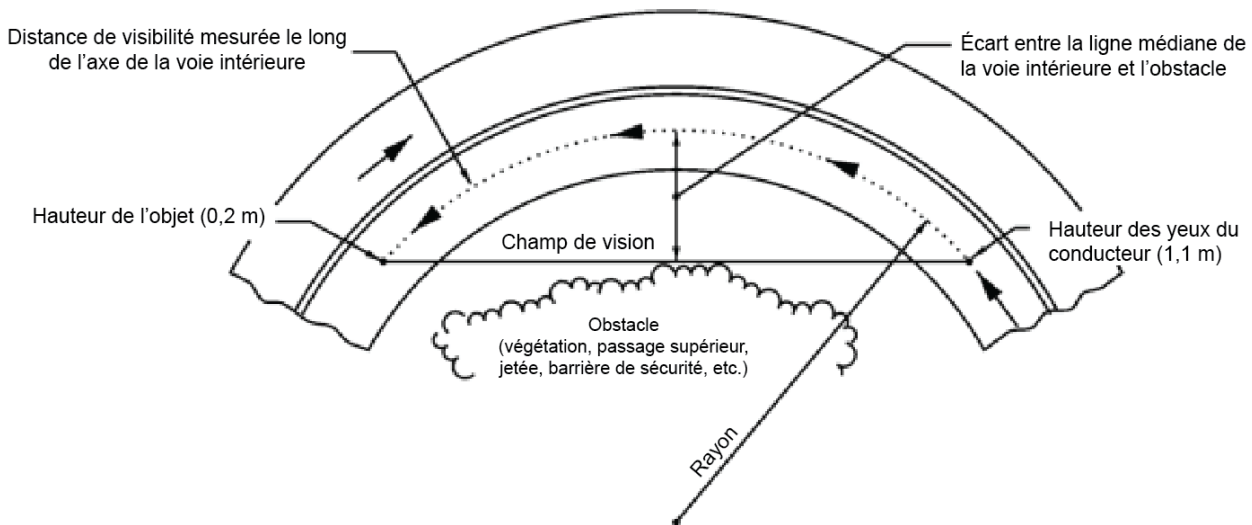
- Les piétons doivent également pouvoir voir et être vus, et les mouvements de traversée sont souvent concentrés aux carrefours ou à proximité de celles-ci.
- Grâce à la distance de visibilité, il est possible de tenir compte de l'é étroitesse des routes et de la vitesse de rapprochement des véhicules à l'opposé.
- Dans les zones urbaines, les angles font souvent office de lieu de rassemblement pour les personnes et les entreprises, ainsi que d'emplacement pour les arrêts de bus, les parkings vélos et d'autres éléments. La conception doit faciliter le contact visuel entre ces utilisateurs, plutôt qu'être axée sur la création de lignes de visibilité claires pour le trafic uniquement.³⁶
- Une distance de visibilité insuffisante peut être un facteur contribuant aux accidents. Parmi les exemples d'obstacles figurent les troupeaux d'animaux, les plantes, les véhicules en stationnement, les poteaux électriques, les bâtiments et le tracé horizontal et vertical de la route (voir les sections « Courbe horizontale » et « Courbe verticale et gradient »). La figure 3.19 illustre la distance de visibilité dans un virage, y compris les décalages nécessaires par rapport aux obstacles.

Figure 3.18: Exemples de triangles de visibilité du conducteur aux carrefours



Source : NACTO, 2019

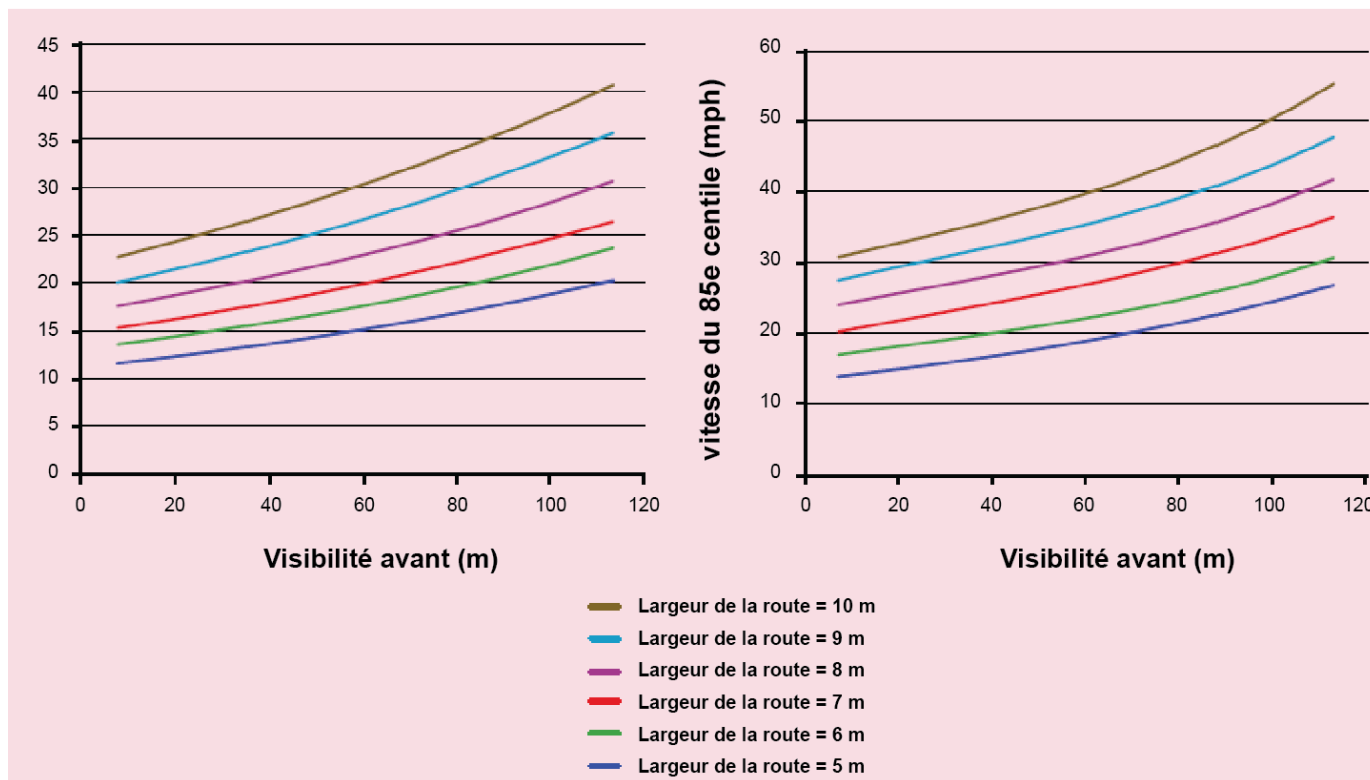
Figure 3.19: Illustration de la distance de visibilité du conducteur dans les virages.



Source : NACTO. 2019. Urban Street Design Guide: Accessible à l'adresse <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/>.

³⁶ NACTO. 2019. Urban Street Design Guide: Accessible à l'adresse <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/>.

Figure 3.20: Corrélation entre la visibilité, la largeur de la chaussée et la vitesse des véhicules.



Source : Department for Transport, Royaume-Uni.

Une étude britannique montre que l'amélioration de la visibilité et/ou l'augmentation de la largeur de la route sont en corrélation avec l'augmentation de la vitesse des véhicules (figure 3.20). Il a été constaté que l'augmentation de la largeur pour une visibilité donnée, ou inversement, augmentait la vitesse. Cela signifie que la réduction de la distance de visibilité peut contribuer à réduire la vitesse des véhicules aux carrefours (tout en respectant les critères de distance de visibilité minimale).

Conséquences pour la sécurité

- Une distance de visibilité insuffisante et le temps de réaction réduit qui en découle augmentent le risque d'accidents par l'arrière aux abords d'un carrefour, ainsi que le risque d'accidents graves à l'angle du carrefour. En effet, les automobilistes peuvent ne pas voir et réagir aux dispositifs de contrôle du trafic (c.-à-d., les signaux et les panneaux d'arrêt) ou aux véhicules en approche sur les routes principales et secondaires.
- Les risques pour la sécurité augmentent nettement en

raison de la visibilité réduite, tout comme les implications juridiques en cas d'accident.

- Des études australiennes ont montré que l'amélioration de la distance de visibilité se traduit par une réduction d'environ 30 % des accidents à la fois sur les routes ouvertes et aux carrefours où des accidents se produisaient fréquemment auparavant. Cependant, un niveau de confiance moyen est accordé à ce chiffre.³⁷

Bonnes pratiques de conception/ traitements/ solutions

- Une distance de visibilité adéquate est essentielle pour que les conducteurs disposent d'un temps de réaction et de manœuvre suffisant afin de s'adapter aux particularités de la route et aux autres usagers de la route. Il s'agit d'améliorer la distance de visibilité en triangle aux carrefours, d'améliorer la visibilité pour tous les usagers de la route à le carrefour et, dans certains cas, de réduire la distance de visibilité excessive qui pourrait encourager une prise de décision précoce, tout en gardant à l'esprit qu'il est toujours nécessaire de maintenir la distance de visibilité minimale requise.

³⁷ Austroads. 2012. Effectiveness of Road Safety Engineering Treatments.

Les contre-mesures à prendre en cas de distance de visibilité insuffisante dans des situations spécifiques (courbes horizontales, carrefours, etc.) sont détaillées dans chaque section. Vous trouverez ci-dessous un résumé des stratégies visant à améliorer la distance de visibilité. En fonction des risques et des types d'accidents, une combinaison de contre-mesures doit être envisagée. Les mesures prises doivent viser à générer une situation dans laquelle la distance de visibilité disponible est suffisante grâce à une réduction des vitesses de fonctionnement (et pas seulement des limitations de vitesse) ou à d'autres mesures.

- **Panneaux et marquages** : dans le cas d'un carrefour classique sans signalisation, il convient d'envisager une amélioration de la signalisation type et du marquage de la chaussée, même si l'effet peut être limité.
- **Dispositifs de ralentissement de la circulation** : les triangles de visibilité requis pour les distances d'arrêt et d'approche se fondent généralement sur la sécurité des carrefours sans contrôle, quelle que soit l'approche. Cette situation est rare en milieu urbain, et ne se produit qu'aux carrefours à très faible vitesse et à faible circulation. Aux endroits non contrôlés où la circulation ou la vitesse posent des problèmes de sécurité, il importe d'ajouter des contrôles du trafic ou des dispositifs de ralentissement de la circulation aux abords du carrefour⁵² (voir la section 3.2 sur la gestion de la vitesse et le ralentissement de la circulation).
- **Déplacement des obstacles** : si les types d'accidents les plus fréquents sont les collisions aux angles dues à une distance de visibilité insuffisante en raison d'un feuillage envahissant, la contre-mesure la plus efficace consisterait à dégager les triangles de visibilité du carrefour afin d'améliorer la distance de visibilité. De même, les feux, les panneaux, les bâtiments, etc. doivent être déplacés lorsqu'ils gênent la distance de visibilité.
- **Obstacles physiques et terre-pleins centraux** : la seule pose de panneaux s'avérant peu fiable pour contrôler les mouvements, des obstacles physiques et des terre-pleins centraux doivent être installés pour renforcer les attentes des conducteurs en matière de manœuvres sûres. En général, lorsque la visibilité est insuffisante, les manœuvres de dépassement qui impliquent le franchissement de la ligne médiane des routes à chaussées non séparées ou le franchissement du terre-plein central des routes sans obstacles physiques ou voies auxiliaires doivent être interdites³⁸ (voir la section 5.6 sur les voies de dépassement).
- **Conversion d'un carrefour en Y en un carrefour perpendiculaire (en T) avec signalisation si nécessaire** : cette stratégie permet non seulement d'améliorer la visibilité, mais aussi de donner une explication claire sur la priorité de passage, de résoudre les points de conflit dangereux et d'améliorer les conditions de sécurité pour les piétons et les autres usagers vulnérables. Il s'agit d'une solution relativement peu coûteuse et sûre. Il convient de vérifier que la visibilité au carrefour en T est suffisante, tant sur la route secondaire que sur la route principale, et de mettre en place une signalisation si nécessaire.
- **Reconstruction des carrefours et des virages** : la modification d'un tracé horizontal/vertical est souvent trop coûteuse et peut avoir des répercussions importantes sur l'utilisation des terrains adjacents. Il vaut mieux concevoir la route bien avant sa construction que de la reconstruire.

Pour en savoir plus

- AASHTO. 2018. The Green Book. À lire : chapitre 3.2, Sight distance.
- PIARC. 2019. Road Safety Manual. Accessible à l'adresse <https://roadsafety.piarc.org/en>. À lire : chapitre 8.2, Designing infrastructure to encourage safe behavior.
- Austroads. 2016. Achieving Safe System Speeds on Urban Arterial Roads: Compendium of Good Practice. À lire : chapitre 4, Speed as a contributor to urban arterial crashes ; annexe A, Engineering treatments.
- FHWA. 2011. Intersection Safety: A Manual for Local Rural Road Owners. Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwasa1108/. À lire : chapitre 3, Safety analysis.

³⁸ AASHTO. 2011. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 6th edition.

- NACTO. 2013. Urban Street Design Guide. Accessible à l'adresse <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/>. Chapitres à lire : Intersections ; Intersection design elements.

3.4. Collectivités linéaires

Description générale

Les collectivités linéaires (figure 3.21) sont un groupe de bâtiments, de petits villages ou d'autres structures (y compris des propriétés résidentielles, des étals en bord de route, des marchés et d'autres commerces) le long des routes principales, qui entraînent un déséquilibre entre la conception de la route et l'utilisation qui en est faite. Cette situation s'applique également aux axes routiers qui traversent des villes. Les problèmes de trafic sont dus à un mauvais aménagement du réseau routier, à une mauvaise application des règles d'aménagement (lorsqu'elles existent) et à la pression exercée par les entreprises locales qui considèrent que ces lieux offrent un accès commercial utile aux automobilistes de passage. Ces problèmes sont accentués par un manque de compréhension des risques de sécurité existants.

Conséquences pour la sécurité

- Les collectivités linéaires créent un mélange de trafic de transit à grande vitesse et de trafic local à faible vitesse, et accueillent des usagers de la route vulnérables. Cette double fonction peut entraîner des risques très élevés, en particulier pour les usagers de la route vulnérables qui tentent de traverser et de marcher le long de la route (les figures 3.22 à 3.26 illustrent les mouvements dangereux de traversée des piétons dans ces environnements à haut risque en raison de l'absence d'installations ou d'installations mal conçues).
- Parmi les autres risques, citons les points d'embarquement et de débarquement mal conçus pour les transports publics (qu'ils soient formels ou informels), qui présentent également des risques pour les piétons qui tentent de traverser ou de marcher le long de la route.
- Ces structures peuvent accueillir un trafic local lent qui manœuvre, notamment des mouvements de virage pour entrer et sortir de points d'accès locaux ou de routes secondaires, et qui fait des demi-tours. Malgré ces mouvements d'usagers, la conception de ces routes reste souvent inchangée, avec des routes larges, des aménagements insuffisants pour les usagers de la route vulnérables et le trafic local, et des vitesses élevées.

Figure 3.21: Exemple de collectivité linéaire.



Source : © 2021 CNES/Airbus/Google Earth

Figure 3.22: Pas de voie piétonne ni d'aménagement de traversée pour les piétons.



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

Figure 3.23: Manque de passages pour piétons.



Source : FIA Foundation

Figure 3.24: Passerelle pour piétons, mais non utilisée.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 3.25: Pas de voie piétonne



Source : © Soames Job/GRSF/Banque mondiale

Figure 3.26: Terre-plein central mal conçu, sans endroit pour traverser – Roumanie.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

- Par essence, du point de vue de l'utilisation de la route, ce qui était auparavant des routes a été converti au fil du temps en rues locales. Cependant, la conception de la route peut rester inchangée. Cela entraîne de la confusion pour les usagers de la route, ainsi que des niveaux de risque élevés. Ce problème peut se poser en des points distincts de la route (un ou deux vendeurs vendant des marchandises aux usagers de passage) ou sur des tronçons de plusieurs kilomètres

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

Diverses solutions peuvent être mises en œuvre pour résoudre ce problème de développement linéaire. Ces solutions sont de deux types : réglementaires et d'infrastructure.

- Les approches réglementaires comprennent l'élaboration

et l'application d'un aménagement strict des routes et de l'exploitation des terrains afin d'empêcher la construction de maisons et d'entreprises sur le bord de la route. Elles peuvent également nécessiter des pouvoirs juridiques et d'exécution appropriés, ainsi que des ressources adéquates pour les mettre en œuvre. Ces approches peuvent aussi impliquer la formation de la communauté locale aux risques liés à la sécurité routière et aux sanctions possibles en cas d'infraction aux lois sur l'aménagement du territoire.

- Les marchés en bord de route (p. ex., commerce/vendeur informel) représentent un danger majeur pour les collectivités linéaires et les usagers de la route en raison des obstacles (p. ex, étals, clients et stationnement pour les achats) et du rétrécissement de la voie piétonne / route (figure 3.27). Ces problèmes doivent être résolus par la mise en place d'installations hors route sécurisées pour les marchés avec des places de stationnement (figure 3.28).

Figure 3.27: Étal dangereux sur le bord de la route



Source : © Kafkasyali/deamstime.

Figure 3.28: Marché séparé en bord de route avec stationnement, couloir de Dar es Salam entre Morogoro et Mafinga, Tanzanie.



Source : © James Robert Markland/Banque mondiale.

Figure 3.29: Exemples de routes de contournement.



Source : © Google Earth.

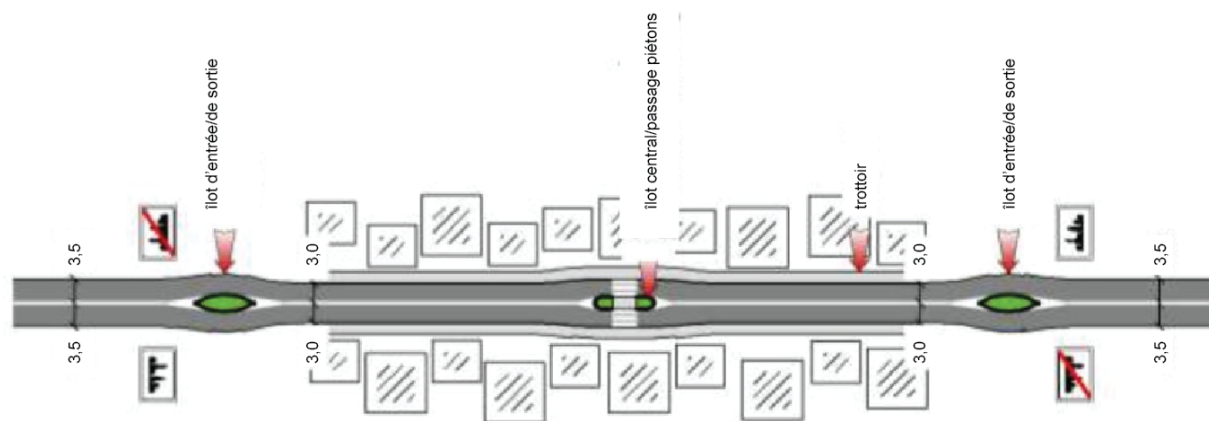
- Diverses solutions d'infrastructure sont également possibles. La solution la plus coûteuse et la plus importante consiste à construire une route de contournement de la zone concernée (figure 3.29). Il importe de veiller à ce que le nouvel itinéraire fasse l'objet de contrôles d'aménagement stricts et à ce que les nouvelles constructions résidentielles et commerciales ne soient pas autorisées sur cette route de contournement. Cette approche nécessite également des améliorations de l'infrastructure pour la collectivité linéaire (la route existante) afin de fournir des installations de meilleure qualité et à plus faible vitesse, dans le but de répondre aux besoins des usagers de la route présents. Cela implique

souvent le rétrécissement des routes, l'élargissement des voies piétonnes et la mise en place de passages pour piétons sécurisés. Grâce à une réduction significative du trafic, ce qui aurait pu être une route à quatre voies (deux voies dans chaque sens) peut maintenant être réduit à deux voies seulement, avec des dispositions adéquates pour les piétons et les autres groupes d'utilisateurs de la route plus lents. La figure 3.30 montre un exemple d'éléments routiers le long d'une route au sein d'une zone bâtie.

- D'autres options sont possibles, comme la mise en place de routes de desserte qui offrent un accès à vitesse réduite pour le trafic local et les usagers de la route vulnérables (figures 3.31 et 3.32). Elles peuvent servir d'emplacement à des commerces permanents, à des arrêts de transport public, ou à des marchés et vendeurs temporaires. Pour les plus petites zones d'activité en bordure de route, une aire de stationnement bien conçue peut suffire. D'autres mesures seront probablement nécessaires sur la route de transit principale, les usagers de la route locaux devant habituellement traverser la route. Il convient également de prévoir des points d'entrée et de sortie entre la route de transit et la route de desserte.
- Une autre option consiste à réduire les vitesses pour tous les usagers de la route, à l'aide des infrastructures existantes. Il s'agit généralement d'aménager des « points de passage » (figures 3.33 à 3.35) avant le début de la zone de développement accru. Ces points de passage encouragent la réduction de la vitesse aux abords des routes grâce à des panneaux surdimensionnés des deux côtés de la chaussée, à des rétrécissements (par des îlots construits ou peints), ou même à une texture ou une couleur différente de la route.

Figure 3.30: Croquis d'éléments routiers dans des zones bâties.

Croquis (avec dimensions) :



Exemple d'éléments routiers dans les zones bâties

Source : Vollpracht et al. 2018

Figure 3.31: Route de desserte – Inde.



Source : © Sudeshna Mitra/GRSF/Banque mondiale.

Figure 3.32: Moldavie – Route de desserte pour les véhicules lents.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 3.33: Panneau de signalisation et ralentisseur pour établir un point de passage – Inde.



Source : © Sudeshna Mitra.

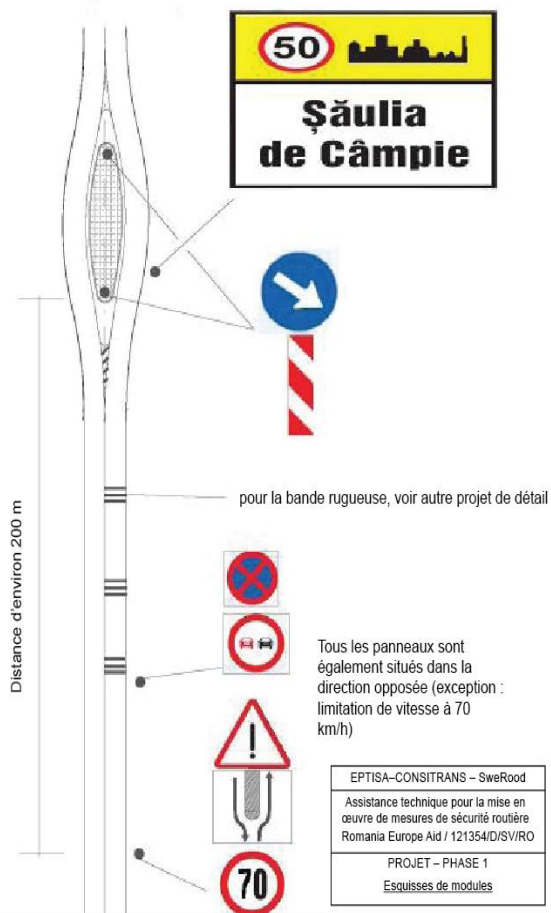
Figure 3.34: Points de passage en Inde



Source : © Sudeshna Mitra.

Figure 3.35: Point de passage mixte – Roumanie

Exemple d'éléments routiers dans les zones bâties



Source : Compania Nationala de Autostrazi si Drumuri Nationale. 2007. Catalog de măsuri pentru siguranța circulației în satele liniare.

- Ces mesures sont souvent peu coûteuses et apportent vraisemblablement des avantages considérables en matière de sécurité routière. La vitesse réduite peut devoir être maintenue par d'autres éléments d'infrastructure,

notamment le rétrécissement de la route, des ralentisseurs et d'autres mesures de ralentissement de la circulation (voir la section 3.2). Une attention particulière doit être portée à l'aménagement de points de passage sûrs et à faible vitesse pour les piétons (voir également la section 4.2).

Pour en savoir plus

- Kostic, N., Lipovac, K., Radovic, M., et Vollpracht, H. 2013. Improvement of Road Safety Management and Conditions in Republika Srpska, Association mondiale de la Route (PIARC), Routes/Roads 360, 54–63.
- Vollpracht, H. 2010. They call them coffin roads, Association mondiale de la Route (PIARC), Routes/Roads 347, 42–52.
- DfID. 2003. Roadside, Village and Ribbon Development, Highway Design Note 4/01, UK Department for International Development, United Kingdom. <http://transport-links.com/research-archive/case-highway-design-note-4-roadside-village-and-ribbon-development/>.
- Brumec, U., et Bricelj, A. 2011. Urbanism as a major factor of roads' function and safety, 14e Conférence internationale sur les sciences du transport, Portoroz, Slovénie. À lire : chapitre 2 et chapitre 4.
- Sharma, A. K., Bahadur, A. P., et Tandon, Yashi. 2011. Linear Settlements and Safety Issues along Highways in India: A Case for integrated Approach for Highway Development, 24e Congrès mondial de la Route, Mexico, Mexique. À lire : chapitre 1, Background, et chapitre 2, Highway improvement typologies-traffic segregation
- Vollpracht, H. et al. 2018. Practical Guide for Road Safety Auditors and Inspectors, Automobile and Motorcycle Association of Serbia. Accessible à l'adresse <https://amss->

cmv.co.rs/wp-content/uploads/2017/12/Practical-Guide-for-Road-Safety-Auditors-and-Inspectors-EN.pdf. À lire : chapitre 1, Road function.

3.5. Contrôle des accès

Description générale

La gestion / le contrôle des accès est l'un des éléments essentiels de la conception géométrique, lié à la gestion des interférences avec le trafic de transit. Lorsque l'accès à une route est géré, les interférences provoquées par l'entrée et la sortie des véhicules, des piétons et des cyclistes sont minimisées. Qui plus est, les usagers de la route bénéficient d'une entrée et d'une sortie dédiées de la route en fonction de la mobilité souhaitée et de l'utilisation des terrains adjacents. Les commerces en bord de route se développent de manière anarchique en l'absence de gestion des accès. Cela est d'ailleurs devenu un problème majeur de sécurité routière dans les PRITI. Si l'accès et la mobilité sont deux fonctions majeures d'un système routier, ces fonctions doivent être équilibrées pour maintenir l'objectif de la route. Une route à grande vitesse avec un accès illimité ne servira pas l'objectif de mobilité et présentera simultanément un risque élevé pour les usagers de la route. Cependant, dans le contexte des PRITI, l'équilibre entre accès et mobilité (mouvement et lieu) reste un défi de taille en raison de la proportion élevée des modes non motorisés. L'aménagement et la conception des installations à grande vitesse négligent souvent les besoins des usagers de la

Figure 3.36: Le trafic local n'est pas isolé de la voie rapide.



Source : © ONG LEESA/Banque mondiale.

route non motorisés et vulnérables, au détriment de la sécurité. Il convient de mettre au point une réflexion innovante pour une part importante d'usagers de la route non motorisés, afin de répondre aux besoins de tous les usagers de la route dans les PRITI.

Les objectifs de la gestion des accès sont de limiter le nombre de points de conflit, de séparer les points de conflit et de supprimer les volumes de virage et les files d'attente des mouvements de transit. Les avantages sont non seulement la réduction des accidents, mais aussi l'augmentation de la capacité et la réduction de la durée des trajets.

Conséquences pour la sécurité

Les problèmes de sécurité couramment rencontrés dans un contexte de trafic mixte sont les suivants :

- Déséquilibre entre l'accès et la mobilité (mouvement et lieu) conduisant à des environnements à grande vitesse où les usagers de la route non motorisés et vulnérables ne sont pas séparés du trafic à grande vitesse (figures 3.36 et 3.37).
- Prise en compte insuffisante des besoins de déplacement des usagers de la route non motorisés dans le processus d'aménagement et de conception (figure 3.38).
- Possibilités de traversées inappropriées et dangereuses pour les usagers de la route non motorisés (figure 3.39).

Figure 3.37: Accès direct de la route locale à la voie rapide



Source : © Banque mondiale.

Figure 3.38: Absence de voie piétonne.



Source : © ONG LEESA/Banque mondiale.

Figure 3.39: Voie piétonne centrale à Lusaka, Zambie.



Source : ITDP Africa

- Traversée dangereuse de piétons dans un environnement à vitesse élevée, avec un grand nombre d'accès non contrôlés depuis les rues locales vers la route principale.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

Pour améliorer la sécurité, il est utile de mettre au point des couloirs séparés prioritaires et dont l'usage est restreint. En d'autres mots, tous les couloirs ne sont pas accessibles à tous les usagers. Certains peuvent être réservés à la circulation de marchandises/véhicules prioritaires, avec un accès limité aux usagers de la route vulnérables, tandis que d'autres donnent la priorité aux transports publics et aux cyclistes, avec une grande accessibilité. Si une telle séparation est impossible, et pour résoudre le problème de la gestion des accès dangereux, les pratiques de conception et traitements suivants doivent être appliqués chaque fois

Figure 3.40: Habillage latéral opaque sur la passerelle pouvant dissuader les piétons d'utiliser l'infrastructure pour des raisons de sécurité



Source : © Banque mondiale.

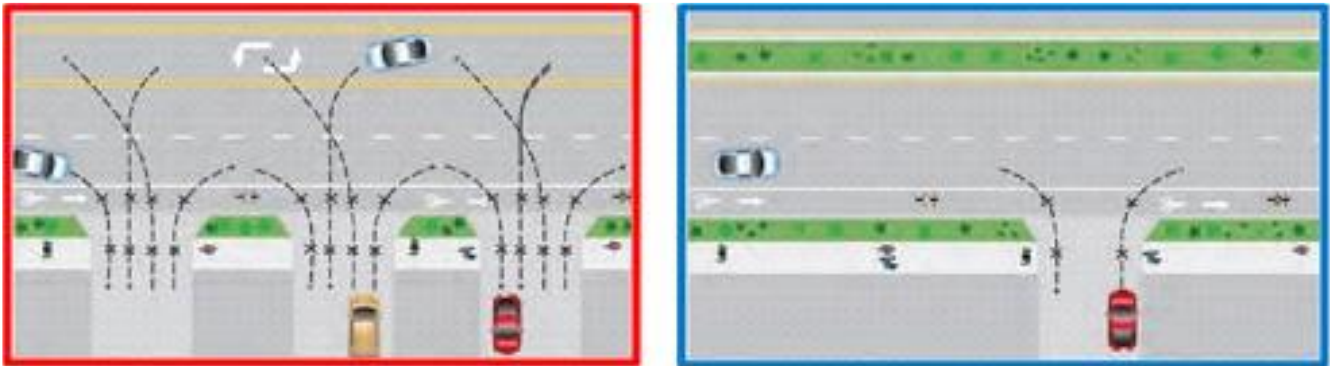
Figure 3.41: Aménagements pour cyclistes et piétons avec zone tampon.



Source : Shreya Gadepallii, Ranchi Mobility for All

qu'une route pénètre dans des zones bâties et des collectivités.

- Installations de traversée au niveau du sol avec passages non contrôlés signalés pour les routes à deux voies et passages contrôlés et/ou à niveau séparé pour les routes plus larges telles que les routes à quatre, six voies ou plus.
- Mise en place de voies piétonnes / trottoirs et de bandes cyclables pour séparer les piétons et les cyclistes du trafic de transit (figures 3.40 et 3.41).
- Mise en place de glissières de sécurité pour piétons afin de rassembler les piétons uniquement au niveau des passages pour piétons signalés, de manière à éviter les traversées aléatoires de routes à des endroits non dédiés.
- Arrêts de transport public sûrs et signalés, avec baies pour l'embarquement et le débarquement.

Figure 3.42: Gestion des accès.

Source : Michele Weisbar/Los Angeles County. 2011. Model Design Manual for Living Streets. (Manuel de conception de modèles pour les rues résidentielles, français non garanti). Accessible à l'adresse http://modelstreetdesignmanual.com/model_street_design_manual.pdf.

- Lorsque les grands axes routiers sont bordés par des zones commerciales ou résidentielles, plusieurs accès mineurs peuvent être reliés à une route de desserte qui rejoint l'axe routier principal par un carrefour bien conçu. Voir également la section 3.4

La présence de nombreuses voies d'accès, en plus des carrefours nécessaires, crée bon nombre de conflits entre les véhicules qui entrent ou sortent d'une rue et les cyclistes et piétons qui circulent le long de la rue. Dans la mesure du possible, les nouvelles voies d'accès doivent être réduites au minimum et les anciennes voies d'accès doivent être supprimées ou consolidées. En outre, des terre-pleins centraux surélevés doivent être aménagés pour limiter les virages à gauche ou à droite dans les voies d'accès et en dehors de celles-ci (figure 3.42).

Les recherches menées dans les PRITI montrent que les piétons préfèrent traverser au niveau du sol et n'utilisent souvent pas les installations de traversée à niveau séparé (Tiwari et al.). L'utilisation volontaire des installations à niveau séparé dépend donc de la facilité d'accès, de l'importance du détour, de la sécurité et du contrôle des autres accès aux traversées non sécurisées. Par conséquent, il est essentiel de trouver un équilibre et de faire appel à une conception innovante, de manière à réduire la distance supplémentaire parcourue par les piétons. Cela constitue probablement le défi le plus important auquel sont confrontés actuellement les projets de développement routier dans les PRITI.

3.6. Construction, fonctionnement et entretien

Description générale

Dans le cadre de la construction, de l'entretien et du fonctionnement d'un réseau routier, il est nécessaire de passer en revue les dispositifs de sécurité et de mettre en œuvre des mesures visant à garantir une utilisation sûre du réseau par tous les usagers. Cela implique souvent des travaux de voirie, des fermetures temporaires ou une gestion des incidents, tout en permettant au trafic de circuler aussi librement que possible. En outre, des examens supplémentaires des dispositifs de sécurité sont nécessaires tout au long de la durée de vie de la route afin de garantir le maintien d'un fonctionnement sûr de la route. Les figures 3.43 à 3.47 illustrent certaines pratiques sûres et dangereuses au sein de chantiers.

Pour s'assurer que les avantages de la route en matière de sécurité sont préservés pendant sa durée de vie opérationnelle, il importe de poursuivre les examens périodiques du réseau en service. Cet objectif est atteint grâce à un programme régulier d'inspection et d'évaluation de la sécurité routière. Ce programme prévoit d'examiner une route existante dans le but d'identifier les aspects de la route ou de l'environnement routier qui contribuent au risque de sécurité, ainsi que les aspects d'amélioration de la sécurité en modifiant l'environnement routier. Il convient de ne pas confondre ces inspections avec les inspections d'entretien de routine axées sur l'état de l'infrastructure routière existante.

Figure 3.43: Absence totale de signalisation et de contrôle – Kenya.



Source : © John Barrell.

Figure 3.44: Signalisation non contrôlée – Roumanie Signalisation non contrôlée – Roumanie



Source: © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 3.45: Site bien signalisé et contrôlé – Tanzanie



Source : © John Barrell.

Figure 3.46: Aucun aménagement pour les piétons – Qatar



Source : © John Barrell.

Figure 3.47: Chantier bien signalisé et protégé – Abu Dhabi



Source : © John Barrell.

Même si des travaux ne sont pas entrepris sur le réseau opérationnel, il est toujours nécessaire d'évaluer la sécurité de son utilisation et de ses performances. Qui plus est, même lorsque les routes sont construites selon les meilleures normes de sécurité du moment, les performances

des caractéristiques de la route peuvent changer au fil du temps en raison des interactions changeantes entre les performances des véhicules, le comportement des usagers de la route et l'infrastructure routière.

Conséquences pour la sécurité

- Même la meilleure conception génère de mauvais résultats si la construction est médiocre, notamment le non-respect de la conception, l'utilisation de solutions de conception ou de matériaux différents pendant la construction, et l'absence d'adaptation adéquate aux facteurs locaux (tels que les services publics et la composition du trafic).
- Des chantiers mal définis peuvent accroître les risques pour la sécurité routière de tous les usagers (figures 3.48 à 3.51).
- Même lorsque des dispositions adéquates et complètes de gestion du trafic dans les chantiers sont prévues, celles-ci ne changent pas à chaque phase de l'opération. De plus, les matériaux et objets ne sont souvent pas protégés ou laissés sur place lorsque la construction est terminée dans cette zone (figures 3.52 et 3.53).
- Les matériaux/objets de construction ne sont souvent pas retirés, même après l'ouverture de la route au public.
- Le manque d'entretien et de révision des dispositifs de sécurité peuvent entraîner un mauvais comportement du conducteur (figures 3.54 et 3.55).
- Nous connaissons relativement peu de choses sur l'efficacité réelle des traitements dans différentes situations au sein des PRITI.
- Les actions et interventions en matière de sécurité routière font rarement l'objet d'évaluations appropriées dans le monde entier. Cela est d'ailleurs particulièrement le cas dans les pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure.
- Il convient de s'appuyer sur les preuves de l'efficacité des mesures prises dans les pays à revenu élevé (et d'en tirer des conclusions), où le comportement des usagers de la route et la composition du trafic ne sont pas en parfaite adéquation.

Figure 3.48: Le chantier se poursuit sans aucune mesure de sécurité temporaire – Bengale-Occidental.



Source : Banque mondiale.

Figure 3.50: Construction sans protection ou séparation du chantier et de la circulation générale – Roumanie.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 3.49: Excavation importante sans protection ni séparation du chantier et de la circulation générale – Kenya.



Source : © John Barrell

Figure 3.51: Absence totale de vêtements de protection pour les ouvriers sur la route ou de délimitation adéquate du chantier.



Source : Banque mondiale.

Figure 3.52: Chantiers et matériaux non protégés – Inde



Source : Banque mondiale.

Figure 3.54: Revêtement routier mal entretenu – Roumanie.



Source : © Sudeshna Mitra/GRSF/Banque mondiale.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- Tous les travaux doivent être planifiés de manière à optimiser la sécurité routière, l'espace routier et l'efficacité des travaux tout en minimisant les encombrements, les retards et les désagréments pour tous les usagers de la route.

Construction et entretien

- Toutes les mesures raisonnables doivent être prises afin de réduire au minimum les perturbations dues aux travaux.

Figure 3.53: Matériaux de construction empilés sans protection ni séparation le long de l'autoroute – Inde



Source : Banque mondiale.

Figure 3.55: Route bien entretenue avec un marquage au sol clair – Inde.



Source : Martijn Thierry/Jasper Vet – Safe Crossings.

- Les chantiers doivent être clairement définis et protégés afin de permettre aux ouvriers et au grand public de s'adapter en toute sécurité au changement d'espace et de tracé.
- La sécurité du trafic et des ouvriers dans un chantier routier doit faire partie intégrante et être une priorité absolue de chaque projet de construction ou d'entretien routier, du processus de planification à l'achèvement de la construction ou des travaux d'entretien.
- Gestion du trafic dans les chantiers et sécurité insuffisante ne doivent en aucun cas être associées. Au contraire, les conditions inhabituelles et/ou restrictives que l'on trouve dans les chantiers peuvent exiger des normes de sécurité encore plus élevées.

- Sous réserve d'un niveau acceptable de sécurité pour les usagers de la route et les ouvriers, l'aménagement du trafic dans un chantier doit ressembler autant que possible à ce qui est prévu dans le cadre de l'exploitation normale de la route, y compris la vitesse, les mouvements autorisés, l'accès aux propriétés adjacentes et les dispositions relatives à la circulation non motorisée. Toutefois, dans de nombreux cas, il convient d'imposer des restrictions à certains ou à l'ensemble de ces aspects. Ces restrictions nécessitent une signalisation avancée claire, une signalisation et des instructions pour circuler en toute sécurité.
- Les mêmes principes de conception géométrique et de sécurité qui s'appliquent à la conception des routes permanentes régissent la conception des traitements de gestion du trafic dans les chantiers. Par exemple, les rétrécissements de voies, les virages prononcés ou d'autres changements géométriques brusques ou fréquents doivent être conçus et mis en œuvre de manière appropriée en matière de vitesse de conception, de signalisation avancée, de signalisation et de délimitation, afin de fournir aux usagers de la route des instructions efficaces, claires et positives.
- L'introduction de changements géométriques à des étapes spécifiques peut également s'avérer nécessaire. Par exemple, la fermeture de deux voies sur une route à plusieurs voies doit se faire en deux étapes distinctes, afin de permettre au trafic de changer de voie en douceur et en toute sécurité. Aussi, la fermeture d'une voie et un virage horizontal prononcé ne doivent pas se trouver au même endroit, mais doivent plutôt être séparés.

Remarque : la gestion du trafic dans les chantiers est un manuel à part entière, et l'espace disponible dans ce document est insuffisant pour l'aborder entièrement. De nombreuses lignes directrices nationales sont facilement accessibles et constituent des exemples de bonnes pratiques. Consultez les lectures complémentaires reprises ci-dessous.

- Les matériaux de construction routière (qu'ils soient utilisés ou excédentaires) doivent être confinés dans une zone de construction délimitée. Si des matériaux doivent être placés le long de la route, il convient de les délimiter, de les démarquer et de les signaler pour avertir et orienter les conducteurs.
- Tous les matériaux de construction et matériaux stockés sur l'emprise routière qui peuvent potentiellement nuire aux usagers de la route ou les amener à se comporter d'une manière qui peut les conduire à une situation dangereuse doivent être enlevés.
- Toutes les phases de construction (c.-à-d. les différents aménagements de site et les dispositions d'accès/acheminement) doivent faire l'objet d'un audit indépendant de la sécurité routière.
- L'ensemble du processus de construction doit faire l'objet d'une évaluation approfondie de la sécurité qui prend en compte les risques encourus par les ouvriers et les usagers de la route pendant la mise en œuvre des travaux, notamment des audits de sécurité routière lors de la construction. C'est ce que l'on appelle parfois l'examen « Sécurité de la conception ». Il compare les options de conception, de construction, de fonctionnement et de mise hors service de l'infrastructure et évalue celle qui présente le moins de risques pour la main-d'œuvre et le public en déplacement au cours de chaque phase. Cela n'entraîne pas nécessairement un changement de préférence pour les options. Cependant, les risques doivent être identifiés afin d'être pris en compte au cours des phases ultérieures du projet. Un plan de gestion du trafic spécifique doit être élaboré afin de démontrer la sécurité de l'acheminement du trafic motorisé et non motorisé pendant la construction, ainsi que la protection appropriée des ouvriers sur le site de construction.
- Il est essentiel que les coûts des inspections et de l'entretien de routine soient intégrés dès le départ dans l'évaluation et la conception du projet.

Fonctionnement

- Lorsqu'un projet est mis en œuvre et exploitable, il importe toujours de contrôler et d'examiner les performances de sécurité de la conception pour s'assurer que la sécurité prévue est atteinte.
- Avant de mettre en œuvre les traitements proposés, il est normalement nécessaire d'en évaluer les effets potentiels afin de justifier l'investissement. Les informations sur l'efficacité des traitements ont généralement été consignées à partir de recherches menées dans des pays d'Europe, aux États-Unis et en Australie.

- Les pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure doivent s'efforcer de constituer une base factuelle sur ce qui fonctionne (et ne fonctionne pas) dans leur propre situation. Pour ce faire, il convient de surveiller de près les performances en matière de sécurité des routes nouvelles et existantes une fois qu'elles sont en service.
 - Une compréhension de l'efficacité locale n'est établie que si les autorités routières contrôlent et évaluent les performances de toutes les mesures mises en œuvre.
 - Par conséquent, les organisations doivent mettre en place un système de suivi et d'examen des résultats de toute inspection de la sécurité routière mise en œuvre ou des recommandations de l'évaluation de la sécurité routière. Ces données peuvent ensuite être exploitées pour déterminer les améliorations de sécurité les plus appropriées à intégrer aux normes de conception révisées. Ceci est particulièrement important dans les pays où le développement du réseau routier se fait à un rythme rapide et où il n'existe pas de recherches concernant les caractéristiques des routes et leurs répercussions sur les résultats en matière de sécurité routière.
 - L'audit de sécurité routière (voir section 7.3) comprend les étapes post-ouverture d'une nouvelle route et examine la sécurité réelle dans la pratique par rapport aux attentes. Un programme régulier d'évaluations de sécurité post-ouverture peut donner lieu à des modifications de conception en fonction des conditions locales.
- Une séquence régulière d'inspections et d'actions garantit l'examen de l'état et de la sécurité des routes, et la mise en œuvre de mesures correctives appropriées pour maintenir des performances optimales du réseau.

Pour en savoir plus

Wisconsin Department of Transportation. 2019. Work Zone Guidelines for Construction, Maintenance, and Utility Operations.

National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2018. Estimating the Safety Effects of Work Zone Characteristics and Countermeasures: A Guidebook. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/25007>.

Fédération routière européenne. 2015. Towards Safer Workzones—A constructive vision of the performance of safety equipment for work zones deployed on TEN-T roads.

Banque africaine de développement. 2014. Road Safety Manuals for Africa:

1. New Roads and Schemes Road Safety Audit;
2. Existing Roads—Proactive Approaches;
3. Existing Roads—Reactive Approaches.

4. CONCEPTION DES INFRASTRUCTURES POUR LES USAGERS VULNÉRABLES DE LA ROUTE

Description générale

Les usagers de la route vulnérables désignent généralement les modes de déplacement qui ne comprennent pas les voitures, les transports publics ou les véhicules commerciaux immatriculés, soit ceux où les usagers de la route sont protégés des blessures par un véhicule fermé. Les déplacements non motorisés et les motocyclistes font partie de cette catégorie.

L'utilisation des motos et des cyclomoteurs est en augmentation. Ils offrent une solution aux embouteillages croissants, aux problèmes de stationnement et au coût élevé que représente la possession d'une voiture particulière. Parmi les utilisateurs de ces modes de déplacement, l'on retrouve les motocyclistes amateurs sur des machines à moteur puissant, les jeunes, et les professionnels qui font la navette en cyclomoteur. Davantage d'informations concernant leurs problèmes de sécurité sont fournies à la section 4.3.

Une forme émergente de déplacement personnalisé est l'utilisation des scooters électriques, largement utilisés dans plusieurs pays. Toutefois, au moment de la rédaction du présent document, il n'a pas encore été possible de parvenir à un consensus particulier concernant la situation juridique relative à leur utilisation sur la route ou sur les voies piétonnes/cyclables. Leur vitesse relative par rapport au trafic motorisé et non motorisé normal est une préoccupation particulière, de même que la protection appropriée de leurs usagers.³⁹

Les déplacements non motorisés indépendants, qui comprennent à la fois la marche et le vélo, représentent une part essentielle des déplacements au sein des pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure (PRITI), tous les déplacements étant caractérisés par une phase de marche ou de mouvement indépendant. Cependant, les

dispositions relatives à ces types de déplacements sont souvent incohérentes ou intégrées après coup dans l'amélioration des déplacements motorisés.

Les problèmes mondiaux croissants que sont le changement climatique et l'obésité soulignent l'importance de ces déplacements indépendants, qui sont souvent la seule forme de déplacement disponible dans de nombreux PRITI, pour améliorer la santé personnelle et réduire les émissions de CO₂. La mise en place de réseaux appropriés et continus garantissant autant de déplacements indépendants que possible se révèle être un élément clé des déplacements durables. L'amélioration positive de ces formes de déplacement dans tout projet de sécurité routière est essentielle.

Les PRITI sont particulièrement favorables à la mise en œuvre de politiques indépendantes sur les déplacements non motorisés indépendants. Alors que les politiques de nombreux pays occidentaux se concentrent sur l'augmentation de la proportion de déplacements non motorisés, les PRITI enregistrent déjà une part importante de déplacements durables par leurs habitants.

La clé d'une conception réussie en faveur de déplacements non motorisés indépendants sécurisés consiste à veiller à ce que ces trajets soient directs, cohérents, confortables, sûrs et agréables. Au sein des PRITI, il est également prouvé que les adeptes des déplacements non motorisés indépendants, en particulier les cyclistes, préfèrent les itinéraires plus sûrs aux itinéraires plus courts dans certaines limites.⁴⁰ Bien que dans de nombreux cas, les adeptes des déplacements non motorisés indépendants suivent le réseau routier motorisé, cela ne doit pas être une condition préalable. Les réseaux indépendants de la circulation motorisée offrent des itinéraires plus sûrs, plus directs et plus agréables. Lorsque les usagers de la route vulnérables se doivent de suivre des itinéraires motorisés, ces derniers doivent être intégrés

³⁹ ETSC. 2019. Safer Roads, Safer Cities: How to Improve Urban Safety in EU.

⁴⁰ Majumdar, B. B., et Mitra, S. 2018. Analysis of bicycle route-related improvement strategies for two Indian cities using a stated preference survey, Transport Policy, Volume 63, pages 176-188.

dans une conception de « rues complètes » (voir section 2.4.3).

En 2012, le Programme international d'évaluation des routes (iRAP) a indiqué que 84 % des quelque 50 000 km de routes évaluées dans les PRITI où des piétons sont présents sont parcourus par des véhicules roulant à 40 km/h ou plus et ne comportent pas de voies piétonnes.

Conséquences pour la sécurité

- La conception des routes répond généralement aux besoins du trafic motorisé à quatre roues, négligeant par là les besoins des piétons, des cyclistes ou des motocyclistes.
- Les installations destinées à un piéton « type » peuvent ne pas accueillir une grande partie des utilisateurs, notamment les personnes âgées, les personnes handicapées et les enfants.
- L'augmentation de la vitesse des véhicules est associée à une augmentation de la gravité des blessures et de la mortalité des usagers de la route vulnérables. L'aménagement d'artères, de carrefours et de voies de circulation rapide sans accorder l'attention nécessaire aux installations destinées aux autres modes de transport augmente la probabilité que les usagers de la route vulnérables soient tués ou blessés lorsqu'ils empruntent la route.
- Les motos, les vélos et les piétons sont moins faciles à voir, en particulier par les véhicules plus rapides.

Figure 4.1: Séparation d'une voie de circulation pour véhicules, d'une piste cyclable et d'une voie piétonne sur une artère urbaine avec des pavés en béton sur la voie piétonne et une piste cyclable fermée.



Source : ITDP, 2019

La vitesse et le volume élevés des véhicules motorisés exigent la séparation et la protection des piétons et des cyclistes (figure 4.1). Le risque de blessures infligées aux piétons est élevé lorsqu'ils partagent la route avec des véhicules roulant à grande vitesse (plus de 30 km/h). Les collisions entre véhicules et piétons sont 1,5 à 2 fois plus fréquentes sur les routes dépourvues de trottoirs.⁴¹

- L'absence, l'inadéquation ou le mauvais état d'aménagements routiers tels que les itinéraires piétons définis et les passages piétons muni d'une signalisation augmentent le risque de blessures pour les piétons.
- Les piétons tombent sur les routes par manque de friction ou de traction entre les chaussures et la surface de marche en raison de surfaces mouillées, de conditions météorologiques dangereuses et de revêtements de sol ou d'autres surfaces de marche qui n'ont pas le même degré de traction à tous les endroits (figure 4.2). En outre, les obstacles à la visibilité des voies piétonnes (p. ex., des panneaux ou des arbres mal placés, un mauvais éclairage) augmentent également le risque. La qualité des voies piétonnes est capitale pour la sécurité des usagers, y compris les personnes handicapées. Accès pour les personnes handicapées
- Les carrefours impliquent des taux élevés de collisions et de blessures, car elles comportent de nombreux points de conflit.
- Les carrefours non contrôlés accentuent ces conflits, car les usagers vulnérables peuvent rencontrer des véhicules venant en sens inverse qui ne sont pas tenus de s'arrêter ou de céder le passage et qui roulent à des vitesses élevées.
- Les séparations verticales (passerelles et passages souterrains) sont coûteuses et nécessitent beaucoup d'espace. Elles peuvent également être inaccessibles à certains usagers, voire dangereuses du point de vue de la sécurité personnelle.

Les exigences de conception spécifiques pour les piétons, les cyclistes et les motocyclistes sont passées en revue dans les sections suivantes.

⁴¹ Knoblauch R. L., et al. 1988. Investigation of exposure-based pedestrian accident areas: crosswalks, sidewalks, local streets, and major arterials. Washington, DC, Federal Highway Administration.

Figure 4. 2: Pas de risque de trébuchement ou de sols glissants.



Source : Deep Dive on accessibility and transportation/Banque mondiale.

4.1. Conception des aménagements pour les piétons – Voies piétonnes

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

Aménagement de voies piétonnes séparées

- Dans les PRITI, l'utilisation mixte de l'espace routier est fréquente dans les zones urbaines et rurales. La vitesse, la taille et le volume de tous les types de véhicules sont des éléments essentiels à la mise en place de routes et d'installations sûres pour les usagers vulnérables.
- Afin de promouvoir un environnement sécurisé pour la marche, les piétons doivent disposer d'un réseau complet avec suffisamment d'espace pour marcher le long de l'emprise publique
- Dans les zones urbaines et suburbaines où le nombre de piétons peut être élevé, l'aménagement prend très souvent la forme d'une voie piétonne pavée ou fermée immédiatement adjacente à la chaussée et surélevée par rapport à celle-ci (figures 4.3 et 4.4).
- Si la vitesse et les volumes sont faibles, la séparation et la protection des usagers vulnérables s'avèrent moins nécessaires. Dans certains cas, ces usagers peuvent même

dominer l'espace de la rue (figures 4.5 à 4.7).

- Une largeur de 1,8 mètre est considérée comme le minimum absolu pour permettre aux piétons de se croiser sans avoir à s'engager sur la trajectoire des véhicules. Une augmentation de la largeur des voies piétonnes peut s'avérer nécessaire lorsque les flux de piétons augmentent, dans le but d'éviter tout débordement sur d'autres zones d'exploitation (p. ex., les bandes cyclables ou les voies de circulation).

Remarque : au vu des directives COVID-19 concernant la largeur de la voie piétonne, une augmentation de celle-ci à 2,5 mètres peut être requise.

- Pour faciliter l'écoulement des eaux, les voies piétonnes doivent présenter une pente transversale positive en direction de la chaussée. En règle générale, l'inclinaison s'élève à 2,5 % ou 1 pour 40, bien que des pentes plus faibles puissent être employées dans les régions où les hivers sont rudes, avec du verglas. Les pentes supérieures à 3,3 % (1 pour 30) rendent la marche difficile, en particulier pour les poussettes et les personnes en fauteuil roulant.
- La largeur des voies piétonnes, nécessaire à leur sécurité, est principalement déterminée par le type et la densité de l'aménagement du territoire, ainsi que par le volume et les besoins de circulation des piétons

Figure 4.3: Voie piétonne urbaine typique – Ghana.



Source : © John Barrell.

Figure 4.4: Voie piétonne urbaine avec protection contre le trafic et pente dangereuse, Ghana.



Source : © John Barrell.

Figure 4.5: Espace partagé en zone urbaine.



Source : © Soames Job.

Figure 4.6: Espace partagé – Inde.



Source : © Soames Job

Figure 4.7: Trafic mixte sur une route de campagne



Source : Banque mondiale

et des véhicules. En règle générale, ces facteurs sont exprimés en différents niveaux de service pour les voies piétonnes en fonction du taux de fréquentation, de l'espace par personne et de la description de la fréquentation.

- Outre la largeur de passage minimale mentionnée ci-dessus, il importe également de prendre en compte l'exploitation des terrains adjacents et la probabilité d'empiéter sur l'itinéraire piéton dégagé.
- Un concept de zonage qui divise la voie en trois zones principales (la zone de façade, la zone piétonne et la zone d'ameublement) peut assurer une utilisation sûre et pratique de l'espace dédié aux piétons. Chacune de ces zones joue un rôle important dans le bon fonctionnement d'un couloir piéton.
- Les voies piétonnes doivent être surélevées d'au moins 75 mm par rapport à la chaussée, avec une limite définie des deux côtés.
- Si l'on sait que les automobilistes montent régulièrement sur les voies piétonnes le long d'une bordure de trottoir, l'utilisation d'une bordure de trottoir haute doit également être envisagée comme substitut à l'utilisation d'une rangée de bornes. Une bordure de 125 à 140 mm empêche généralement les automobilistes de monter sur la voie piétonne lorsqu'ils s'arrêtent.
- Il est essentiel que la voie piétonne ne soit pas obstruée pour les piétons, ainsi que de comprendre les caractéristiques de l'ensemble de la population piétonne susceptible d'utiliser les installations afin de veiller à ce que la conception des installations piétonnes tienne compte de l'éventail des capacités des piétons (figure 4.8).

Figure 4.8: Voie piétonne obstruée et absence de bordure de trottoir à Manille.



Source : © Blair Turner/GRSF

Figure 4.10: Glissière de sécurité pour piétons mal entretenue – Inspection de la maintenance.



Source : TRL.

- Les piétons présentent un large éventail de caractéristiques et de besoins, tels que la vitesse de marche, les besoins liés à l'espace, les problèmes de mobilité et les capacités cognitives. Ils ont besoin d'indications claires à des fins d'itinéraires sûrs et d'identification des points de conflit avec les véhicules, comme l'utilisation de revêtements tactiles et un contraste visuel des surfaces (figure 4.9).
- Les installations pour piétons doivent être régulièrement entretenues pour garantir leur sécurité et leur fonctionnement (voir la figure 4.10 pour un exemple de glissières de sécurité mal entretenues).
- Dans les zones rurales, où la circulation piétonne peut être moins fréquente, des accotements praticables peuvent suffire lorsque les flux de véhicules sont importants. Il convient également de veiller à ce que ces accotements ne fassent pas office de voies de

Figure 4.9: Voie piétonne bien délimitée avec un itinéraire piéton clair et des indications tactiles en Chine.



Source : © John Barrell

Figure 4.11: Voie piétonne non protégée sur une route nationale rurale.



Source : PIARC

- circulation ou d'arrêt susceptibles de mettre en danger les piétons (voir la figure 4.11 pour un exemple de piétons exposés à des risques élevés en raison de l'absence de protection contre le trafic automobile).
- Pour les faibles flux de véhicules et les faibles vitesses, l'absence de voies piétonnes séparées peut également être une solution appropriée. Cependant, il importe de veiller à la fois à gérer la vitesse des véhicules et à s'assurer que les usagers vulnérables ne sont pas cachés par le tracé.
- Des pistes séparées ou des voies à usage partagé peuvent permettre aux piétons de circuler en toute sécurité le long des routes rurales, qu'ils se trouvent à côté de l'itinéraire des véhicules ou qu'ils soient complètement séparés (figure 4.12).

Figure 4.12: Infrastructure de transport séparée pour les piétons/usagers non motorisés sur une route rurale..



Source : PIARC.

Figure 4.13: Voie piétonne urbaine dégagée sur terre-plein central – Kenya.



Source : © Watetu Mbugua/GRSF/Banque mondiale.

Figure 4.14: Projet de trottoir vivant – transformation d'une voie piétonne inexistante en une voie piétonne protégée.



Source : Prefeitura Municipal de Fortaleza and Bloomer Philanthropies, PIARC

- Sur les routes rurales, et en particulier sur les routes urbaines à fort trafic, une séparation et une protection adéquates de la voie piétonne sont essentielles (figure 4.13).
- Idéalement, les voies piétonnes doivent être séparées à l'arrière de la zone de dégagement afin de minimiser les répercussions provoquées par les véhicules errants.
- Une zone tampon entre les piétons et les véhicules peut être prévue pour la signalisation, l'éclairage ou la plantation. Il convient de veiller à ce que ces éléments ne constituent pas un danger en bordure de route (voir section 5.7 sur les bords de route).
- S'il est impossible de procéder à une séparation, un système de retenue des véhicules adéquat doit être mis en place. Cela peut également dissuader les piétons de traverser la route. Cependant, des mesures supplémentaires peuvent aussi s'avérer nécessaires pour prévenir les interactions dangereuses entre les piétons et la circulation, et des points de passage sûrs et pratiques peuvent être mis en place pour éviter les traversées dangereuses.
- Les piétons et les véhicules peuvent partager le même espace en toute sécurité lorsque la vitesse est inférieure à 20 km/h. Dans ces zones partagées, les piétons ont la même priorité que les véhicules et la vitesse des véhicules est faible. Cela s'explique souvent par le nombre élevé de mouvements de piétons par rapport aux véhicules. Il importe de noter qu'il ne s'agit pas de couloirs de transport importants et qu'il convient de prévoir d'autres itinéraires de transit pour les véhicules.
- À des vitesses de 30 km/h, des dispositions distinctes doivent être prises lorsqu'une utilisation fréquente par les piétons est attendue (voir figure 4.14).

4.2. Conception des aménagements pour les piétons – Traversées

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

Un aspect crucial de la conception d'un itinéraire piéton sûr et accessible est la prise en compte des exigences de traversée du couloir motorisé. Pour ce faire, plusieurs manières, qui dépendent de la concentration et du volume de piétons et de véhicules, sont possibles.

Souvent, les piétons doivent être guidés vers les points de passage appropriés ou, au contraire, dissuadés de traverser dans des endroits dangereux. À cet effet, l'on utilise souvent des clôtures ou des glissières de sécurité à proximité du bord du trottoir. S'il n'existe pas d'autres points de passage sûrs et perçus comme pratiques, les barrières risquent d'être rapidement endommagées ou volées pour recréer le point de passage le plus direct (même s'il est dangereux).

Lors de l'examen des passages pour piétons aux carrefours, la capacité de traverser la route secondaire en toute sécurité se révèle être aussi importante que la traversée de la route principale afin d'assurer la continuité de l'itinéraire pour les piétons. Le niveau d'aménagement sur la route secondaire ne doit pas nécessairement être identique à celui sur la route principale, mais il est généralement plus sûr de maintenir le même niveau de contrôle sur chaque tronçon.

Il peut s'avérer nécessaire d'accorder une attention particulière aux passages pour écoliers, compte tenu de la vulnérabilité supplémentaire des enfants. Cela peut concerner des zones à vitesse réduite, des éléments de signalisation supplémentaires, des installations de traversée améliorées, voire des surveillants aux points de passage. Il convient d'accorder la même attention à la traversée par les piétons des routes secondaires et aux accès éloignés des carrefours officiels.

Traversée contrôlée/à niveau séparé

- Les traversées à niveau séparé (figures 4.15 à 4.17), qu'elles soient situées sous ou au-dessus des routes, sont des éléments d'infrastructure coûteux à installer. Elles doivent donc être justifiées par la demande et offrir un passage pratique. Sinon, elles seront ignorées.
- Lorsque des volumes importants de piétons sont concentrés à des endroits peu fréquents et spécifiques, il peut s'avérer judicieux d'aménager des traversées à niveau séparé, sous forme de passerelles ou de passages souterrains pour piétons. Ils consistent à séparer les piétons de la circulation en les plaçant à des niveaux différents et sont souvent utilisés là où les signaux de passage pour piétons entraîneraient des retards et des files d'attente ou des accidents (en raison de la vitesse élevée de la circulation). Avec les passages supérieurs et souterrains pour piétons, ces derniers doivent s'écarter de leur trajectoire privilégiée : un passage direct de A à B. Le choix de l'itinéraire pour les piétons est généralement déterminé par l'itinéraire le plus court, le plus rapide ou le plus pratique.⁴²

Figure 4.15: Passerelle à niveau séparé – Ethiopie.



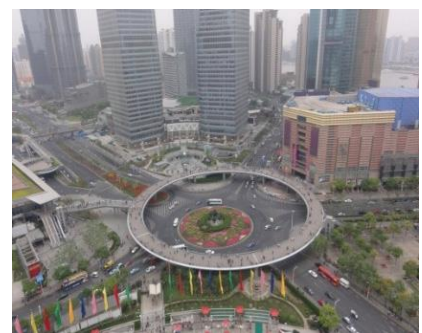
Source : © John Barrell

Figure 4.16: Passage souterrain à niveau séparé – États-Unis.



Source : Ceinture de verdure. Accessible à l'adresse <https://greenbelt2012.wordpress.com/2012/12/17/greenbelts-original-pedestrian-underpasses/>.

Figure 4.17: Pont piétonnier bien conçu – Shanghai.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

⁴² A. Agrawal, M. Schlossberg et K. Irvin. 2008. How far, by which route and why? A spatial analysis of pedestrian preference Journal of Urban Design, vol. 13 n° 1, 81-98.

Figure 4.18: Passage piéton muni d'une signalisation.



Source: iRAP.

- Tout écart par rapport à cette ligne droite, que ce soit verticalement ou horizontalement, réduit l'attrait de cet itinéraire et augmente la probabilité qu'il ne soit pas utilisé. La fermeture ou l'obstruction de l'itinéraire direct est nécessaire pour encourager l'utilisation de l'alternative la plus sûre.
- Idéalement, ces installations devraient être dotées de rampes plutôt que de marches pour accueillir les personnes à mobilité réduite, mais cela augmente souvent la longueur des déviations (voir 5.12 Bordures pour des exemples de bonne conception des croisements).
- Des lignes de vue dégagées à l'approche et au travers du passage à niveau et un éclairage suffisant doivent être prévus. Les personnes ne doivent pas pouvoir se cacher, car elles peuvent être perçues comme un risque pour la sécurité et la possibilité d'agressions personnelles, en particulier la nuit.
- Le risque d'agression personnelle réduit leur attrait et augmente la probabilité que les passages pour piétons ne soient pas utilisés.
- Pour être efficaces, ils doivent être conçus et implantés avec beaucoup de soin afin d'en faciliter l'accès. Ils ont également besoin d'un éclairage suffisant, d'un drainage adéquat et d'un entretien approprié pour les maintenir dans un état propre et soigné.
- Souvent, la présence d'un commerce de détail ou de vendeurs est une bonne chose pour renforcer la sécurité. Ce type de conception doit être encouragé.
- Une fois construits, ils ne peuvent pas être facilement déplacés pour s'adapter à l'évolution des modes de déplacement !
- Pour les passages souterrains, il est possible d'utiliser une hauteur réduite (2,5 m) et de surélever la chaussée d'un maximum de 1,5 m, ainsi que d'abaisser la voie piétonne afin de réduire à la fois le coût et l'impact.

Figure 4.19: Passages piétons en diagonale.



Source: London Evening Standard, 13 avril 2012.

Signaux de passage pour piétons

Il est beaucoup plus facile d'aménager des passages au même niveau que le reste de l'itinéraire, mais cela nécessite une séparation temporelle, c'est-à-dire des horaires spécifiques pour l'utilisation du même espace par les piétons et les véhicules.

- Les passages piétons munis d'une signalisation aux carrefours (figure 4.18) visent à réduire les conflits entre véhicules et piétons.
- Ils permettent aux piétons d'accéder au droit de passage pendant une phase piétonne verte, lorsque la circulation conflictuelle ou l'ensemble de la circulation est à l'arrêt.
- Aux carrefours où le volume de piétons est élevé, il est également courant de les traiter comme des passages piétons en diagonale (figure 4.19), où les mouvements de piétons de toutes les directions sont autorisés au cours d'une seule phase verte, y compris les mouvements diagonaux.
- Le feu vert pour les piétons doit être programmé de manière à leur donner suffisamment de temps pour terminer leur traversée avant que les signaux ne changent pour permettre à la circulation automobile de recommencer à emprunter le passage. (Supposons que le piéton marche à une vitesse de 1,2 m/s.)
- De longs temps d'attente pour les piétons peuvent augmenter la probabilité d'infractions.
- Les piétons doivent disposer d'un temps suffisant pour libérer le passage avant que la circulation ne puisse commencer lorsqu'aucun mouvement n'est autorisé à démarrer (période d'interdiction ou « complètement rouge »).
- Il peut y avoir des problèmes de conformité lorsque les véhicules ne respectent pas les signaux, ou le fait de ne pas céder le passage lorsque l'on tourne à la hauteur des

Figure 4.20: Passage piéton bien défini – Rwanda.



Source : © John Barrell.

Figure 4.21: Passage piéton surélevé pour ralentir les vitesses d'approche – Kenya.



Source : © John Barrell.

Figure 4.22: Passage piéton bien défini avec signalisation – Singapour.



Source: © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

signaux est un problème courant. Une phase d'anticipation peut être incluse dans les signaux pour permettre aux piétons de démarrer avant que les autres usagers de la route ne soient autorisés à le faire. Cette mesure est utile pour réduire l'incidence des véhicules qui tournent et heurtent les piétons aux carrefours, car elle offre une plus grande visibilité aux piétons qui traversent

- Des pavés tactiles devraient être installés pour guider les piétons malvoyants à travers le passage, et le stationnement devrait être supprimé à proximité immédiate du passage afin d'offrir des lignes de vue adéquates.
- Pour maintenir la sécurité et la séparation des usages, il est important que les voies de filtrage soient supprimées là où il y a des passages pour piétons.
- Les comptes à rebours des signaux peuvent également fournir aux piétons des informations sur la durée des phases. Les minuteurs affichent le temps restant avant la fin ou le début d'une phase verte pour les piétons et éliminent une partie du doute pour tous les usagers.
- Outre les passages munis d'une signalisation, d'autres passages donnant la priorité aux piétons sont généralement signalés par des panneaux et des marquages routiers peints (« passages piétons »).
- Ils formalisent l'emplacement du passage en donnant aux piétons la priorité sur les véhicules. Ils sensibilisent également les autres usagers de la route à la présence éventuelle de piétons, ce qui les incite à s'arrêter.
- Ils s'adressent également aux personnes à mobilité réduite, avec des rampes d'accès au niveau de la chaussée ou une chaussée surélevée au niveau du trottoir
- Un avertissement sonore et tactile de la phase de passage des piétons peut également être placé sur le poteau du feu de signalisation.
- En particulier lorsque la vitesse d'approche des véhicules est élevée, les passages piétons surélevés au niveau du sol peuvent améliorer la sécurité, mais ils doivent être clairement signalés et faire l'objet d'une signalisation avancée suffisante pour que les conducteurs puissent réagir à leur présence (figures 4.20 à 4.22).
- Il convient d'être particulièrement vigilant lors de la conception des passages piétons munis d'une signalisation, que ce soit aux carrefours ou à l'écart des carrefours, dans les environnements à vitesse élevée et à voies multiples. Les véhicules peuvent ne pas s'arrêter, soit parce qu'ils ne voient pas les signaux, soit parce qu'ils ne les respectent pas, ce qui entraîne des conséquences très graves.
- Les passages piétons surélevés ont un profil et un effet de réduction de la vitesse similaires à ceux des ralentisseurs plats (plates-formes de sécurité), mais ils diffèrent en ce sens qu'ils donnent la priorité aux piétons plutôt qu'aux automobilistes.
- Ils sont constitués d'une plate-forme surélevée sur laquelle se trouve un passage pour piétons signalé.
- Le passage surélevé sert à ralentir les véhicules, comme un dos d'âne ou une plate-forme, mais il augmente également la visibilité des piétons en raison de la hauteur accrue.
- Comme ils sont surélevés au niveau de la chaussée, ils ne nécessitent pas de rampe d'accès, mais ont besoin d'un revêtement tactile pour aider les aveugles et les malvoyants.

Figure 4.23: Îlot pour piéton



Source : © John Barrell.

Figure 4.24: Traversée contrôlée avec îlot.



Source : © John Barrell.

Figure 4.25: Manque d'espace pour les piétons sur le terre-plein central – Maurice – inspection de sécurité.



Source : TRL.

Figure 4.26: Peinture et rétrécissement à l'approche du passage piéton.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

- D'autres dispositifs de réduction de la vitesse peuvent être utilisés avant les passages pour piétons et entraînent généralement une diminution de la probabilité d'accident et de la gravité des collisions avec les piétons.
- Le rétrécissement de la chaussée peut également avoir des effets bénéfiques sur la sécurité : les piétons ayant moins de distance à parcourir, des aménagements peuvent être prévus pour les rendre plus visibles, et la vitesse peut être réduite. Il est également possible de diviser la dynamique des passages en deux en prévoyant un terre-plein central protégé ou un îlot pour les piétons (voir également la section des passages non contrôlés ci-dessous).

Passages non contrôlés

- Les passages larges (de plus de deux voies) peuvent être rétrécis en aménageant des îlots centraux afin de limiter le temps pendant lequel les piétons sont exposés à la circulation.

- Les piétons et les conducteurs doivent rester vigilants lorsque les piétons traversent des routes à plusieurs voies, car ils sont souvent cachés à la vue des conducteurs, et vice-versa, par les véhicules circulant sur les voies adjacentes.
- Les îlots pour piétons sont des îlots centraux surélevés au milieu de la route qui offrent aux piétons une zone où ils peuvent attendre en toute sécurité jusqu'à ce qu'un espace approprié leur permette de traverser (figures 4.23 et 4.24).
- Les îlots doivent être suffisamment larges pour protéger les piétons avec des poussettes (et les cyclistes) de la circulation (1,8 m) (figures 4.25 et 4.26).
- Cela simplifie la manœuvre de traversée pour les piétons en créant l'équivalent de deux rues à sens unique plus étroites au lieu d'une large rue à double sens.
- Les îlots sont particulièrement utiles pour les personnes en fauteuil roulant, âgées ou incapables de traverser la route d'un seul mouvement.

- Les îlots peuvent également présenter d'autres avantages, notamment celui de séparer les véhicules circulant en sens inverse, de contrôler la vitesse des véhicules en rétrécissant la chaussée et d'indiquer aux automobilistes l'endroit où les piétons sont susceptibles de traverser la route
- Les rampes d'accès aux trottoirs doivent être dotées d'un revêtement tactile afin d'être adaptées à toutes les conditions de mobilité.

- Les îlots seuls ne donnent aucune priorité aux piétons pour traverser.

Étude de cas

Les figures 4.27 à 4.29 illustrent l'installation de passages pour piétons.

Figure 4.27: Transformation d'un passage piéton inexistant en un passage piéton surélevé bien défini avec signalisation.



Source : Prefeitura Municipal de Fortaleza and Bloomberg Philanthropies, PIARC.

Figure 4.28: Installation d'un îlot pour piétons – Vietnam.



Source : iRAP

Figure 4.29: Installation d'un passage surélevé avec signalisation et voie piétonne protégée – Zambie



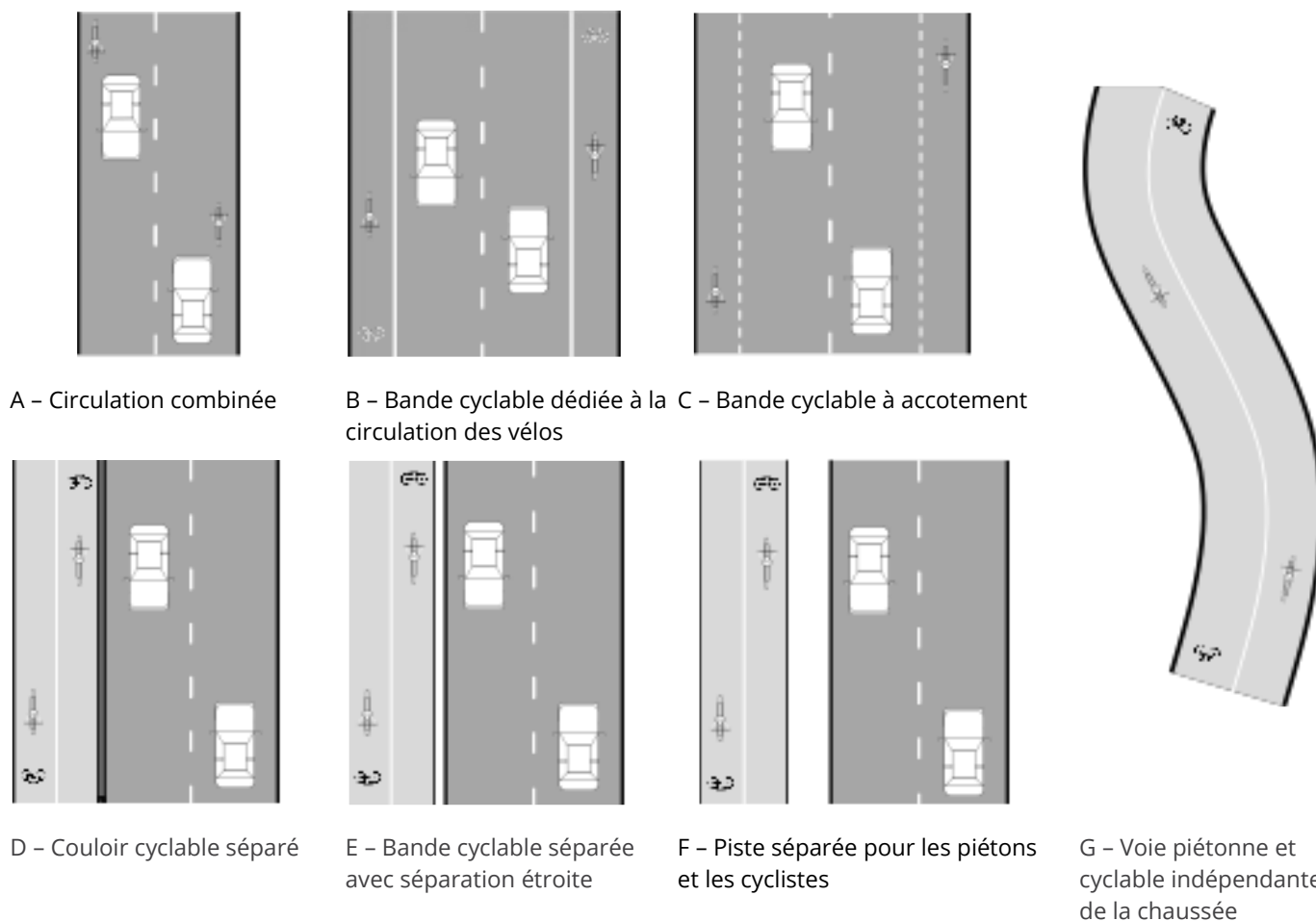
Source : iRAP

4.3. Conception des aménagements pour les cyclistes

La sécurité des cyclistes peut être assurée de différentes manières, qu'il s'agisse de réseaux cyclables séparés ou de bandes cyclables peintes sur la chaussée (figure 4.30).

Les autoroutes cyclables sont des voies séparées pour les cyclistes (et les piétons) à l'écart de la circulation motorisée (voir figure 4.30-G ci-dessus et figure 4.31). Elles peuvent faciliter les déplacements quotidiens à vélo sur de longues distances. Il peut s'agir d'une liaison régionale, d'un itinéraire de banlieue vers un quartier d'affaires ou d'une liaison entre des zones résidentielles

Figure 4.30: Exemples de couloirs cyclables



Source : © Milly Lumumba/GRSF/Banque mondiale.

Les autoroutes cyclables sont des couloirs séparés pour les cyclistes (et les piétons) à l'écart de la circulation motorisée (voir G ci-dessus et figure 4.31). Elles peuvent faciliter les déplacements quotidiens à vélo sur de longues distances. Il peut s'agir d'une liaison régionale, d'un itinéraire de banlieue vers un quartier d'affaires ou d'une liaison entre des zones résidentielles.

Elles ont été décrites comme l'épine dorsale du réseau cyclable au sens large, car les autoroutes cyclables relient souvent plusieurs réseaux locaux. Le Royaume-Uni dispose d'un réseau cyclable national qui s'est développé au fil des ans, sur d'anciens couloirs ferroviaires, des chemins de halage et des routes tranquilles à faible circulation. Le développement le plus récent est celui des « Barclays Cycle Superhighways » à Londres, qui visent toutes à encourager des déplacements à vélo sûrs et confortables. Les autoroutes cyclables offrent des pistes directes, plates et continues qui relient souvent des origines et des destinations populaires.

Figure 4.31: Voie verte – La Rochelle, France.

Source : Comité européen. Accessible à l'adresse https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cycling/guidance-cycling-projects-eu/cycling-measures/cycle-highways_en.

Elles ont été décrites comme l'épine dorsale du réseau cyclable au sens large, car les autoroutes cyclables relient souvent plusieurs réseaux locaux. Le Royaume-Uni dispose d'un réseau cyclable national qui s'est développé au fil des ans, sur d'anciens couloirs ferroviaires, des chemins de halage et des routes tranquilles à faible circulation. Le développement le plus récent est celui des « Barclays Cycle Superhighways » à Londres, qui visent toutes à encourager des déplacements à vélo sûrs et confortables. Les autoroutes cyclables offrent des pistes directes, plates et continues qui relient souvent des origines et des destinations populaires.

Les rues cyclables (également appelées « boulevards ») sont une forme de rue à circulation mixte où les besoins des cyclistes (et éventuellement des piétons) sont prioritaires par rapport à ceux des véhicules à moteur. Les pistes cyclables constituent un espace physiquement séparé dans lequel les cyclistes peuvent circuler sans se mêler aux véhicules à moteur, soit par un obstacle physique, soit en élevant la piste à un niveau supérieur (ou les deux), en prévoyant un dégagement latéral approprié (voir E ou F dans la figure 4.30). Les bandes cyclables peuvent être relativement rapides et peu coûteuses à mettre en œuvre, ce qui en fait l'une des formes les plus courantes de couloirs cyclables dans les villes. Elles peuvent être soit sur route (voir B ou C dans la figure 4.30), soit hors route ou sur des voies piétonnes partagées (voir D dans la figure 4.30), et permettent aux cyclistes de profiter de l'accessibilité qu'offre le réseau routier existant.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

Les cyclistes présentent un large éventail de capacités et d'utilisations, allant d'un usage récréatif occasionnel à des déplacements réguliers et à des cyclistes sportifs. Les besoins de chaque groupe sont différents et doivent être pris en compte dans toute disposition spécifique.

Les principes de base de la conception de la qualité visent à accroître la sécurité réelle et perçue :

- Limiter les conflits entre les cyclistes et les autres cyclistes, les piétons ou les automobilistes.
- Garantir des environnements peu stressants où le mélange avec d'autres utilisateurs est limité et contrôlé.
- Séparer les principaux itinéraires cyclistes des itinéraires piétonniers.
- Réduire les volumes et les vitesses de circulation des véhicules à moteur autour des cyclistes, en particulier lorsque les usagers de la route se mélangent.
- Séparer les cyclistes de la circulation motorisée rapide/lourde, en réduisant le nombre de rencontres dangereuses, y compris la séparation sur les itinéraires et/ou aux carrefours et le stationnement sur la voie publique.
- Veiller à ce que les points de conflit aux carrefours et aux croisements soient clairement présentés afin que les usagers soient conscients des risques et puissent adapter leur comportement en conséquence.
- La visibilité des cyclistes pour les automobilistes doit être maximale à l'approche des carrefours.
- Veiller à ce que l'infrastructure cycliste soit bien entretenue, en particulier la qualité de la chaussée et la continuité dans les carrefours. De larges accotements peuvent être aménagés pour permettre aux cyclistes de circuler, tout en les protégeant de la circulation automobile à l'aide de bandes rugueuses ou d'obstacles physiques (figures 4.32 et 4.33).

Pistes cyclables

- Pour les cyclistes, l'utilisation de pistes cyclables séparées (figures 4.34 à 4.37) est la solution idéale ; l'utilisation de ces voies par les motocyclistes/trois roues doit être prise en compte, ce qui peut rendre la situation plus difficile pour les piétons (et les cyclistes).

Figure 4.32: Cyclistes utilisant un accotement étroit – Rwanda.



Source : © John Barrell.

Figure 4.33: Cyclistes sur l'accotement scellé, le revêtement de la chaussée provoquant une différence de niveau – Rwanda.



Source : © John Barrell.

Figure 4.34: Piste cyclable urbaine en Chine.



Source : © John Barrell.

Figure 4.35: Piste cyclable à Pékin, Chine.



Source : © Blair Turner/GRSF/Banque mondiale.

Figure 4.36: Couloir cyclable séparé sur une autoroute en Éthiopie.



Source : Dipan Bose/Banque mondiale

Figure 4.37: Une bande cyclable bien conçue à Shanghai.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

- Pour qu'elles soient efficaces, il faut veiller au respect des règles de stationnement afin d'éviter que les véhicules ne les bloquent, et faire preuve de prudence aux carrefours.
- Sur les tronçons rectilignes de la chaussée, les pistes cyclables offrent une meilleure protection aux cyclistes que les bandes cyclables, car elles sont physiquement séparées des voies de circulation.
- Il est fortement recommandé de prévoir des zones tampons entre les pistes cyclables et les véhicules en stationnement ou en circulation.
- Aux carrefours, les concepteurs doivent veiller à ce que les cyclistes soient le plus visibles possible pour les automobilistes.
- Dans la mesure du possible, la priorité doit être accordée aux cyclistes aux carrefours sur les pistes cyclables (en particulier lorsqu'elle est accordée à la circulation sur la chaussée adjacente).
- Des marquages clairs et une signalisation d'accompagnement doivent être mis en place pour accroître la visibilité des pistes cyclables.
- Elles doivent être suffisamment larges pour que les cyclistes s'y sentent à l'aise et en sécurité (minimum 3 m) et permettre le dépassement entre cyclistes circulant dans la même direction ou en sens inverse.
- La largeur totale dépendra du nombre de cyclistes.
- Lorsqu'ils autorisent le double sens cyclable, le marquage de la ligne médiane doit être utilisé le long de la voie et aux carrefours pour sensibiliser les usagers.
- La surface des pistes cyclables doit être lisse (revêtement fermé), plane et bien entretenue.
- Les objets en bordure de route peuvent présenter un danger pour les cyclistes, en particulier à grande vitesse, et doivent donc être enlevés ou protégés dans la mesure du possible.
- Il est préférable que la surface soit colorée et que des symboles cyclistes soient utilisés pour améliorer la prise de conscience et la compréhension.

Bandes cyclables

- Lorsque la conception de la bande cyclable respecte les meilleures pratiques et que sa mise en œuvre fait partie d'un réseau cohérent, les bandes cyclables offrent un itinéraire sûr et pratique aux personnes qui se déplacent à vélo dans une ville.
- Dans les zones rurales, les bandes cyclables peuvent également être aménagées sur les accotements revêtus (les mises en garde concernant l'utilisation par les piétons mentionnées ci-dessus s'appliquent).
- Elles ne doivent être appliquées que dans les rues où le volume et la vitesse des véhicules à moteur sont moyens ou faibles.
- Lorsque la vitesse et/ou le volume des véhicules sont élevés, il convient d'utiliser des bandes cyclables séparées (figures 4.38 et 4.39).
- Les bandes cyclables doivent être suffisamment larges pour que les cyclistes se sentent à l'aise et en sécurité, qu'ils puissent laisser passer les autres usagers et que les surfaces soient lisses et planes.

Figure 4.38: Voie piétonne/cyclable partagée en Tanzanie.



Source : © John Barrell.

Figure 4.39: Bande cyclable séparée de la circulation des véhicules sur la route principale – Bucarest, Roumanie.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 4.40: Bande cyclable non réussie séparée de la circulation automobile et du stationnement – Bucarest, Roumanie.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

- La largeur minimale recommandée est de 2,5 m pour une seule direction.
- Des marquages clairs et une signalisation d'accompagnement doivent être mis en place pour accroître la visibilité des bandes cyclables.
- Des zones tampons peuvent être envisagées entre la bande cyclable et la circulation motorisée lorsque la sécurité est en jeu, en particulier lorsque la circulation de marchandises est importante.
- Des zones tampons entre la bande cyclable et les véhicules en stationnement sont fortement recommandées.
- Les bandes cyclables séparées de la circulation motorisée par de simples marquages routiers peints entraînent le stationnement et l'empiètement de la circulation mobile (figure 4.40).

Bandes cyclables en double sens

- Ce terme désigne les cycles circulant dans les deux sens sur une même installation.
- Cela peut contribuer à améliorer les conditions de circulation des cyclistes, notamment en augmentant l'accessibilité, la cohérence et la commodité, en particulier dans les réseaux urbains à sens unique.⁴³
- La circulation en double sens peut également contribuer à améliorer les conditions de circulation des cyclistes en général dans une ville, en facilitant les déplacements. Cette mesure peut être mise en œuvre par le biais
 - du vélo à double sens sans séparation sur une route non marquée (routes plus calmes), qui peut être mis en œuvre par l'utilisation de la signalisation ;
 - de l'utilisation de voies en double sens sur les routes à sens unique à forte circulation.
- Étant donné que la quasi-totalité des conflits a lieu aux croisements de routes, on considère souvent qu'il suffit de marquer les voies en double sens uniquement aux croisements (longueur de 10 m).

- En général, sur les tronçons rectilignes, aucun marquage n'est nécessaire.
- Ce coût moins élevé permet au cycliste de rouler au centre de la route lorsqu'il n'y a pas de circulation devant lui, ce qui réduit le risque de portière ou de stationnement des véhicules, et facilite le changement de direction de la route à sens unique.
- La mise en œuvre de voies en double sens peut impliquer des voies séparées et des aménagements de la chaussée et doit être décidée en fonction de facteurs tels que le volume et la vitesse de la circulation, ainsi que la largeur de la route.

Rues cyclables

Le vélo doit être le mode dominant, tandis que le nombre de véhicules motorisés doit être réduit au minimum. Il est plus probable que les rues cyclables soient mises en place sur des itinéraires cyclables de transit ou principaux, où la circulation motorisée doit accéder à des destinations locales (figure 4.41). La conception et la signalisation doivent clairement donner la priorité aux cyclistes, et l'itinéraire doit être attrayant pour les cyclistes en raison de son confort et de son caractère direct.

Figure 4.41: Rue cyclable – Royaume-Uni.



Source : Gear Change Une vision audacieuse pour le vélo et la marche

⁴³ https://ec.europa.eu/transport/themes/urban/cycling/guidance-cycling-projects-eu/cycling-measure/contra-flow-cycling_en.

Figure 4.42: Zone avancée pour cyclistes (sas vélos) avec bande cyclable en double sens.



Source : Brighton & Hove City Council.

Figure 4.43: Carrefour avec priorité de passage (pour les cyclistes) – Pays-Bas.



Source : Ambassade néerlandaise du cyclisme

Carrefours

L'intensité de la circulation, la vitesse et le nombre de voies de circulation doivent guider le choix de la conception du carrefour la plus appropriée. Dans tout carrefour, il y aura des points de conflit entre les modes de transport, mais une conception efficace des carrefours peut réduire les conflits possibles et augmenter la sécurité et le confort des cyclistes.

On connaît de mieux en mieux les types d'infrastructures qui peuvent être mises en place aux carrefours pour améliorer la sécurité des cyclistes. Une bonne conception comprendra généralement les principes suivants :

- Éviter de mélanger la circulation automobile et les cyclistes dans les endroits où le flux de circulation et/ou la vitesse sont généralement élevés.
- Sur les chaussées à faible circulation et à faible vitesse (généralement 30 km/h ou moins), les cyclistes se mêlent généralement au reste de la circulation routière, et il n'est généralement pas nécessaire de prévoir des infrastructures spécifiques pour les cyclistes aux carrefours.
- Maximiser la séparation entre les cyclistes et les mouvements de circulation dangereux.
- Des phases de feux de signalisation séparées pour les cyclistes et les automobilistes ou des itinéraires séparés par des passages supérieurs ou souterrains.
- Maximiser la visibilité des cyclistes.

- Sensibiliser les conducteurs à la présence de cyclistes à l'approche d'un carrefour.
- Utilisez des sas vélos (figure 4.42) et des feux verts avancés pour permettre aux cyclistes de traverser un carrefour avant le reste des véhicules.
- Les carrefours doivent être faciles à identifier, à comprendre et à utiliser en toute sécurité par tous les usagers des transports. Cela nécessite des aménagements spécifiques pour souligner le statut prioritaire des cyclistes.
- Quel que soit le type de carrefour, la visibilité des cyclistes est le premier facteur de sécurité.
- Dans les situations où les cyclistes et les automobilistes approchent du carrefour à proximité les uns des autres (bandes cyclables ou circulation mixte), on suppose que les conducteurs sont conscients de la présence des cyclistes.
- Dans les cas où les cyclistes sont séparés de la chaussée, il est conseillé d'aménager le couloir cyclable le long de la chaussée à l'approche du carrefour afin de sensibiliser les conducteurs à la présence des cyclistes.
- La ligne d'arrêt avancée/le sas vélos donne aux cyclistes l'avantage de s'éloigner des lignes d'arrêt de la signalisation.
- Il peut être nécessaire de prévoir des dispositions de virage aux carrefours pour les véhicules motorisés qui traversent les bandes cyclables, afin de garantir la visibilité des cyclistes. Il s'agit notamment d'un revêtement de couleur pour la bande cyclable et d'une signalisation supplémentaire.

Figure 4.44: Carrefour giratoire pour cyclistes – Pays-Bas.



Source : Bicycle Dutch.

Les carrefours giratoires à une voie sont considérés comme les carrefours les plus sûrs pour tous les usagers sur les routes à circulation modérée s'ils sont conçus correctement. Ils réduisent la vitesse de la circulation en approche et permettent une circulation fluide dans le carrefour. Les carrefours giratoires à deux voies sont particulièrement dangereux pour les cyclistes en raison du changement de voies des automobiles.

- Les carrefours à droite (figure 4.43) représentent la solution de carrefour la plus simple sur les routes dont la circulation est de faible intensité, tandis que les carrefours munis d'une signalisation sont recommandées lorsqu'un itinéraire cycliste traverse une route principale dont la circulation est de forte intensité, et en particulier s'il y a plusieurs voies de circulation.
- Les carrefours giratoires à voie unique (figure 4.44) sont généralement une alternative plus sûre aux carrefours munis d'une signalisation en raison de l'environnement à vitesse réduite qu'ils créent et de la diminution des points de conflit, bien qu'ils ne puissent pas accueillir autant de véhicules.
- Lorsqu'une piste cyclable très fréquentée traverse une route principale tout aussi fréquentée, il est préférable d'utiliser un passage piéton à niveau séparé (figure 4.45).

Étude de cas/exemple du cycle général

Nairobi, Kenya : Nairobi a été le premier pays pilote pour le concept « Share the Road » (Partager la route). Une route de démonstration a été construite, entièrement financée par le gouvernement. L'adaptation de l'avenue UN, longue de 1,70 km, comprenait la construction d'un trottoir de trois mètres de large des deux côtés et d'une bande cyclable bidirectionnelle de trois mètres (figure 4.46). La réhabilitation a également consisté à redessiner le carrefour sur Limuru Road et à ajouter une bretelle avec un îlot directionnel pour faciliter la traversée des piétons. L'arrêt de bus a été déplacé de quelques mètres pour éviter les conflits avec les véhicules qui tournent. Cette route a été sélectionnée en raison de la récurrence d'accidents graves

Figure 4.45: Carrefour giratoire suspendu pour cyclistes – Pays-Bas.



Source : Ronald Otten/Bicycle Dutch.

sur une courte période, ce qui a mis en évidence la nécessité d'améliorer l'état des routes.

La séparation des piétons et des cyclistes des véhicules grâce aux infrastructures de transport non motorisé a permis de réduire la gravité et le nombre d'accidents. Toutefois, l'amélioration des conditions de circulation a entraîné une augmentation de la vitesse des véhicules et de leur nombre. Les mesures de ralentissement de la circulation, telles que les passages zébrés surélevés et les îlots centraux, améliorent les conditions de traversée. Mais dans les sections où les véhicules continuent de circuler à grande vitesse, les passages piétons peints ont peu d'effet sur la circulation.

Malgré les modifications apportées à la piste cyclable pour faciliter le transport non motorisé,

Figure 4.46: Bandes cyclables séparées des piétons.



Source : Share the Road Design Guide UNEP/FIA.

Figure 4.47: Installation de passages piétons avec une zone avancée pour cyclistes – Inde.



Source : IRAP.

après six mois de fonctionnement, le nombre de cyclistes est resté stable sur le tronçon routier. Les enquêtes montrent que la plupart des cyclistes utilisent l'avenue comme voie d'accès, tandis que les piétons commencent ou terminent généralement leur trajet dans le quartier. Les trajets à vélo ont tendance à être plus longs que dans la zone d'intervention.

La figure 4.47 présente une autre étude de cas, celle de l'installation d'équipements de franchissement, y compris une zone avancée pour cyclistes, en Inde.

Pour en savoir plus

- OMS. 2013. Pedestrian safety: a road safety manual for decision-makers and practitioners, <https://www.who.int/publications/i/item/pedestrian-safety-a-road-safety-manual-for-decision-makers-and-practitioners>. À lire : chapitre 2, Pedestrian safety in roadway design and land-use planning,
- UN-Habitat & Institute for Transportation and Development Policy. Juillet 2018. Streets for walking & cycling—Designing for safety, accessibility, and comfort in African cities: À lire : la section concernant la voie piétonne, la piste cyclable, le carrefour et le processus de conception.
- Rapport de projet de l'ARRB n° : PRS17017. 2017. Road safety measures to achieve Safe System outcomes for pedestrians.
- FHWA. 2007. Pedestrian Road Safety Audit Guide-lines and

Prompt Lists FWHA-SA-07-007. À lire : chapitre 4, Using the guidelines and RSA prompt lists et chapitre 5, Guidelines—detailed descriptions of prompts.

- United Nations Environment Programme. 2013. Share the Road—Design Guidelines for NonMotorised Transport in Africa. À lire : chapitre 1, Policy for Walking and Cycling, chapitre 2, Improving Pedestrian Facilities et chapitre 3, Cycling Infrastructure.

4.4. Conception des aménagements pour les motocyclistes

Description générale

L'utilisation des motocyclistes et des cyclomoteurs est en augmentation et offre une solution aux embouteillages croissants, aux problèmes de stationnement et au coût élevé de la possession d'une voiture particulière. Les utilisateurs vont des motocyclistes amateurs sur des machines puissantes aux jeunes, en passant par les professionnels qui font la navette en cyclomoteur, les transporteurs de marchandises et les usagers des transports publics (figures 4.48 et 4.49). Ils constituent un mode de transport populaire parce qu'ils sont relativement bon marché par rapport à d'autres formes de véhicules motorisés, qu'ils assurent la mobilité de millions de personnes dans le

Figure 4.48: Transport de marchandises à moto – Kenya.



Source : © John Barrell.

Figure 4.49: motocyclistes « Boda Boda » Kenya.



Source : © John Barrell.

pris en compte dans la conception des routes et les mesures de gestion de la circulation.

Bien qu'il existe peu d'installations techniques visant à améliorer la sécurité des motocyclistes, certaines mesures ont été identifiées et sont considérées comme importantes. En outre, les motocyclistes bénéficieront des mesures de réduction de la vitesse en cas de circulation mixte, car ils sont moins visibles pour les conducteurs (profil plus petit) et apparaissent souvent là où l'on s'y attend le moins.

Il convient d'accorder une attention particulière à la conception des routes et des installations techniques de circulation lorsqu'un grand nombre de motocyclistes peuvent être attendus dans le flux de circulation. Bien que ces mesures n'éliminent pas complètement les accidents de motocyclistes, elles en réduisent la fréquence et la gravité.

Conséquences pour la sécurité

- Contrairement à d'autres formes de transport motorisé, les motocyclistes et leurs passagers sont très peu protégés en raison de leur taille, de leur manque de stabilité et de leur maniabilité.
- Une évaluation récente de l'iRAP portant sur 1 400 km d'autoroutes au Bangladesh a révélé la gravité des risques routiers pour les motocyclistes. En effet, l'évaluation a révélé que 71 % des autoroutes évaluées ont 2 étoiles ou moins (sur un total possible de 5 étoiles), ce qui indique un niveau relativement élevé de risque de décès et de blessures. La sécurité des motocyclistes représente donc un énorme défi pour les professionnels de l'ingénierie des transports.

- Lorsque des accidents se produisent, ils ont souvent des conséquences très graves, en particulier à des vitesses élevées ou dans des situations où des véhicules de plus grande taille sont impliqués.
- Les chances de survie d'un motocycliste ou d'un passager lors d'une collision avec une voiture sont fortement réduites lorsque la vitesse est supérieure à 30 km/h.
- Si de nombreux accidents de moto impliquent des collisions avec d'autres véhicules, un grand nombre d'entre eux sont des accidents impliquant un seul véhicule. Ces accidents incluent un motocycliste :
 - perdant le contrôle et quittant la route ;
 - dépassant ou franchissant la ligne médiane (généralement dans les virages) ;
 - heurtant un autre véhicule (ou un autre obstacle) par l'arrière ; ou
 - étant éjecté de la moto et heurtant la chaussée.
- L'environnement routier a une influence significative sur le risque d'accidents impliquant des motocyclistes. Les facteurs qui y contribuent sont les suivants :
 - Interaction avec des véhicules plus grands (voitures, camions) ;
 - Problèmes de revêtement (rugosité, nids-de-poule ou débris sur la route) et mauvaise adhérence ;
 - Eau, huile ou humidité sur la route ;
 - Marquage excessif de lignes ou utilisation de marqueurs de chaussée surélevés ;
 - Mauvais alignement horizontal et vertical des routes ;

- Présence de dangers sur le bord de la route ; et
- Nombre de véhicules et d'autres motocyclistes empruntant l'itinéraire.
- Les motocyclistes ont également des caractéristiques routières très différentes de celles des autres types de véhicules. Elles :
 - sont moins stables ;
 - peuvent accélérer beaucoup plus rapidement que les autres véhicules ;
 - peuvent apparaître dans des endroits où les autres usagers de la route ne les attendent pas ;
 - peuvent également changer brusquement de voie pour éviter un danger ou une irrégularité ;
 - sont beaucoup plus maniables que les voitures ou les véhicules plus lourds ; et
 - peuvent négocier beaucoup plus facilement des alignements contraignants.
- Cette dernière caractéristique pose des défis majeurs aux concepteurs de routes et influe fortement sur le risque d'accidents impliquant des motocyclistes, tout comme la qualité du revêtement routier et l'entretien des nids-de-poule et des couvertures des services publics.
- Lorsque les conducteurs débouchent de routes secondaires ou arrivent au bout des voies séparées, leur vue peut être obstruée, ce qui augmente le risque qu'ils ne voient pas les motocyclistes.
- Les entrées larges dans les carrefours prioritaires peuvent encourager les conducteurs à se ranger du côté opposé au cycliste, surtout si ce dernier est sur une machine de faible puissance. Cela accroît le risque de blessure lorsque le véhicule se déporte et se dispute la même place sur la voie avant.
- Une largeur excessive de l'entrée peut également inciter deux voitures à se garer côte à côte, ce qui empêche le conducteur voisin de voir la circulation venant en sens inverse sur la route principale et augmente les risques pour les motocyclistes.
- L'emplacement du mobilier urbain et de la végétation affecte la visibilité, qui est essentielle pour la sécurité aux carrefours.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

La séparation des motocyclistes des autres véhicules à moteur peut accroître la sécurité. Cette séparation peut prendre deux formes. Il est possible d'aménager des voies réservées aux motocyclistes ou des voies accessibles à tous. Ces voies communes offrent des itinéraires que les vélos et d'autres véhicules non motorisés peuvent également emprunter. Dans certains pays, les motocyclistes peuvent également emprunter les voies réservées aux bus.

Voies réservées aux motocyclistes

Les voies réservées aux motocyclistes nécessitent une chaussée séparée de celle utilisée par les autres véhicules.

- Elles peuvent minimiser les accidents aux carrefours en proposant des itinéraires séparés ou des contrôles.
- Leur largeur et leur adéquation dépendent de l'usage qui en est fait : plus l'usage est important, plus la largeur et le contrôle de la jonction sont importants.

Voies réservées aux motocyclistes

- Les voies réservées aux motocyclistes font partie de la route existante et sont généralement situées du côté de la chaussée principale (à côté des voies piétonnes ou des accotements) pour chaque sens de circulation.
- Des lignes peintes ou des obstacles physiques peuvent séparer les voies réservées aux motocyclistes du reste de la route.
- On peut dissocier les motocyclistes et les véhicules à moteur en autorisant l'utilisation partagée des voies de bus. Cependant, il est important de prendre en compte les flux de circulation des deux types de véhicules ; l'utilisation partagée à des moments précis de la journée pourrait être une mesure acceptable.
- Des mesures alternatives peuvent être nécessaires sur les liaisons partagées pour empêcher l'accès des véhicules à quatre roues, par exemple en plaçant des poteaux aux points d'entrée et de sortie.

- Il faut veiller à ne pas encourager le partage de tous les équipements, tels que les mesures en faveur des vélos aux carrefours ou même sur les passerelles, en raison des différences entre les vitesses respectives des véhicules.

Malgré l'existence de voies séparées pour les petits véhicules, l'utilisation partagée par les véhicules non motorisés et les motocyclistes n'est généralement pas autorisée, et les motocyclistes doivent généralement emprunter la chaussée principale.

Alignement

Pour répondre pleinement aux besoins des motocyclistes, la conception des routes doit prendre en compte les éléments suivants :

- Alignement horizontal cohérent, par exemple en évitant les coudes qui se resserrent après l'entrée.
- Transitions douces dans l'alignement vertical pour minimiser la perte d'adhérence du pneu et empêcher l'accumulation d'eau. L'impact est plus important sur les motocyclistes que sur les véhicules à deux voies (c'est-à-dire les rampes de ralentissement de la circulation aux carrefours).
- Conception des sections transversales en fonction de la vitesse de la route et du rayon des virages où une cambrure défavorable ou un dévers inadéquat peuvent avoir des conséquences plus graves pour les motocyclistes que pour les autres véhicules.
- La spécification et le positionnement du mobilier urbain, y compris les caractéristiques d'impact en cas de chute ou de glissement d'un corps, sont essentiels pour minimiser le nombre d'obstacles, en particulier dans les virages à grande vitesse, et pour utiliser des supports qui ne se cisailent pas avec des bords tranchants ou des protubérances susceptibles d'accrocher un motocycliste tombé.
- Sur les routes à plus grande vitesse, il faut également tenir compte de la « trajectoire balayée » du conducteur qui se penche dans les virages pour éviter les éléments du bord de la route et la circulation venant en sens inverse.

- Par rapport à tous les autres accidents de motocyclistes avec un seul véhicule, les impacts de motocyclistes avec des glissières sont beaucoup plus fréquents dans les courbes horizontales de faible rayon et sur les tronçons dont les pentes sont supérieures à 3 %. En ce qui concerne l'unique recommandation quantitative consistant à placer des contre-mesures dans les courbes horizontales dont le rayon est inférieur à 820 pieds (250 mètres), les concepteurs doivent examiner attentivement si l'application directe de ce critère est prudente compte tenu des données disponibles.⁴⁴

Carrefours

- Aux carrefours, les voies réservées aux motocyclistes rejoignent les voies de circulation générale pour permettre aux motocyclistes de changer de direction ou d'itinéraire.
- Une grande partie des collisions qui arrivent entre motocyclistes et voitures dans les zones urbaines sont dues au fait que les conducteurs n'ont pas vu la moto qui approchait ou qui était à côté. Cela peut être facilité par des zones avancées pour motocyclistes, semblables à celles utilisées pour les vélos (figures 4.50 et 4.51).
- Il est important d'optimiser les lignes de vue et d'offrir de bonnes surfaces de freinage à tous les usagers.
- Les motocyclistes doivent être capables de freiner et de s'arrêter en position verticale, en ligne droite et sur une surface offrant une bonne adhérence. Les revêtements à haute friction aux carrefours peuvent maximiser les chances du cycliste de freiner en toute sécurité.
- Assurer une résistance au dérapage cohérente et appropriée, y compris pour les éléments de surface supplémentaires tels que les taches colorées et les marquages thermoplastiques. Des panneaux de signalisation avancée et de direction clairs devraient minimiser la nécessité d'une telle signalisation de surface. L'obligation de se pencher dans les virages augmente la probabilité de perte de contrôle lorsqu'il y a une variation

⁴⁴ Gabauer, D.J. 2016. Characterization of roadway geometry associated with motorcycle crashes into longitudinal barriers. *Journal of Transportation Safety & Security*, 8(1), 75-96.

Figure 4.50: Motocyclistes à un carrefour – Thaïlande.

Source : Bangkok post.

substantielle de la résistance au dérapage entre deux types de matériaux différents. Il convient de garder à l'esprit les points suivants :

- Éviter d'utiliser des matériaux de surface différents, par exemple des blocs de granit, pour souligner un changement de situation aux points de changement de direction.
- Les marquages routiers thermoplastiques, certains types de pavés et les couvercles métalliques des services publics peuvent poser des problèmes particuliers aux motocyclistes dans ces situations.
- Il convient de bien réfléchir avant d'utiliser de grandes surfaces de hachures.
- L'utilisation d'un matériau antidérapant coloré de haute qualité, appliqué à froid, permet d'obtenir l'effet visuel requis sans présenter de danger pour les motocyclistes.
- Les carrefours giratoires doivent également être conçus de manière à ce que la courbure et la largeur de la voie d'accès soient correctes, afin de réduire la vitesse des véhicules et de s'assurer que les véhicules qui s'approchent ne sont pas positionnés à un angle trop oblique.
- Les aires de dépassement concentriques sont présentes sur les carrefours giratoires afin d'augmenter la déviation, de réduire les vitesses et d'être plus visibles pour les véhicules en approche.
- Il convient de veiller à ce que ce type de traitement ne constitue pas un danger supplémentaire pour les

Figure 4.51: Zone avancée pour motocyclistes.

Source : Westminster cycling campaign. <http://www.westminstercyclists.org.uk/asl.htm>.

motocyclistes qui circulent. Par exemple, lorsque les aires de dépassement présentent une légère saillie (10-20 mm) entre l'aire étendue et le reste de la chaussée, le motocycliste doit se pencher pour négocier un carrefour giratoire, et le franchissement de cette saillie peut entraîner une perte de contrôle.

- Les carrefours giratoires à voie unique sont considérés comme le type de carrefour le plus sûr pour tous les usagers sur les routes à circulation modérée. Ils réduisent la vitesse de la circulation en approche et permettent une circulation fluide dans le carrefour. Les carrefours giratoires à deux voies sont particulièrement dangereux pour les motocyclistes en raison de la circulation automobile entre les voies.

Glissières de sécurité

- Les glissières de sécurité en bordure de route sont conçues pour contenir un véhicule à double voie en cas de perte de contrôle et l'empêcher de traverser la trajectoire de la circulation venant en sens inverse ou de quitter la voie de circulation et d'entrer en collision avec un obstacle dangereux.
- La majorité des glissières de sécurité routière utilisées aujourd'hui sont conçues pour permettre aux voitures particulières et/ou aux véhicules lourds de s'arrêter de manière contrôlée et en toute sécurité. Cependant, lorsqu'ils sont heurtés par des motocyclistes, ces systèmes peuvent ne pas offrir le même niveau de protection.

Figure 4.52: Impact d'une moto avec une barrière en câble métallique.



Source : FEMA.

Figure 4.53: Glissière métallique typique.



Source : John Barrell.

- Les recherches montrent qu'il existe deux types dominants d'accidents de moto liés aux glissières.⁴⁵ Dans le premier cas, les motocyclistes heurtent la glissière en glissant sur le sol, après être tombés de leur moto. Dans ce type de collision, l'impact se produit principalement sur la partie inférieure de la glissière. Dans le second cas, les motocyclistes heurtent la glissière en position verticale alors qu'ils sont encore sur leur moto. Dans ce type d'événement, l'impact se produit principalement sur la partie supérieure de la glissière.
- Pour les cyclistes qui heurtent la glissière en position verticale, les angles aigus situés au sommet des poteaux constituent également un grave danger. Selon le manuel 231 de la Norwegian Public Roads Administration⁴⁶, le sommet des poteaux est particulièrement dangereux pour les motocyclistes s'ils tombent de leur moto lors d'un choc et atterrissent dessus, un avis partagé par Gibson et Benetatos (2000)⁴⁷ et Duncan et al. (2000).⁴⁸
- Le câble métallique (figure 4.52) constitue un autre type de glissière courant qui présente les mêmes dangers pour les motocyclistes que les systèmes en acier (tels que les poutres en W). Contrairement à la croyance populaire parmi les motocyclistes, les recherches montrent que ce

sont les poteaux exposés qui représentent le plus grand danger, et non les câbles métalliques. Par exemple, une étude réalisée en Inde, comparant les poutres en W et les glissières en câble métallique pour la sécurité des motocyclistes, a montré que les glissières en câble métallique retiennent toujours le motocycliste sur la route. Bien que les blessures aux extrémités inférieures aient augmenté dans certains cas, les blessures potentiellement mortelles à la tête du conducteur ont été réduites grâce à la glissière en câble métallique.⁴⁹ Duncan et al. (2000) a déclaré qu'il n'existe pas de preuves substantielles démontrant que les glissières en câble métallique présentent un risque plus important pour les motocyclistes que les dangers contre lesquels elles sont censées protéger les usagers de la route, tels que les arbres, les poteaux ou les véhicules circulant en sens inverse. Duncan et al. (2000) a également ajouté qu'il n'y avait pas de preuve de l'effet « guillotine » lors d'accidents corporels.

- L'espace sous le panneau principal des glissières continues peut permettre aux motocyclistes de glisser et d'entrer en collision avec les poteaux de fixation (figure 4.53).

⁴⁵ C. Erginbas et G. Williams. 2015. « Motorcyclists and Barriers on the Highways Agency Road Network », TRL (non publié).

⁴⁶ Norwegian Public Roads Administration, « MC Safety Design and Operation of Roads and Traffic Systems », Directorate of Public Roads, Norvège, 2004.

⁴⁷ T. Gibson et E. Benetatos. 2000. « Motorcycles and Crash Barriers », NSW Motorcycle Council, New South Wales.

⁴⁸ C. Duncan, B. Corben, N. Truedsson et C. Tiugvall. 2000. « Motorcycle and Safety Barrier Crash-Testing: Feasibility Study », Crash Research Centre, Monash University.

⁴⁹ Patel, H., Jani, D. et Joshi, A. 2018. Comparaison des blessures potentielles à la tête et aux extrémités inférieures d'un motocycliste lors d'un impact avec une poutre en W et des glissières en câble métallique à l'aide de simulations par éléments finis. *International Journal of Crashworthiness*, 23(1), 11-17.

Figure 4.54: Une lisse-basse ajoutée à la glissière métallique au Vietnam.



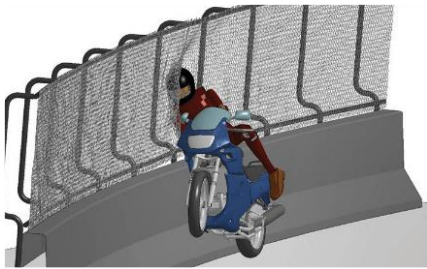
Source : iRAP.

Figure 4.55: Voie séparée par une glissière en béton pour les motocyclistes en Indonésie.



Source : La Banque mondiale.

Figure 4.56: Poteaux modifiés en forme de U et fixés à une glissière en béton incurvée



Source : © Texas A&M Transportation Institute/FHWA

- Les rails qui protègent les motocyclistes des poteaux et présentent une surface continue (figure 4.54), les atténuateurs d'impact qui recouvrent les poteaux de soutien eux-mêmes ou les glissières continues en béton (figure 4.55) sont de plus en plus utilisés pour réduire les risques pour les motocyclistes.
- Une étude menée aux États-Unis a montré qu'un nouveau système de confinement en grillage soutenu par des poteaux modifiés en forme de U et fixé à une glissière en béton incurvée empêcherait les motocyclistes d'être éjectés par-dessus la glissière, réduisant ainsi la gravité des blessures subies lors de l'impact (figure 4.56). Des simulations informatiques par éléments finis et par un essai de collision en grandeur réelle ont confirmé cette constatation.⁵⁰

Étude de cas

- La voie réservée aux motocyclistes en Malaisie (figure 4.57) mesure 14 km de long ; elle a permis de réduire le nombre d'accidents de 27 %, avec un rapport coûts-avantages de la construction de la voie évalué à environ trois. On estime qu'une extension ultérieure, construite en 1992, a permis de réduire les accidents de motocyclistes de 34 % sur le tronçon de route concerné.
- À titre d'exemple supplémentaire, les voies réservées aux motocyclistes peuvent également être inclusives, comme illustré dans la figure 4.58.

⁵⁰ Silvestri Dobrovolny, C., Shi, S., Kovar, J. et Bligh, R. P. 2019. Développement et évaluation des options de confinement par glissière en béton pour les chutes des motocyclistes. Transportation research record, 2673(10), 14-24.

Figure 4.57: Voie réservée aux motocyclistes – Malaisie



Source : © Hussain Hamid

Figure 4.58: Voie réservée aux motocyclistes – Malaisie.



Source : iRAP.

Pour en savoir plus

- Austroads guide on motorcycle and infrastructure. Accessible à l'adresse <https://austroads.com.au/publications/road-safety/ap-r515-16>.
- WHO guide for powered 2 and 3 wheeled vehicles. Accessible à l'adresse <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1081388/retrieve>.
- iRAP Road Safety Toolkit. <http://www.toolkit.irap.org/>.
- FHWA. 2016. Motorcycle Road Safety Audit Case Studies and Checklists. Accessible à l'adresse <https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/resources/docs/fhwasa16026.pdf>.
- IHE Guidelines for Motorcycling Road Design and Traffic Engineering. Accessible à l'adresse <http://www.motorcyclinguidelines.org.uk>. À lire : chapitre 3.
- Asian Development Bank. 2003. Vulnerable Road Users in the Asia and Pacific Region. À lire : chapitre 5, Motorcycles.
- EuroRAP. 2008. Barriers to Change—Designing Safe Roads for Motorcyclists. Accessible à l'adresse <https://road-safetyfoundation.org/project/barriers-change-designing-safe-roads-motorcyclists/>.
- Phathai Singkham. 2016. Separate lane for motor-cycle to reduce severity of road traffic injury among motorcyclist in Thailand. Thèse présentée en vue de satisfaire partiellement aux conditions d'obtention du diplôme de Master en santé publique. Accessible à l'adresse https://bibalex.org/baifa/Attachment/Documents/ntpjD-1a5OV_20170507113930220.pdf.
- To Quyen Le et Zuni Asih Nurhidayiti. 2016. A Study of Motorcycle Lane Design in Some Asian Countries.
- VicRoads. 2014. Making Roads Motorcycle Friendly.
- Banque mondiale. 2013. Improving Accessibility to Transport for People with Limited Mobility: A Practical Guidance Note. Washington, DC. <https://open-knowledge.worldbank.org/handle/10986/17592> License : CC BY 3.0 IGO

4.5. Transports publics – Arrêts d'autobus ; transport rapide par autobus et autres modes

Description générale

On considère généralement que les transports publics désignent les autobus, les autocars et éventuellement les tramways (figure 4.59) qui circulent selon des horaires réguliers et annoncés, à la fois dans les zones rurales et urbaines ; ils sont entièrement soumis au droit de passage public. Les transports publics constituent un moyen de transport efficace pour un grand nombre de personnes en zone urbaine. De plus, ils réduisent les embouteillages dans les villes très fréquentées.

Figure 4.59: Système de tramway – Ukraine.



Source : © John Barrell.

Figure 4.61: Service de bus Matatu – Kenya.



Source : © John Barrell.

Cependant, les autobus et les autocars ne représentent qu'une petite partie du réseau global de transport public, de transport en commun ou de transport de masse. Les transports publics constituent un système de transport mis à la disposition du grand public, à base d'horaires réguliers, de prix fixés en fonction de la longueur du trajet et d'itinéraires établis. Les déplacements s'effectuent dans des véhicules de différentes tailles et avec différentes conditions de contrôle. Dans les PRITI (pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure), la variété des transports publics est importante, allant du bus à haut niveau de service (BHNS) (voir figure 4.60) circulant dans des couloirs définis et protégés à des taxis partagés ou des motos/vélo-taxis peu réglementés (voir figures 4.61 et 4.62).

Il existe une grande variété de véhicules utilisés pour le transport des passagers et de leurs biens sur les routes, tels que les cyclo-pousses,

Figure 4.60: Voie BHNS – Bolivie.



Source : Banque mondiale.

Figure 4.62: Cyclo-pousse – Inde.



Source : Banque mondiale.

les cyclo-pousses motorisés, les voitures (y compris les taxis), les monospaces, les bus et les camions. Ces types de services sont répandus en Afrique et en Asie.

Le degré de réglementation et de contrôle des services de transport public varie d'un pays à l'autre et, en particulier dans les PRITI (pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure), ce niveau de contrôle peut être très limité. Bien que les transports publics soient considérés comme un moyen de transport plus sûr, les accidents peuvent entraîner un grand nombre de décès lorsque les services sont mal réglementés, les véhicules mal entretenus et souvent surchargés. C'est souvent le cas dans les PRITI (pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure) où la surpopulation, les excès de vitesse et le manque d'entretien des véhicules peuvent entraîner de fréquentes collisions à morts multiples.

Les systèmes de transport public bien réglementés suivent des itinéraires fixes avec des points d'embarquement/débarquement déterminés selon un horaire préétabli, les services les plus fréquents fonctionnant selon un intervalle (par exemple, « toutes les 15 minutes », par opposition à un horaire précis de la journée).

Le transport adapté est le terme utilisé pour désigner les services de transport qui complètent les transports en commun à itinéraire fixe en proposant des trajets individualisés sans itinéraire ni horaire fixes. Les services de transport adapté peuvent varier considérablement quant au degré de flexibilité qu'ils offrent à leurs clients. Dans leur forme la plus simple, ils peuvent consister en un taxi ou un petit bus qui circule le long d'un itinéraire plus ou moins défini et s'arrête pour prendre ou laisser des passagers à la demande. À l'autre extrémité du spectre (le transport entièrement à la demande) les systèmes de transport adapté les plus flexibles offrent un service à la demande, sur appel et de porte à porte de n'importe quel point d'origine à n'importe quelle destination dans une zone de service. Outre les agences de transport public, les services de transport adapté sont gérés par des groupes communautaires ou des organisations à but non lucratif, ainsi que par des entreprises ou des opérateurs privés à but

lucratif. Le contrôle et la réglementation des points de dépose et de ramassage des passagers sont difficiles et peuvent conduire à l'utilisation d'endroits inappropriés et peu sûrs.

Les taxis partagés, qui offrent des services à la demande dans de nombreuses régions du monde, peuvent concurrencer les lignes de transport public fixes ou les compléter en amenant les passagers aux points d'échange. Ces services de transport en commun moins formels sont parfois utilisés dans les zones à faible demande et pour les personnes qui ont besoin d'un service porte-à-porte.

Conséquences pour la sécurité

- Les déplacements en transports publics formalisés sont très sûrs et perçus comme tels.⁵¹ Les estimations pour la Norvège pour 1998-2002 indiquent 0,93 décès dans des accidents de la route par milliard de passagers-kilomètres pour les bus, contre 3,82 décès par milliard de kilomètres pour les voitures (conducteur et passager), soit environ un quart de celui des automobiles.⁵² Les services moins bien réglementés et surpeuplés dans les PRITI (pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure) ont une incidence élevée de décès en cas d'accident.
- De par sa grande taille, un autobus protège bien ses occupants. Les véhicules plus petits et moins stables sont plus risqués.
- La plupart des blessures subies dans les collisions où des autobus réglementés sont impliqués le sont par d'autres usagers de la route.⁵³
- Chaque type de véhicule présente des problèmes de sécurité spécifiques, mais tous ces véhicules ont un point commun : les accidents impliquant ces véhicules font souvent de nombreux blessés et morts (jusqu'à 80 ou plus dans certaines régions où les bus sont surchargés).⁵⁴
- Un autre de ces problèmes est le danger lié au ramassage ou à la dépose des passagers, qui requiert de faire preuve d'une extrême prudence à ces endroits.
-

⁵¹ Elvik, R. et Bjørnskau, T. 2005. How accurately does the public perceive differences in transport risks? An exploratory analysis of scales representing perceived risk. *Accid. Anal. Prev.* 37, 1005-1011.

⁵² Litman, T. 2020. *Terrorism, Transit and Public Safety: Evaluating the Risks* by Victoria Transport Policy Institute. March 20, 2020

⁵³ Elvik, R. 2019. Risk of non-collision injuries to public transport passengers: Synthesis of evidence from eleven studies *Journal of Transport and Health* Vol. 13, pp. 128-136.

⁵⁴ iRAP Road Safety Toolkit.

- Les bus peuvent également bloquer la vue des piétons qui tentent de traverser aux feux. Il existe donc un risque accru d'accident lié au non-respect involontaire de la signalisation.
- Les opérateurs de transport public travaillent souvent de longues heures pour rester en activité et gagner un salaire correct.
- Afin de concurrencer d'autres opérateurs, ils adoptent parfois des vitesses élevées ainsi que des arrêts soudains et fréquents pour prendre des passagers.
- Non seulement les véhicules de transport public présentent des dangers pour ceux qui y montent (dessus ou dedans), mais aussi pour les autres usagers de la route. Cela est d'autant plus vrai que la taille du véhicule augmente.
- L'emplacement des arrêts de bus qui masquent les carrefours ou la signalisation, ou qui gênent les mouvements de la circulation, pose des problèmes de sécurité particuliers pour tous les usagers.
- Les chutes survenant en allant prendre un transport public ou en quittant un de ces transports font partie des risques des trajets de porte à porte.
- Un meilleur entretien des routes, surtout en hiver, peut également réduire le nombre de chutes.
- Les couloirs de bus sont des facteurs d'augmentation du nombre d'accidents, du moins des accidents corporels. L'augmentation est la plus forte pour les voies de bus à l'américaine, où les systèmes de partage des trajets avec les voitures particulières sont également autorisés. Plusieurs raisons peuvent expliquer les causes d'accidents liées à ce type de couloir de bus :
 - Ces couloirs de bus sont souvent construits dans le terre-plein central ou sur la voie de gauche des autoroutes, c'est-à-dire là où la circulation est la plus rapide.
 - Entrer ou sortir de ces couloirs de bus requiert plusieurs changements de voie (les grandes autoroutes américaines ont souvent trois, quatre ou cinq voies de circulation dans la même direction).⁵⁵
 - Il peut y avoir de grandes différences de vitesse entre un couloir de bus et les autres voies de circulation.
 - En outre, les bus et les voitures légères utilisent tous deux la voie réservée aux bus. Ce type de couloir de bus est un facteur d'augmentation d'accidents. En Norvège, les bicyclettes, les cyclomoteurs et les motos sont également autorisés à circuler dans la voie de bus. Cela signifie que les véhicules les plus lourds et les plus légers utilisent la même voie de circulation.
 - Il peut être nécessaire de traverser la voie de bus en cas de changement de direction à un carrefour. En cas d'intense circulation, les différences de vitesse entre une voie de bus et les autres voies de circulation peuvent être relativement importantes.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

Bus à haut niveau de service

- Le bus à haut niveau de service (BHNS) (voir figure 4.63) est un mode de transport de masse efficace et de haute qualité offrant une capacité et une vitesse comparables à celles du rail urbain (rail léger et lourd)
- Dans les villes des pays en développement, la mise en place de systèmes de BHNS en milieu de chaussée s'est généralement avérée avoir un impact positif sur la sécurité. Des recherches menées en Australie indiquent que les systèmes donnant la priorité aux bus (y compris la priorité à la signalisation et les voies réservées) ont également eu un impact positif sur la sécurité.⁵⁶
- En moyenne, les BHNS en Amérique latine ont contribué à une réduction de plus de 40 % du nombre de morts et de blessés, et à une réduction de 33 % du nombre d'accidents avec dommages matériels uniquement dans les rues où ils ont été mis en place. L'effet moyen est assez cohérent dans les différentes régions du monde, comme le montrent les impacts similaires du BHNS de Janmarg à Ahmedabad, en Inde.⁵⁷

⁵⁵ Elvik, R. et al. 2009. Handbook of Road Safety Measures, 2nd ed.

⁵⁶ Duduta, N. et al. 2015. Traffic Safety on Bus Priority Systems, EMBARQ WRI.

⁵⁷ Carrigan, A. et al. 2013. Social, Environmental and Economic Impacts of Bus Rapid Transit, EMBARQ WRI.

Figure 4.63: Voies réservées aux bus pour le système de bus à haut niveau de service.



Source : Dubuta, N. et al. 2015.

- La principale raison pour laquelle les systèmes BHNS ont eu un impact positif sur la sécurité en Amérique latine est que, pour accueillir l'infrastructure BHNS, la ville a supprimé des voies, introduit des terre-pleins centraux, raccourci et amélioré les passages pour piétons, et interdit les virages croisés au trafic général à la plupart des carrefours.
- Dans les systèmes de bus à haut niveau de service, les arrêts de bus peuvent être plus élaborés que les arrêts de bus dans la rue, et peuvent être appelés « stations » pour refléter cette différence. Ils peuvent comporter des zones fermées pour permettre le retrait des billets à l'extérieur du bus en vue d'un embarquement rapide et être plus espacés, comme les arrêts de tramway. Les arrêts de bus d'une ligne de bus rapide peuvent également avoir une construction plus complexe, avec des plates-formes d'embarquement de plain-pied et des portes séparant l'enceinte du bus jusqu'au moment de l'embarquement.
- L'aménagement de voies réservées aux bus empêche l'utilisation de ces voies par la circulation générale et limite le stationnement et le chargement pour les propriétés adjacentes. L'obstruction de la voie de bus par d'autres véhicules annule les avantages d'une voie réservée et nécessite une manœuvre dangereuse pour que les deux véhicules entrent et sortent de la circulation générale.
- Il convient d'être particulièrement vigilant aux carrefours où la voie réservée aux bus se termine pour permettre à l'ensemble de la circulation de se mettre en file d'attente ou aux bus de tourner en travers du flux de circulation principal.
- Les bus peuvent bénéficier d'avantages supplémentaires aux carrefours contrôlés par des feux de signalisation, avec des lignes d'arrêt et des phases d'appel spécifiques.

Figure 4.64: Voie de bus et signalisation de priorité – Royaume-Uni.



Source : Google Street view.

Couloirs de bus

- Il s'agit de voies réservées à l'intérieur de la chaussée principale pour permettre aux bus de contourner les embouteillages (figure 4.64). Ils sont généralement situés du côté le plus proche de la chaussée pour permettre aux passagers d'accéder facilement à la voie piétonne adjacente. Ils sont souvent séparés de la circulation principale par une simple ligne blanche continue, bien que dans certains cas ils puissent être séparés par un terre-plein central.

Arrêts de bus

- Les arrêts de bus sont les endroits où les passagers entrent et sortent du bus et passent du statut de passager à celui de piéton (figure 4.65). En fonction du nombre, de la taille et de la fréquence des véhicules qui utilisent les arrêts, leur complexité peut varier.
- Les piétons doivent pouvoir accéder aux arrêts de bus en toute sécurité. Si les piétons doivent traverser des routes très fréquentées où des manœuvres complexes sont nécessaires pour accéder aux bus ou les quitter, ils risquent d'être victimes d'accidents.
- Dans les zones rurales où les services sont moins fréquents, il y a besoin d'une identification claire des aires d'arrêt officielles pour éviter les manœuvres dangereuses et la détérioration de l'accotement (voir figure 4.66).
- Les arrêts de bus doivent être partout clairement identifiés et accessibles en toute sécurité, quel que soit le type de véhicule qui les utilise.
- L'infrastructure des arrêts de bus va d'un simple poteau et d'un panneau à un abri rudimentaire, en passant par des structures sophistiquées. Le minimum habituel est un drapeau monté sur un mât avec un nom/symbole approprié.
- Les abris d'arrêt de bus peuvent avoir un toit complet ou partiel, soutenu par une construction à deux, trois ou quatre côtés. Les arrêts modernes sont de simples constructions en acier et en verre/perspex, bien que dans d'autres endroits, il y ait aussi des arrêts en bois, en brique ou en béton.
- Les arrêts de bus individuels peuvent être simplement placés à côté de la chaussée (souvent sans trottoir dans les zones rurales), bien qu'ils puissent également être placés pour faciliter l'utilisation d'une voie de bus. Des installations plus complexes incluent la construction d'un arrêt de bus ou d'une bordure de bus, pour des raisons de gestion de la circulation, bien que l'utilisation d'un couloir de bus puisse rendre ces installations inutiles.
- Les arrêts de bus ne doivent pas être situés de manière à ce que les bus à l'arrêt obstruent la ligne de visibilité du feu de signalisation.
- Dans les centres urbains les plus fréquentés, des échangeurs complexes peuvent être nécessaires pour accueillir un grand nombre de véhicules et de passagers. Ils ont besoin de séparer les deux utilisateurs jusqu'au point d'embarquement et d'offrir des baies individuelles pour des services distincts.
- Lorsqu'il existe des aires de repos (voir figure 4.67), elles peuvent être encombrées de passagers en attente et les chauffeurs de bus ont tendance à ne pas les utiliser. Ce comportement est fréquemment observé sur les routes à forte circulation, où le conducteur risque d'éprouver des difficultés à se fondre à nouveau dans le flux de la route principale.
- Plusieurs arrêts de bus peuvent être regroupés pour faciliter le passage d'une ligne à l'autre. Ceux-ci peuvent être disposés en une simple rangée le long de la rue, ou en rangées parallèles ou diagonales de plusieurs arrêts. Les groupes d'arrêts de bus peuvent faire partie intégrante des centres de transport. Avec des installations supplémentaires telles qu'une salle d'attente ou un guichet, les regroupements extérieurs d'arrêts de bus peuvent être considérés comme des gares routières rudimentaires. L'arrêt peut comprendre un mobilier urbain séparé tel qu'un banc, un éclairage et une poubelle

Figure 4.65: Arrêt de trolleybus en bordure de route – Ukraine, avec abri et kiosque.



Source : © John Barrell.

Figure 4.66: Arrêt de bus d'un village rural au Burundi, sans signalisation ni équipement.



Source : Banque mondiale.

Figure 4.67: Gare routière – Ghana et Roumanie, utilisée comme garage.



Source : © John Barrell et Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

- Dans les centres urbains les plus fréquentés, des échangeurs complexes peuvent être nécessaires pour accueillir un grand nombre de véhicules et de passagers. Ils ont besoin de séparer les deux utilisateurs jusqu'au point d'embarquement et d'offrir des baies individuelles pour des services distincts.
- Quel que soit le niveau de l'offre, les éléments clés sont les suivants :
 - Les véhicules doivent pouvoir entrer, s'arrêter et quitter le site en toute sécurité et sans heurts.
 - Les aires de repos doivent être placées sur des tronçons de route droits et plats et doivent être visibles à bonne distance dans les deux sens.
 - L'accès à une aire de stationnement doit être pratique et sûr pour les véhicules et, dans le cas des arrêts de bus, pour les piétons.
 - Une signalisation avancée doit être installée pour avertir les conducteurs de l'approche des arrêts de bus et de la présence éventuelle de piétons.
 - Les passagers sont avertis suffisamment à l'avance (soit à l'intérieur du véhicule, soit par une signalisation extérieure) pour leur permettre de se tenir debout en toute sécurité et confortablement.
 - Des zones de file d'attente adéquates doivent être disponibles afin que les passagers en attente n'utilisent pas la route ou une aire de stationnement réservée aux bus.
 - Les passages pour piétons doivent être placés avant l'arrêt de bus pour faciliter la visibilité des piétons qui traversent et la sortie du bus de l'arrêt, que ce soit au bord du trottoir ou dans un espace de stationnement
- Des itinéraires adéquats et sûrs sont prévus entre les arrêts et le réseau piétonnier environnant.
- Les lieux d'arrêt et d'attente sont clairement identifiés et protégés.
- Les arrêts informels sur l'autoroute ou l'accotement doivent être évités.
- L'amélioration des voies piétonnes et des itinéraires piétonniers bien entretenus, ainsi que les courtes distances entre les arrêts de bus, peuvent réduire les distances de marche et donc le nombre de blessures.

Pour en savoir plus

- Sécurité routière sur les systèmes de priorité aux bus. 2105. EMBARQ WRI. À lire : chapitres 4 et 8 sur les études de cas de BHNS.
- *Bus Stop Design and Safety Guideline Handbook*. 2014. Imperial County Transportation Commission USA. À lire : section 5, On street bus stop et section 6, Off street transit transfer stations.
- *Public Transport Interchange Design Guidance*, Auckland Transport NZ. 2013. À lire : chapitre 3, Design principes et chapitre 4, Auckland interchange hierarchy.
- *Interchange Best Practice Guidance*. 2009. Transport for London, UK. À lire : thèmes et principes de conception.

5. SECTION TRANSVERSALE ET ALIGNEMENT

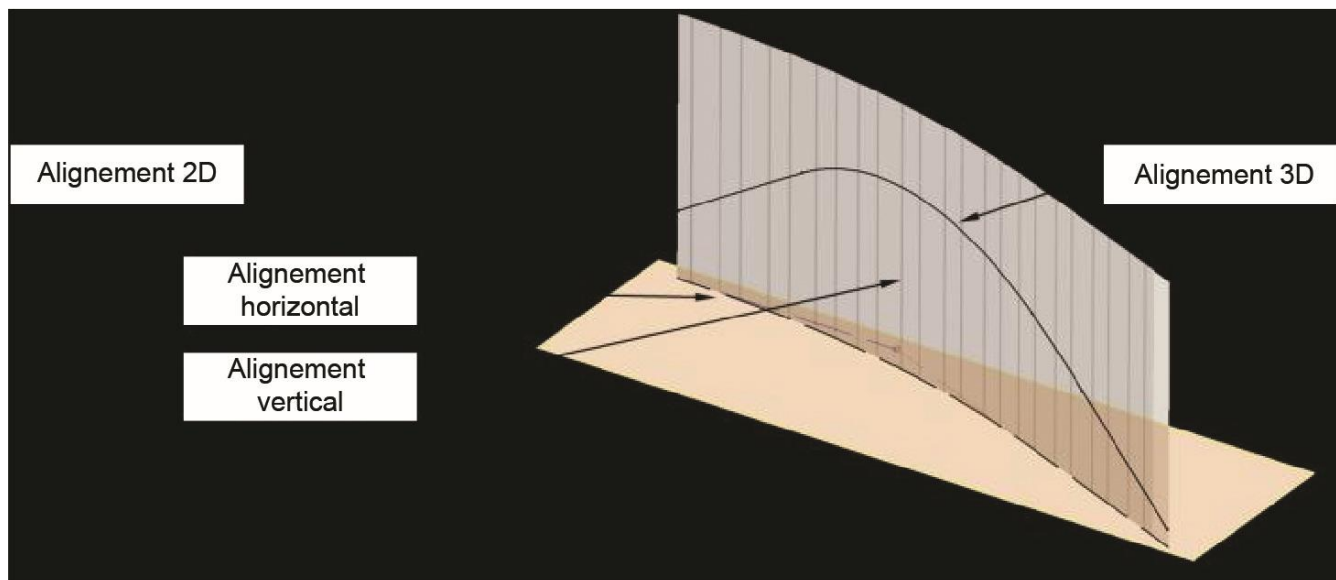
La conception d'une route peut être divisée en trois parties principales : le tracé horizontal, le profil/le tracé vertical et la section transversale. Ensemble, ils fournissent un plan tridimensionnel de la chaussée (figure 5.1).

- Le tracé horizontal est l'itinéraire de la route, défini comme une série de tangentes horizontales (lignes droites) et de virages (généralement circulaires). Il est généralement représenté sous forme de plan par la géométrie de la ligne médiane avec les lignes de voies et de bordures.
- Le profil/alignement vertical est l'aspect vertical de la route, y compris les courbes de crête et d'affaissement, et les lignes droites de niveau qui les relient. Il est généralement représenté sous forme de profil et comprend une coupe du terrain existant le long de la ligne médiane de la route.
- Le profil en travers montre la position et le nombre de voies de circulation, y compris les bandes cyclables et les trottoirs, ainsi que leur pente transversale. Les coupes

transversales montrent également les caractéristiques de drainage, la structure de la chaussée et d'autres éléments qui ne relèvent pas de la catégorie de la conception géométrique. Il peut s'agir d'une « section type » montrant les largeurs standard ou recommandées des éléments de conception, ou de sections à des endroits spécifiques utilisées pour mettre en évidence des caractéristiques particulières.

Chacune de ces parties est composée d'éléments de conception géométrique, notamment des courbes horizontales et des lignes droites, des courbes verticales et des pentes, des largeurs de voie, des largeurs d'accotement, des largeurs centrales, des dévers et des pentes transversales, entre autres. La conception de ces éléments influe sur la sécurité et des conceptions très restrictives, telles que des courbes horizontales prononcées ou des voies très étroites, par rapport aux vitesses de déplacement, entraînent souvent des taux d'accidents

Figure 5.1: Disposition tridimensionnelle combinée à des alignements horizontaux et verticaux.



Source : © Julian Amann

considérablement plus élevés. Certaines combinaisons de ces éléments peuvent également avoir des conséquences graves en cas d'accident. Il est important de garder à l'esprit les principes d'une bonne conception géométrique tels qu'ils ont été discutés dans la section 2.1. La conception doit aboutir à un environnement routier conforme aux attentes des usagers de la route ou « non surprenant », ainsi que « indulgent » dans le sens où les erreurs des usagers de la route peuvent, dans la mesure du possible, être corrigées, voire évitées. La vitesse de conception choisie pour déterminer les caractéristiques du tracé et du profil en travers de la route doit être réaliste et compatible avec la vitesse d'exploitation prévue (voir section 3.1). Elle doit également être conforme au type et aux exigences fonctionnelles de la route et compatible avec l'environnement routier (voir chapitres 2 et 1).

Les principes clés de la conception d'une route sont la cohérence, la lisibilité et la prévisibilité. Ainsi, les éléments du tracé qui sont incohérents ou hors contexte avec le reste du tracé doivent être soit évités, soit clairement signalés au conducteur par une signalisation supplémentaire, une délimitation et d'autres indices visuels. Le contexte est également important lorsqu'il s'agit d'examiner la forme, la fonction et l'objectif principal de la route. Cela influencera la largeur de la route, son aspect et son toucher, ainsi que la manière dont les conducteurs sont susceptibles de la lire et de choisir leur vitesse de conduite.

Dans les sections suivantes, les implications en matière de sécurité (c'est-à-dire la relation entre l'élément de conception et la sécurité) ainsi que les bonnes pratiques de conception des différents éléments de la section transversale et de l'alignement horizontal et vertical sont examinées en détail. La combinaison des courbes horizontales et verticales est abordée au point 5.3. Plusieurs études de cas et exemples de bonnes et de mauvaises pratiques sont également fournis dans chaque section. Les éléments de conception pour les usagers vulnérables de la route, y compris les voies piétonnes et les aménagements pour les cyclistes et les motocyclistes, bien qu'ils fassent partie de la section transversale, sont examinés séparément au chapitre 4.

5.1. Largeur de la route

Description générale

La largeur de la route est la largeur totale de la partie de la chaussée qui permet la circulation des véhicules, y compris les accotements, mais à l'exclusion des aménagements tels que les bordures, les aménagements cyclables séparés, les trottoirs ou les voies de stationnement.⁵⁸ Il s'agit de la largeur totale de la chaussée, y compris toutes les voies de circulation et les accotements adjacents (s'ils existent).

La largeur d'une voie est la dimension transversale d'une voie de circulation, perpendiculaire au sens de la circulation, mesurée entre le centre du marquage de la voie et les faces des bordures ou la ligne de bordure de l'accotement, selon le cas.

La largeur des routes influe sur la sécurité en raison de son impact sur les vitesses et sur la capacité d'un véhicule à rester dans la voie de circulation qui lui est assignée. En général, les installations à vitesse élevée nécessitent des routes/plans plus larges que les installations à vitesse plus faible. L'environnement (qu'il s'agisse d'un contexte urbain ou rural) et la fonction de la route jouent également un rôle essentiel dans le choix de la largeur des routes.

Conséquences pour la sécurité

Il est important que l'attribution de l'espace disponible sur la route soit cohérente et bien étudiée afin d'atteindre un niveau élevé de lisibilité et de prévisibilité. Cela signifie que tous les modes de transport qui se partagent le couloir routier savent où ils doivent se trouver et quelle est leur position les uns par rapport aux autres, que ce soit sur les voies et les accotements adjacents ou sur les voies opposées.

Les routes/rues plus larges favorisent généralement des vitesses de circulation plus élevées que les routes/rues plus étroites, et y sont associées. En tant que telle, l'utilisation de routes/voies larges peut présenter des risques importants pour la sécurité, en particulier dans un environnement de circulation urbaine où les piétons, les cyclistes et les

⁵⁸ Ces équipements (bordures, aménagements cyclables, trottoirs, voies de stationnement) sont également des éléments essentiels du profil en travers de la route à l'intérieur de l'emprise (surface totale du terrain acquise pour la construction d'une route) et sont traités en détail dans des sections distinctes. Les accotements sont également abordés en détail dans la section suivante.

Figure 5.2: Utilisation de voies larges en zone urbaine au détriment des usagers vulnérables (piétons et cyclistes).



Source : Global Designing Cities Initiative et National Association of City Transportation Officials (NACTO).

véhicules qui traversent sont intégrés à la circulation (figure 5.2 ; voir également la figure 5.3 pour l'utilisation appropriée des voies larges). L'augmentation des vitesses de circulation et des distances de visibilité à l'arrêt qui en découlent peut accentuer la difficulté des automobilistes à stopper rapidement leur véhicule afin d'éviter les accidents. En effet, les distances suivantes à des vitesses plus élevées peuvent sembler excessives, ce qui conduit les véhicules à devoir changer de voies et à avoir tendance à rouler plus près de la voiture qui les précède. La gravité des accidents risque également d'augmenter.

- L'élargissement des routes et des voies dans les zones urbaines augmente l'exposition et la distance de traversée de la chaussée des piétons aux carrefours et aux passages piétons.
- Les voies trop étroites (généralement moins de 2,8-3,0 m) présentent des risques accrus de conduite dangereuse sur les voies à grande vitesse, tels que les accidents avec sortie de route d'un seul véhicule et les collisions frontales, les collisions par dérapage dans le sens opposé et les collisions par dérapage dans le même sens entre plusieurs véhicules. Cela peut être dû à des empiètements sur les voies adjacentes, à un espace insuffisant pour doubler les véhicules larges ou à des lignes de visibilité réduites pour les autres véhicules dans des conditions d'encombrement. Dans les zones urbaines, le rétrécissement des voies peut être utilisé pour contrôler la vitesse.
- La fréquence des accidents est plus élevée sur les voies trop larges. Des études montrent que les avantages de

Figure 5.3: Utilisation appropriée des voies larges sur l'autoroute.



Source :iRAP.

l'élargissement des voies en termes de sécurité s'arrêtent lorsque celles-ci atteignent une largeur d'environ 3,4 m, la fréquence des accidents augmentant lorsque les voies approchent ou dépassent 3,7 m.^{59, 60} L'utilisation de voies de plus de 3,6 m peut en fait être utilisée comme deux voies, ce qui peut entraîner une augmentation du nombre d'accidents par écrasement latéral. On peut également s'attendre à des vitesses plus élevées, ce qui augmente la probabilité et la gravité des accidents.

- Les voies étroites dans les virages peuvent ne pas offrir une largeur de trajectoire ou une trajectoire de balayage suffisante pour les véhicules larges, ou ne pas laisser de place à l'erreur du conducteur, ce qui peut entraîner des collisions frontales, des collisions latérales (en particulier avec des usagers vulnérables sur les accotements), ou des sorties de route. Des dévers dans les courbes peuvent être appliqués pour aider à maintenir une bonne trajectoire des voies.
- L'étroitesse des voies de virage aux carrefours peut ne pas tenir compte de la trajectoire des gros véhicules tels que les camions et les autobus, ce qui peut entraîner des empiètements sur les voies adjacentes, augmentant ainsi le risque de collisions latérales (en particulier avec des usagers vulnérables), de collisions frontales et de sorties de route.

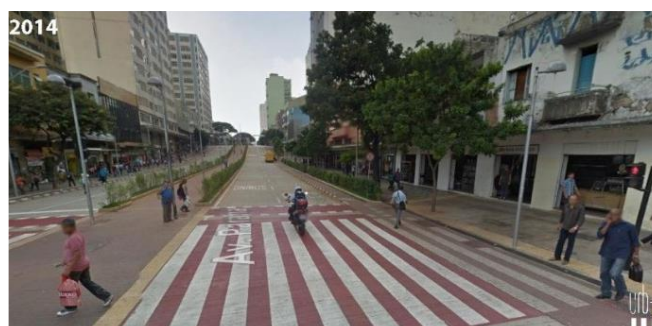
⁵⁹ Dumbaugh, E. et Rae, R. 2009. Safe urban form: revisiting the relationship between community design and traffic safety. *Journal of the American Planning Association*, 75(3), 309-329.

⁶⁰ Noland, R. B. 2003. Traffic fatalities and injuries: the effect of changes in infrastructure and other trends. *Accident Analysis & Prevention*, 35(4), 599-611.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- Le choix de la largeur des voies et du nombre de voies dépend de plusieurs facteurs :
 - Vitesse cible du véhicule (vitesse de conception, vitesse moyenne et limites affichées) et déplacement latéral.
 - Contexte (fonction existante ou future des rues et de l'utilisation des sols).
 - Niveau d'activités et d'équipements pour les piétons et les cyclistes.
 - Volume et capacité des véhicules.
 - Le type de véhicule (grands véhicules, véhicules de transport en commun, camions) et la proportion de camions dans le trafic total.
 - Dispositions pour les autres utilisateurs.
 - Nature, direction et nombre d'utilisations des voies (voies de virage, voies de transit, voies de bord de route).
 - Situation à proximité de la voie (livraison, stationnement dans la rue, boulevards).
 - Manœuvres des véhicules d'urgence. Les voies de circulation ne doivent pas être trop étroites (moins de 2,8~3,0 m) pour permettre aux véhicules de s'écarter de la trajectoire des véhicules d'urgence, et il convient d'éviter les longs terre-pleins centraux ininterrompus. Les voies multiples laissent suffisamment d'espace aux conducteurs pour s'écarter des véhicules d'urgence.
 - Topographie et géométrie (terre-plein central continu, alignement horizontal, pente transversale ou pente de la route).
 - Autres considérations (dénivellement et stockage, topographie et courbure des routes, entretien, ponts et points de passage, changements de rues prévus).
- Le rétrécissement des voies est un outil efficace de gestion de la vitesse, car il permet généralement de rapprocher les vitesses d'exploitation des limites de vitesse les plus sûres, tout en maintenant une vitesse constante et un impact minimal sur le temps de trajet dans le corridor.
- Dans les zones urbaines, l'utilisation de voies plus étroites présente de nombreux avantages lorsqu'elle est envisagée dans le cadre d'une rue donnée, et les rues urbaines peuvent être réaménagées pour répondre aux besoins de tous les usagers de la route par le biais d'un régime routier (figure 5.4). Un régime routier est généralement décrit comme la réduction du nombre de voies de circulation et/ou le rétrécissement des voies de circulation sur une route et l'utilisation de l'espace pour d'autres usages et modes de déplacement. Les avantages sont les suivants :
 - L'espace récupéré pour servir d'autres modes de transport, y compris les bandes cyclables et les trottoirs, ce qui améliore la mobilité et l'accès pour tous les usagers de la route.
 - Espace récupéré pour des éléments géométriques qui améliorent la sécurité, tels que les terre-pleins centraux, les îlots pour les piétons et les voies de virage.
 - Offrir aux piétons un espace plus grand et plus attrayant pour se détendre et s'attarder.
 - Des temps de traversée plus courts pour les piétons en raison de la réduction des distances de traversée.

Figure 5.4: Exemple d'un aménagement routier au Brésil montrant la réduction du nombre de voies de trois voies en 2009 à deux voies en 2014, avec l'ajout d'une voie piétonne centrale et de bandes cyclables.



Source : Urban ideas. Accessible à l'adresse <https://www.urb-i.com/before-after-gallery>.

- Réduction des interférences avec le développement environnant.
- Construction plus économique
- Réduction de l'écoulement des eaux de ruissellement, car plus d'espace peut être laissé à la végétation.

Des voies plus larges peuvent être nécessaires dans les virages, y compris les courbes, les voies de virage et les

carrefours giratoires, en particulier lorsqu'ils sont conçus pour accueillir des véhicules de plus grande taille. Les conducteurs disposent ainsi de plus d'espace pour prendre un virage sans empiéter sur la voie adjacente, l'accotement ou même la voie piétonne. L'ampleur de l'élargissement pour chaque voie dépendra du rayon de la courbe, du type/de la taille du véhicule circulant sur la route, et d'une certaine tolérance pour les variations de direction des différents conducteurs.

Étude de cas

São Paulo, Brésil

Figure 5.5: Avant/après de la rue Joel Carlos Borges, São Paulo, Brésil, septembre 2017.



Source : © Daniel Hunter/WRI Brasil.

La gare Berrini de São Paulo est reliée au quartier central des affaires de la ville par la rue Joel Carlos Borges, qui accueille des milliers d'usagers chaque jour. Avant septembre 2017, la rue avait des trottoirs étroits qui n'étaient pas en mesure d'accueillir en toute sécurité le flux important d'environ 4 700 piétons pendant la période de pointe du matin (entre 7h00 et 9h30). En revanche, seuls 170 véhicules circulaient dans la rue au même moment, ce qui correspond à une moyenne de 28 piétons par voiture. Comme les trottoirs étroits et remplis d'obstacles ne pouvaient répondre à cette demande, les gens marchaient sans aucune sécurité au milieu de la rue et entre les voitures garées et en mouvement.

La ville a décidé d'augmenter de 70 % la zone piétonne en la faisant empiéter sur la route en supprimant la voie de stationnement et en rétrécissant la voie de circulation des véhicules (voir figure 5.5). Les trottoirs étroits et délabrés ont gagné 3,5 m de largeur, offrant ainsi un espace suffisant pour la circulation des piétons. La ville a également amélioré la signalisation, abaissé les limites de vitesse et ajouté du mobilier urbain et des infrastructures vertes.

Il s'agissait de la première intervention routière temporaire dans la ville qui visait à tester des mesures de transformation peu coûteuses avant de réaliser des travaux coûteux et plus complexes. Le projet a été bien accueilli par le public, et la ville envisage maintenant de mener des actions similaires dans d'autres zones très fréquentées par les piétons, comme les écoles et les hôpitaux.

- Le rétrécissement des voies aux abords des carrefours urbains signalisés peut aider à gérer les vitesses et à réduire les temps de traversée des piétons grâce à la réduction des distances de traversée.
- Une signalisation avancée est nécessaire chaque fois qu'il y a un changement dans la section transversale, par exemple à l'approche de ponts étroits ou petits. Cela est conforme au principe de prévisibilité et à l'approche « sans surprise » selon laquelle les usagers de la route reçoivent des informations appropriées et pertinentes en temps utile pour faciliter leur prise de décision.
- Étant donné que la vitesse des véhicules augmente lorsque les routes sont élargies et qu'elle diminue lorsqu'une voie est rétrécie (dans une mesure raisonnable), il est nécessaire d'évaluer la sécurité pour déterminer la largeur de voie appropriée et l'adéquation d'un traitement d'élargissement/rétrécissement de voie à un endroit ou à un carrefour dangereux donné.
- Commission européenne. Getting initial safety design principles right. Accessible à l'adresse https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/road/getting_initial_safety_design_principles_right_en.
- Karim, D. M. 2015, juin. Narrower lanes, safer streets. In Proc. CITE Conf. Regina, pp. 1-21.
- Welle, B., Liu, Q., Li, W., Adiazola-Steil, C., King, R., Sarmiento, C. et Obelheiro, M. 2015. Cities safer by design: guidance and examples to promote traffic safety through urban and street design. À lire : chapitre Kenya Urban Design Elements et chapitre 5, Pedestrian Spaces and Access to Public Space.

Pour en savoir plus

- Federal Highways Authority FHWA. Juillet 2016. Road Diets. Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/road_diets/.
- Global Designing Cities Initiative et National Association of City Transportation Officials. 2016. Global street design guide. Island Press. Accessible à l'adresse <https://globaldesigningcities.org/publication/global-street-design-guide/>.
- National Association of City Transportation Officials. 2013. Urban street design guide. Island Press. Accessible à l'adresse <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/>.
- World Road Association (PIARC). 2009. *PIARC Catalogue of Design Safety Problems and Potential Countermeasures*, La Défense cedex. Accessible à l'adresse <https://www.piarc.org/en/order-library/6458enPIARC%20Catalogue%20of%20design%20safety%20problems%20and%20potential%20countermeasures.htm>.
- Espace pour véhicules arrêtés en cas d'urgence ;
- Mise en place d'une zone de récupération contrôlée pour les conducteurs qui quittent involontairement leur voie, réduisant ainsi le risque d'accident par sortie de route (en particulier dans les endroits où la vitesse est élevée) ;
- Espace dédié pour les manœuvres d'évitement afin d'éviter les collisions potentielles ou d'en réduire la gravité ;
- Mise en place d'un espace défini pour les cyclistes ou les piétons lorsqu'il est conçu de manière sûre, en l'absence d'installations séparées ;
- Mise en place d'un soutien structurel à la chaussée ;
- Réduction de la rupture de la chaussée en permettant aux eaux pluviales d'être évacuées plus loin de la voie de circulation, ce qui présente des avantages à la fois en termes de sécurité et de gestion des actifs ;
- la distance latérale par rapport aux objets situés le long de la route, par exemple les bordures, les panneaux et les glissières de sécurité ; et

5.2. Largeur et type d'accotement

Description générale

L'accotement est la partie de la chaussée contiguë à la voie de circulation qui, en fonction de sa largeur, de sa conception et de son entretien, remplit plusieurs fonctions. Les avantages sont les suivants :

Figure 5.6: Accotement revêtu.

Source : © John Barrell.

Figure 5.7: Accotement en gravier non revêtu.

Source : Zeng, H., Schrock, S. D. et Mulinazzi, T. E. 2013. Evaluation of safety effectiveness of composite shoulders, wide unpaved shoulders, and wide paved shoulders in Kansas (n° K-TRAN: KU-11-1). Kansas Dept. of Transportation. Bureau of Materials & Research.

Figure 5.8: Accotement partiellement pavé ou composite

Source : Zeng, Schrock et Mulinazzi, 2013.

- Amélioration de la distance de visibilité dans les tronçons coupés et amélioration de la capacité et de l'efficacité de l'autoroute en encourageant des vitesses uniformes.

Les accotements peuvent être revêtus (figure 5.6), non revêtus (c'est-à-dire des accotements granulaires ou en terre ; figure 5.7) ou partiellement revêtus (c'est-à-dire des accotements comprenant une section revêtue et une section non revêtue ; figure 5.8). On les appelle aussi accotements composites.

Conséquences pour la sécurité

- Les accotements trop étroits n'offrent pas une largeur de récupération suffisante pour les véhicules errants et un dégagement suffisant pour les véhicules arrêtés sur l'accotement. Ces véhicules créent en fait des dangers sur le bord de la route et augmentent les risques d'accident par sortie de route, de collisions frontales et nez à nez, et de dérapages latéraux.
- Les accotements dont l'adhérence est insuffisante peuvent faire perdre l'adhérence et le contrôle à un véhicule qui quitte la voie de circulation, en particulier s'il roule à grande vitesse, ce qui entraîne des accidents avec sortie de route, avec des conséquences graves en cas d'impact avec des objets situés sur le bord de la route ou avec d'autres véhicules.
- En l'absence d'autres aménagements offrant une meilleure séparation, un accotement trop étroit ou en mauvais état déplace inévitablement le trafic non motorisé sur la chaussée, où il est confronté à une augmentation de la charge de travail

Figure 5.9: Les accotements étroits augmentent les risques pour les cyclistes sur la voie de circulation

Source : iRAP.

Figure 5.10: Abaissement du bord de la chaussée.

Source : © Watetu Mbugua/Banque mondiale.

Figure 5.11: Camions stationnés illégalement sur l'accotement.



Source : Indian Institute of Technology, Kharagpur. 2019. Report on Road Safety Audit of SH-11 During Operation Stage.

risques pour la sécurité dus à l'exposition à la circulation à grande vitesse. (figure 5.9).

- Les accotements non revêtus, en particulier sur les routes fréquentées par un grand nombre de véhicules lourds dans des zones à fortes précipitations ou à écoulement d'eau abondant telles que les courbes d'affaissement, peuvent s'éroder avec le temps, entraînant des abaissements du bord de la chaussée (figure 5.10), c'est-à-dire une différence entre la hauteur de la surface de la route et la hauteur de l'accotement. En cas de dérapage, le conducteur peut perdre le contrôle de son véhicule et sortir de la route ou corriger excessivement sa trajectoire et se retrouver dans le trafic venant en sens inverse.
- Les routes où la distinction entre la chaussée et l'accotement n'est pas clairement établie (en raison de l'absence de signalisation, de marquage de la chaussée ou de bordures basses) peuvent encourager l'utilisation des accotements par le trafic motorisé, même lorsque l'accotement est constitué d'un matériau de surface différent et qu'il a une fonction distincte de celle de la chaussée (figure 5.11).

Figure 5.12: Accotement de 2.5 m que les gens utilisent à tort comme voie de circulation – Roumanie



Source: © Alina F. Burlacu/GRSF/World Bank..

- Des accotements trop larges, en particulier lorsqu'ils sont revêtus, peuvent présenter certains risques pour la sécurité, notamment :
 - Des accotements larges et revêtus entraînent des vitesses de circulation plus élevées qui, à leur tour, peuvent avoir une incidence sur la gravité des accidents
 - Les accotements revêtus de plus de 2,5 m peuvent être interprétés comme une voie de circulation par les conducteurs, voire comme des lieux temporaires d'activité commerciale (vente d'articles aux automobilistes de passage, par exemple)
 - De larges accotements peuvent inciter à s'y arrêter volontairement
 - Les grandes largeurs de chaussée, résultant de larges accotements et de larges voies, combinées à une emprise limitée, peuvent entraîner des pentes latérales ou des contre-pentes plus raides.
- Les objets tels que les poteaux électriques, les canalisations de câbles et les couvercles de drainage surélevés situés le long des accotements sont dangereux pour tous les usagers de la route.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- Il est recommandé que l'accotement soit construit avec les mêmes matériaux que la chaussée afin de faciliter la construction, d'améliorer les performances de la chaussée et de réduire les coûts d'entretien.

Figure 5.13: Large accotement scellé.



Source : iRAP.

Figure 5.14: Large accotement revêtu dans le virage.

Source : iRAP.

Figure 5.15: Accotement revêtu avec bandes rugueuses utilisé par les cyclistes.

Source : Bob Boyce/Ped Bike.

- La largeur idéale de l'accotement dépend de l'utilisation de la route. Il est recommandé de prévoir un accotement suffisamment large pour permettre aux véhicules de se garer et de se rétablir en cas de sortie de route, mais pas trop large pour ne pas encourager l'utilisation de l'accotement comme voie supplémentaire (figures 5.12 et 5.13).
- La surface de l'accotement doit offrir une résistance au dérapage suffisante pour éviter la perte de traction et de contrôle des véhicules errants. Une surface scellée offre la meilleure adhérence aux pneus.
- Les accotements doivent être continus, quelle que soit leur largeur, afin d'éviter les arrêts intermittents sur la voie de circulation. Cela permet également aux cyclistes et aux piétons de bénéficier d'un chemin continu lorsque les accotements sont utilisés comme bandes cyclables ou voies piétonnes.
- La surface de l'accotement doit être reliée à la chaussée à peu près au même niveau afin d'éviter la perte de contrôle des véhicules qui quittent par erreur la voie de circulation.
- Le scellement des accotements (sur toute la largeur ou partiellement) sur des accotements autrement gravillonnés peut réduire l'ampleur de l'érosion sur l'accotement gravillonné et fournir une zone de récupération sûre pour les empiètements sur l'accotement.
- La qualité des accotements, en particulier dans les courbes à faible rayon, doit faire l'objet d'une attention particulière compte tenu de la probabilité plus élevée d'empiètement à ces endroits. Cela peut être dû à un comportement intentionnel du conducteur ou à une sortie de route involontaire d'une remorque articulée. Des accotements larges et revêtus améliorent la sécurité dans les virages (figure 5.14), en particulier sur le bord intérieur (voir également la section 5.3).
- En l'absence d'autres aménagements offrant une plus grande séparation, les accotements larges et revêtus offrent de l'espace aux piétons et aux cyclistes, ce qui peut améliorer la sécurité des usagers vulnérables. Sachant que les piétons et les cyclistes peuvent être en danger lorsque les conducteurs quittent involontairement la route, des bandes rugueuses d'accotement ou des bandes rugueuses de bord de route peuvent être installées pour atténuer ce risque (figure 5.15).
- Des bandes rugueuses ou des marquages de bordures texturés, qui peuvent être produits en découpant des rainures ou en ajoutant des nervures à la route, peuvent être placés sur les accotements (près du bord de la voie de circulation) pour alerter les conducteurs lorsqu'ils quittent la chaussée. Ces mesures sont très efficaces et réduisent de manière significative les accidents liés au ruissellement sur la route dus à l'inattention, à la distraction et à la fatigue.
- Les panneaux, les marquages de chaussée et les marquages de bordures texturées assurent la distinction nécessaire entre les accotements et la chaussée et doivent être utilisés pour décourager l'utilisation des accotements par le trafic motorisé, sauf en cas d'urgence. Dans les zones urbaines, il est possible d'utiliser des bordures le long de la chaussée.
- Les objets situés le long des accotements doivent être déplacés et/ou enterrés au-delà des accotements et, si possible, au-delà de la zone de dégagement (voir section 5.7). Il est essentiel que les accotements restent praticables pour remplir leur fonction.
- La gestion et l'entretien de la route et de l'accotement doivent être routiniers et simples.

Pour en savoir plus

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 2010. Highway Safety Manual (2010). À lire : aperçu du manuel de sécurité routière et chapitre 3, Integrating the HSM in the Project Development Process.
- FHWA. Small Town and Rural Design Guide: Facilities for Walking and Cycling. Accessible à l'adresse <https://ruraldesignguide.com>. À lire : Visually separated part.
- PIARC. 2009. Catalogue of Design Safety Problems and Potential Countermeasures. À lire : section 2, Cross-section et section 3, Alignment.
- PIARC. 2019. Road Safety Manual. Accessible à l'adresse <https://www.piarc.org/en/PIARC-knowledge-base-Roads-and-Road-Transportation/Road-Safety-Sustainability/Road-Safety/safety-manual>.
- Banque mondiale. 2005. Sustainable safe road design: A practical manual. À lire : chapitre 3, Sustainable safe road design: theory, et chapitre 4, Sustainable safe road design: cross sections.

5.3. Courbure horizontale

Description générale

Les courbes horizontales sont associées à des risques de sécurité plus élevés que les sections tangentes. Cette différence devient particulièrement évidente pour les rayons inférieurs à 1 000 m et devient de plus en plus significative à mesure que le rayon de la courbe se réduit (< 200 m).⁶¹ Cette différence est souvent le résultat d'une inadéquation entre le rayon, le dévers et la vitesse de négociation choisie par le conducteur. Cela crée un déséquilibre dans les forces exercées sur le véhicule et ne correspond pas aux attentes du conducteur, entre autres facteurs.⁶² Il convient toutefois de noter que si les courbes horizontales courtes et de faible rayon peuvent augmenter

le risque d'accident dans les environnements à grande vitesse, la même longueur et le même rayon de courbe peuvent être appropriés dans les environnements résidentiels à faible vitesse pour faciliter les vitesses plus lentes,⁶³ ou dans le cadre d'une série de courbes. En outre, des courbes à grand rayon peuvent être introduites dans les aménagements ruraux pour gérer la vitesse des véhicules et réduire la monotonie.

Les courbes horizontales sont associées aux sorties de route, aux collisions frontales et aux collisions latérales. La gravité des accidents est également élevée dans les courbes horizontales. Les études menées dans les PRE (pays à revenu élevé) montrent que 25 à 30 % des accidents mortels se produisent dans les virages et que 60 % des accidents mortels sont des accidents hors route impliquant un seul véhicule.⁶⁴

L'objectif principal de la conception du tracé horizontal est d'assurer la cohérence et l'uniformité du tracé le long du corridor routier, offrant ainsi une prévisibilité qui maximise la sécurité globale de la route. Cette philosophie « sans surprise » fournit au conducteur des indications visuelles sous la forme d'une vue claire de la courbe à venir, avec suffisamment de temps pour ajuster sa vitesse en conséquence. Les conducteurs sont fortement influencés par leur interprétation du rayon de la courbe, et nombre d'entre eux supposent que la combinaison du rayon et du dévers appliqué est appropriée pour la limite de vitesse. Si la route a été conçue et bien entretenue, cette hypothèse est raisonnable. Toutefois, si le réseau routier a évolué au fil du temps, il se peut qu'il y ait un décalage entre la forme de la surface de la route et la limite de vitesse affichée. Sans un dévers approprié, les forces exercées sur le conducteur ne sont pas équilibrées et le conducteur peut se sentir mal à l'aise, voire perdre le contrôle.

⁶¹ Hauer, E. 2000. Safety of horizontal curves. Draft prepared in the course of project for UMA Engineering (for the new Canadian Geometric Design Guide) and for DELCAN.

⁶² Hummer, J. E., Rasdorf, W., Findley, D. J., Zegeer, C. V. et Sundstrom, C. A. 2010. Curve collisions: road and collision characteristics and countermeasures. *Journal of Transportation Safety & Security*, 2(3), 203–220.

⁶³ American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 2010. Highway Safety Manual.

⁶⁴ Lamm, R., Psarianos, B. et Mailaender, T. 1999. Highway design and traffic safety engineering handbook.

Conséquences pour la sécurité

- Les courbes brusques et inattendues entraînent souvent des pertes de contrôle, des dérapages ou des collisions avec des objets sur le bord de la route ou des véhicules venant en sens inverse, lorsque les conducteurs n'adaptent pas leur vitesse à la géométrie et sont contraints d'effectuer des actions correctives soudaines. Ce problème est aggravé lorsque la courbe prononcée est « hors contexte » ou ne correspond pas aux conditions d'alignement adjacentes à la section de courbe prononcée qui induisent en erreur ou encouragent les vitesses élevées, par exemple, une courbe prononcée après une série de courbes plus douces ou après une longue section droite.
- Les obstacles situés trop près de la chaussée à l'intérieur de la courbe, sans le décalage horizontal nécessaire, limitent la distance de visibilité et la capacité du conducteur à voir et à anticiper les caractéristiques de la route à l'avant de la courbe (figures 5.16 et 5.17).
- Les courbes prononcées augmentent la largeur de la trajectoire d'un véhicule, ce qui peut l'amener à croiser la trajectoire d'un véhicule en approche sur les chaussées étroites, ou sur les accotements et les zones piétonnes, augmentant ainsi les risques d'accident pour les autres usagers de la route. Cette situation est encore plus grave pour les véhicules/camions larges ou longs.

Figure 5.16: Arbre situé trop près de la chaussée à l'intérieur de la courbe. Il obstrue la ligne de vue et constitue un risque pour la sécurité. Il peut également pousser les usagers de la route à se rapprocher de la ligne médiane dans une courbe, voire à la franchir.



Source : Indian Institute of Technology. 2019. Rapport sur l'audit de sécurité routière de la SH-11 pendant la phase d'exploitation.

- Les conducteurs peuvent dépasser dans les virages lorsque cela n'est pas sûr, malgré la disposition relative à l'interdiction de dépasser.
- La surface de la route dans les virages a tendance à se polir plus rapidement que dans les sections droites en raison des forces plus importantes exercées par la poussée latérale du pneu, ce qui entraîne une réduction de l'adhérence avec le temps.
- La perte de dévers (cambrure positive), en particulier sur les routes de gravier, due au manque d'entretien, augmente le risque de sécurité dans les virages.
- D'autres facteurs influencent la sécurité dans les courbes, notamment le profil du bord de la route (niveau ou dénivellation si un véhicule quitte la route), la présence de dangers non protégés sur le bord de la route, une mauvaise visibilité, une mauvaise délimitation (figure 5.18), un mauvais drainage, un dévers inadéquat ou inversé, une largeur de voie inadéquate ou l'absence d'élargissement supplémentaire dans les courbes.
- Une mauvaise coordination des courbes horizontales et verticales peut entraîner des effets visuels susceptibles d'induire les conducteurs en erreur, contribuant ainsi aux accidents (figures 5.19 et 5.20). Cela se produit généralement lorsque des courbes horizontales et verticales de longueurs différentes se trouvent au même endroit.
- La présence de courbes en crête précédant immédiatement des courbes prononcées peut masquer ces dernières à la vue du conducteur, créant ainsi un manque de visibilité (figure 5.21).

Figure 5.17: Un virage en montagne avec un arbre obstruant l'endroit où un accident de la route s'est produit.



Source : Nepali Times, 2021. Nepal's other pandemic: road fatalities. 2021. Accessible à l'adresse <https://www.nepalitimes.com/here-now/nepals-other-pandemic-road-fatalities/>.

Figure 5.18: Délimitation insuffisante de la courbe.



Source : ChinaRAP.

Figure 5.19: Combinaison dangereuse d'une courbe horizontale au pied d'une pente raide.



Source : Federal Highway Administration. 2007. Mitigation Strategies for Design Exceptions, US. <https://safety.fhwa.dot.gov/geometric/pubs/mitigationstrategies/>.

Figure 5.20: Mauvaise combinaison d'alignement montrant des ruptures optiques causées par des courbes rentrantes abruptes le long de la tangente horizontale.



Source : Barnaby Green.

Figure 5.21: Combinaison dangereuse : courbe saillante précédant une courbe horizontale prononcée, avec des carrefours et des voies d'accès.



Source : PIARC. 2003. Road Safety Manual, First edition.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Il est important qu'une route soit conçue pour une vitesse supérieure, au minimum, à la vitesse souvent appelée vitesse d'exploitation ou à laquelle il est prévu (ou envisagé) que les conducteurs circulent.
- Au stade de la conception, la cohérence et la prévisibilité de l'expérience du conducteur sont très importantes, et il convient d'éviter les courbes trop serrées. Cela peut se faire soit en augmentant le rayon de la courbe, soit en veillant à ce que la transition vers des courbes plus prononcées se fasse par une réduction graduelle et progressive des rayons le long des courbes successives.
- Pour les courbes horizontales serrées, qui sont hors contexte par rapport au reste de la conception et qui ne peuvent pas être réalignées pour des raisons financières ou environnementales, des traitements spéciaux de ces courbes doivent être spécifiés et reportés aux phases de conception et de construction. Ces traitements spéciaux peuvent prendre la forme de panneaux ou de marquages spécifiques qui avertissent le conducteur du changement de conditions.
- La visibilité vers l'avant et les distances de visibilité sont importantes pour aider le conducteur à évaluer la route devant lui et à adapter sa vitesse en fonction de l'état de la route. Les obstacles à la visibilité situés à l'intérieur des courbes ou à l'intérieur de la voie centrale sur les routes à chaussées séparées doivent être éliminés afin de garantir

une distance de visibilité appropriée. Dans les situations où il n'est pas possible d'éliminer ces obstacles (murs de soutènement, talus, barrières en béton, bâtiments et barrières longitudinales), la distance de visibilité doit toujours être optimisée, mais la conception doit évaluer le risque associé à la déficience et les options permettant d'atténuer ce risque. En raison des nombreuses variables dans la conception des courbes, c'est-à-dire le tracé et la section transversale, ainsi que le nombre, le type et l'emplacement des obstacles potentiels, il est nécessaire de mener une étude spécifique pour chaque courbe. En contrôlant la distance de visibilité pour définir la vitesse de conception, le concepteur peut vérifier les conditions réelles dans chaque courbe et procéder aux ajustements nécessaires pour assurer une distance de visibilité adéquate. Ces ajustements doivent tenir compte de l'ampleur ou de la durée de l'obstruction. Par exemple, un mur de soutènement peut représenter une longueur importante de déficience, nécessitant ainsi un ajustement de la conception ou de la vitesse, alors qu'un simple bâtiment ou un groupe d'arbres ne représente qu'une réduction momentanée et que le risque est donc beaucoup plus faible.

- Les courbes doivent être surélevées en fonction de leur rayon et de leur vitesse.
- Le dévers doit être modifié progressivement et de manière égale entre les courbes de rayon différent ; entre les lignes droites et les courbes, il est normal de modifier deux tiers du dévers sur la ligne droite et un tiers sur la courbe. Le dévers doit toujours être modifié au même rythme le long d'un tracé. Il est généralement exprimé en pourcentage par seconde de temps de parcours et se situe normalement entre 2,5 %/s et 3,5 %/s. Cela permet d'équilibrer les forces exercées sur le véhicule lorsque sa direction passe d'une courbe à l'autre.⁶⁵
- Des courbes de transition peuvent être prévues entre une tangente et une courbe circulaire ou entre deux courbes circulaires, ce qui permet d'introduire progressivement un dévers. La longueur des courbes de transition doit être égale à la distance sur laquelle le dévers change. La nature complète de l'approche d'un virage doit être évidente pour le conducteur. Les longues courbes de transition qui masquent un rayon final prononcé doivent être évitées.
- Bien que les courbes simples soient préférables, les courbes composées peuvent être utilisées pour répondre à des contraintes topographiques qui ne peuvent pas être équilibrées aussi efficacement avec des courbes simples. Pour les courbes composées sur les autoroutes ouvertes, il est généralement admis que le rapport entre le rayon le plus plat et le rayon le plus aigu ne doit pas dépasser 1,5:1.
- Des matériaux plus résistants au dérapage peuvent être utilisés sur les coudes critiques, en particulier dans les environnements humides.
- Des courbes horizontales de grand rayon peuvent être introduites sur des tracés rectilignes pour rompre la monotonie des conducteurs et leur permettre de mieux juger de la vitesse des véhicules qui approchent.
- Il convient de noter qu'il existe une différence entre la philosophie de conception européenne et celle des États-Unis et de l'Australie en ce qui concerne l'adoption de longues routes droites et d'alignements plus sinueux ou courbes, ce qui peut être le résultat des caractéristiques du terrain général. En Allemagne, la condition pour le tracé est d'avoir plus de 70 % de courbes avec des rayons élevés. Les routes droites sont à éviter. Aux États-Unis et en Australie, c'est l'inverse. L'une ou l'autre approche peut entraîner des conditions dangereuses, mais elle doit être appliquée de manière cohérente, et le mélange des approches peut entraîner un risque plus important.
- L'élargissement des voies (ou des courbes) s'applique normalement au bord intérieur des courbes et est souvent nécessaire dans les courbes à faible rayon pour permettre aux véhicules articulés de se déplacer hors du site. Particulièrement important lorsque les rayons sont inférieurs à 500 m, il permet de tenir compte de la différence entre la trajectoire des essieux arrière de la remorque et celle du camion (tracteur).
- Un entretien adéquat doit être assuré, en particulier sur les routes de gravier, afin de maintenir un profil transversal acceptable avec une cambrure appropriée. Lorsqu'on sait à l'avance qu'il y aura peu d'entretien, la conception de la route et en particulier en particulier la vitesse d'exploitation, doit être basée sur l'hypothèse d'une section transversale plane.

⁶⁵ Pour plus de détails, se référer aux lignes directrices de conception, y compris celles d'Austroads. 2009. Guide to Road Design Part 3: Geometric Design and AASHTO (2018). Policy on geometric design of highways and streets (chapter 3). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

- Sur les routes revêtues, il est également nécessaire d'assurer l'entretien, et notamment de veiller à ce que les débris soient enlevés, car ils ont un impact significatif sur le frottement de la surface et sur la perte potentielle de contrôle du véhicule. Ce problème concerne tous les véhicules, mais plus particulièrement les motocyclistes.
- Lorsqu'il n'est pas possible de séparer entièrement les courbes horizontales et verticales, elles doivent être combinées avec des modifications communes pour les points de carrefour (lorsque les extrémités et le centre de la courbe verticale coïncident avec les extrémités et le centre correspondants de la courbe horizontale) afin d'éviter la présentation d'informations trompeuses aux conducteurs. Dans la mesure du possible, elles doivent être de longueur identique ou similaire et, lorsque cela n'est pas possible, il est préférable que l'étendue des courbes verticales se situe entièrement à l'intérieur d'une seule courbe horizontale. Cette disposition devrait produire un résultat agréable, fluide et le plus tridimensionnel possible, susceptible d'être en harmonie avec la forme naturelle du terrain (figure 5.22). En outre, il convient de garder à l'esprit les éléments suivants :
 - Les courbes horizontales prononcées combinées à une courbe verticale en crête prononcée doivent être évitées, car les conducteurs risquent de ne pas percevoir le changement d'alignement horizontal, en particulier la nuit.
 - Les courbes horizontales prononcées au point bas d'une courbe verticale prononcée ou à proximité de celui-ci doivent être évitées, car la vue devant la route serait raccourcie d'une courbe verticale à affaissement prononcé doivent être évitées, car la vue de la route serait raccourcie et les courbes à ces endroits ont tendance à être plus prononcées qu'elles n'y paraissent.
- Le rayon des courbes horizontales ou la cambrure appliquée à ces courbes peuvent être augmentés de l'ordre de 15 % au bas des pentes raides afin d'améliorer la perception et de permettre aux véhicules de perdre le contrôle. Il est également possible de prévoir des voies d'évacuation pour permettre aux véhicules qui roulent trop vite pour le virage de s'arrêter en toute sécurité.
- L'alignement horizontal et vertical doit être aussi plat que possible aux carrefours et aux échangeurs afin de permettre une distance de visibilité suffisante.
- Sur les routes à deux voies où combinaisons des combinaisons de courbes sont probables, des sections tangentes peuvent être prévues avec une bonne distance de visibilité pour permettre des dépassements en toute sécurité.

Vous trouverez ci-dessous un résumé des méthodes pour les courbes horizontales :

Marquage et signalisation

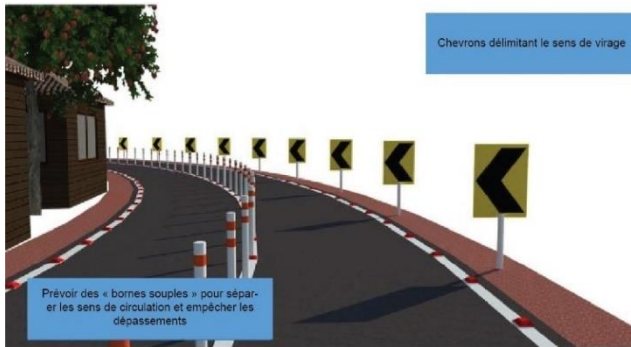
- Le marquage des chaussées est important, car il fournit des informations continues pour aider les conducteurs à naviguer avec succès sur les routes. Il s'agit notamment de
- Marquage longitudinal de la chaussée (lignes médianes et lignes de rive). Des marquages plus larges de la ligne médiane peuvent être utilisés lorsque l'espace le permet afin d'augmenter la séparation entre les véhicules circulant dans des directions opposées.
- Balises/délinéateurs sur le bord de la route. Ils peuvent être utilisés à la fois pour les routes non pavées et les routes pavées.
- Des bornes souples le long de la ligne médiane des courbes avec une distance de visibilité limitée pour empêcher les dépassements. Les bornes ou piquets souples doivent avoir une hauteur d'au moins 1 m et être munis d'un marquage rétroréfléchissant pour assurer la visibilité de nuit (figure 5.23).
- Marquage avancé des courbes, y compris des marquages d'avertissement de vitesse et des marquages de réduction

Figure 5.22: Exemple de bonne combinaison de courbes horizontales et verticales offrant une bonne visibilité.



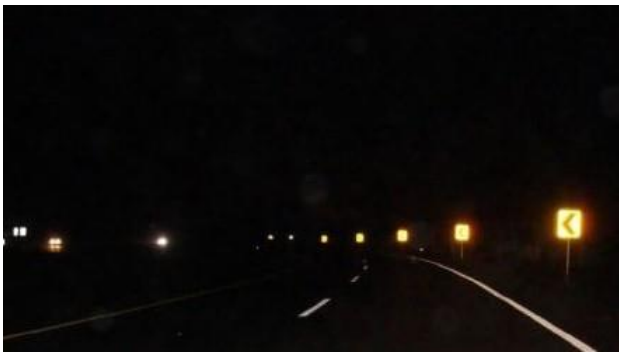
Source : TRL & Department for International Development. 2001. Horizontal curves, highway design note 2/01, TRL Ltd, Crowthorne, UK.

Figure 5.23: Illustration sur la mise en place de poteaux flexibles et de panneaux à chevrons dans les courbes où la distance de visibilité est limitée.



Source : Indian Institute of Technology. 2018. Road Safety Audit of NH 60 and NH 117 and Capacity Building on Road Safety Issues in the State of West Bengal: Rapport final sur la NH 117.

Figure 5.24: Les panneaux d'alignement utilisant des chevrons offrent une bonne visibilité de nuit.



Source : iRAP

de vitesse/indicateurs visuels de vitesse ; source : FHWA.ars (figure 5.24).

- Marqueurs rétro réfléchissants pour chaussée surélevée (RRPM). Généralement utilisé en conjonction avec un marquage de ligne peint pour avertir les conducteurs des changements d'alignement de la route.

Les panneaux peuvent comprendre des panneaux d'alignement en chevron (figure 5.25), des panneaux de signalisation avancée (figures 5.26 et 5.27) et des plaques d'information sur la vitesse. La signalisation peut être améliorée en utilisant des dispositifs plus grands, des bandes rétro réfléchissantes sur les panneaux de signalisation, des feuilles hautement rétro réfléchissantes et fluorescentes, des gyrophares et des systèmes dynamiques d'avertissement de virage.

La figure 5.28 présente un ensemble de traitements appliqués à un virage à haut risque en Malaisie.

Figure 5.25: Lignes transversales à l'entrée du virage en Chine.



Source : iRAP.

Figure 5.26: Panneau d'avertissement de virage et de vitesse.



Source : Banque mondiale.

- Traitement des virages en fonction de l'itinéraire

Les traitements basés sur l'itinéraire permettent d'assurer la cohérence de la signalisation des courbes le long d'un tronçon de route. Chaque courbe est classée en fonction de facteurs de risque, tels que la vitesse de conception, la vitesse tangente, les distances de visibilité, etc. Une fois le risque de la courbe identifié, la signalisation et le marquage de cette courbe sont installés en fonction de cette catégorie de risque. Plus la catégorie de risque est élevée, plus les traitements sont nombreux. Pour éviter toute confusion et maintenir la confiance et le respect des règles par les conducteurs, les traitements doivent être appliqués de manière cohérente lorsque des courbes de catégories de risque similaires reçoivent des traitements similaires. Puisqu'elle est appliquée le long d'une route ou d'un réseau, cette méthode est cohérente avec le concept des routes qui s'expliquent d'elles-mêmes.

Figure 5.27: Courbe horizontale au pied d'une pente raide avec signalisation avancée.



Source : PIARC. 2003. *Road Safety Manual*, First edition.

Figure 5.29: Ligne médiane large avec bandes rugueuses centrales dans une courbe en Australie.



Contre-mesures pour les chaussées

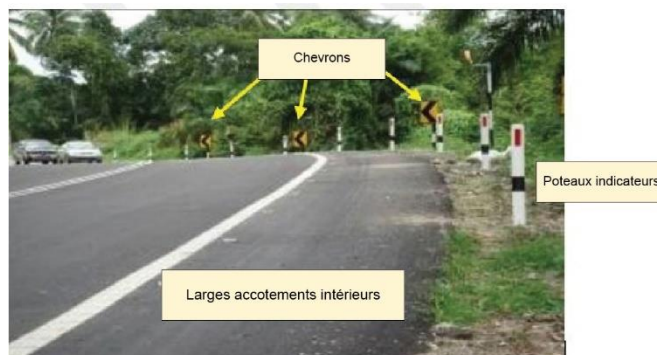
Les contre-mesures suivantes peuvent être appliquées pour améliorer l'adhérence de la chaussée :

- Traitements de surface à haute friction (HFST),
- Rainurage des chaussées en béton pour augmenter le frottement et améliorer l'évacuation des eaux,
- Fourniture/correction du dévers, et
- Élargissement dans les courbes pour permettre un traitement large de la ligne médiane (figure 5.29).

Les traitements suivants peuvent s'appliquer aux accotements :

- Élargissement de l'accotement afin d'offrir une zone de récupération permettant aux conducteurs de reprendre le contrôle en cas de sortie de route, en particulier à l'intérieur de la courbe,

Figure 5.28: Exemple d'amélioration d'un virage en Malaisie.



Source : iRAP.

Figure 5.30: Bordure de sécurité. Après l'installation de la bordure de sécurité, le matériau non revêtu adjacent doit être nivelé pour l'aligner sur le dessus de la chaussée.



- Pavage des accotements pour remplacer les accotements instables ou étroits, et
- Bordure de sécurité – technique qui consiste à façonner et à consolider le bord de la chaussée en un coin de 300 (figure 5.30). La bordure permet une récupération contrôlée des conducteurs après un égarement et réduit également la tendance de la chaussée à se séparer ou à s'effriter, améliorant ainsi la durabilité de la bordure.

Des bandes rugueuses peuvent également être installées pour avertir les conducteurs fatigués, distraits ou inattentifs lorsqu'ils quittent leur voie de circulation, soit en fraisant/coupant des rainures, soit en plaçant des nervures/bosses sur la route. Elles peuvent être placées sur les accotements près du bord de la voie de circulation (figure 5.31), au bord de la voie de circulation en alignement avec le marquage de la ligne de rive (figures 5.32 et 5.33), ou sur ou à proximité de la ligne médiane d'une route à chaussées non séparées (figure 5.34). Elles peuvent être

Exemples de bandes rugueuses

Figure 5.31: Bandes rugueuses aux accotements.



Source : FHWA, 2015. Rumble strip implementation fact sheet: pavement. Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/media/RumbleStripFactSheet_Pavement/pavement_fs.cfm.
14 septembre 2021.

Figure 5.32: Ajoutez des nervures à la ligne de démarcation des bandes de frottement.



Source : iRAP.

Figure 5.33: Bande rugueuse en bordure de route par fraisage de la route.



Source : FHWA, 2015.

Figure 5.34: Bandes rugueuses sur la ligne médiane par fraisage de la route.



Source : FHWA, 2015. Rumble strip implementation guide: addressing pavement issues on two-lane roads. Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/rumble_strips/media/RumbleStripGuide_Pavement/pavement_bpg.cfm.
14 septembre 2021.

Figure 5.35: Glissière en béton dans la section de la courbe avec des panneaux d'alignement en chevron.



Source : iRAP.

Figure 5.36: Glissière sem irigide sur une courbe horizontale au Népal.



Source : GRSF

Figure 5.37: Glissière en câble sur la section tangente.



Source : iRAP.

créées par le fraisage de rainures dans la surface de la route ou par l'ajout de marquages intermittents en relief.

- Amélioration des bords de route (voir section 5.7, Bords de route).
- Mise à disposition de glissières. Les types de glissières peuvent être des glissières en béton (figure 5.35), des glissières de sécurité (figure 5.36) et des glissières en câble (figure 5.37) (voir section 5.8, Glissières).
- Mise en place de zones de dégagement. Les zones de dégagement, c'est-à-dire les zones libres et traversables situées au-delà du bord de la voie de circulation, sont utiles pour assurer la distance de visibilité dans les courbes et les zones de récupération pour les véhicules errants. Les objets fixes tels que les poteaux ou les arbres ne doivent pas se trouver dans la zone de dégagement, en particulier à proximité des courbes horizontales (voir également la section 5.7).
- Aplanissement de la pente. L'aplanissement des pentes à l'extérieur des courbes peut présenter des avantages significatifs en permettant de récupérer un véhicule qui quitte la voie de circulation et traverse l'accotement. Par mesure d'économie, des matériaux d'excavation provenant d'autres sites peuvent être utilisés pour aplanir les pentes. Pour les pentes critiques et en fonction de la hauteur de la pente, des glissières doivent être installées.
- Délimitation des glissières. La délimitation des glissières est particulièrement utile la nuit, car elle permet non seulement d'indiquer la présence de son emplacement, mais aussi de fournir des informations sur l'état de l'alignement de la route.

Pour en savoir plus

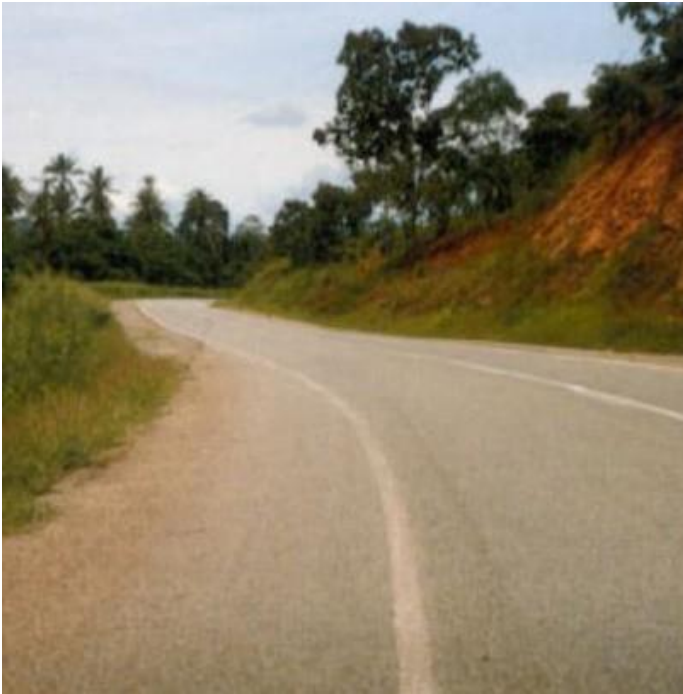
- AASHTO. 2010. Highway Safety Manual. À lire : partie B, Roadway Safety Management Process.
- AASHTO. 2015. Roadside Design Guide. <https://downloads.transportation.org/RSDG-4-Errata.pdf>.
- Australian Road Safety Engineering Toolkit. <https://engtoolkit.com.au/default.asp?p=issue&i=15>.
- Commission européenne. Getting Initial Safety Design Principles Right. https://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/road/principes_de_conception_de_la_sécurité_initiale_fr. À lire.
- FHWA. 2016. Low Cost Treatments for Horizontal Curves. À lire : chapitre 3, Marking, chapitre 5, Pavement countermeasures, et chapitre 6, Road-side improvement.
- FHWA. 2009. Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). <http://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2009/part3.pdf>. À lire : partie 3, Marking.
- iRAP Toolkit. <http://toolkit.irap.org/default.asp?page=traitement&id=23>.
- PIARC 2008. Human Factors Guidelines for Safer Road Infrastructure. <https://www.piarc.org/en/order-library/6159-en-Human%20factors%20guidelines%20for%20safer%20road%20infrastructure>.
- PIARC 2019. *Road Safety Manual*. Accessible à l'adresse <https://roadsafety.piarc.org/en>. À lire : chapitre 8, Design for road users, characteristics, and compliance.
- Banque mondiale. 2005. Sustainable safe road design: A practical manual. À lire : Sustainable safe road design: cross section.
- Safety Edge. https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/pavement/safedge/brochure/.
- TRL et Department for International Development. 2001. Horizontal curves, highway design note 2/01, TRL Ltd, Crowthorne, UK. <https://www.yumpu.com/en/document/read/32357056/horizontal-curves-transport-for-development>.
- Transport Research Laboratory. 2001. Combination of Horizontal and Vertical Curvature. <http://www.rhd.gov.bd/Documents/ExternalPublications/Trl/Combination%20of%20horizontal-vertical%20curves%20DFS.pdf>.

5.4. Dévers et pente transversale (également appelée « cambrure » ou « pente transversale »)

Description générale

Sur les tronçons de route rectilignes, la surface est souvent bombée au milieu, de sorte que les conducteurs sont naturellement éloignés de la circulation opposée. Le taux de courbure se situe normalement entre 2 et 3 % et sa valeur est principalement influencée par la capacité de la surface à évacuer l'eau.

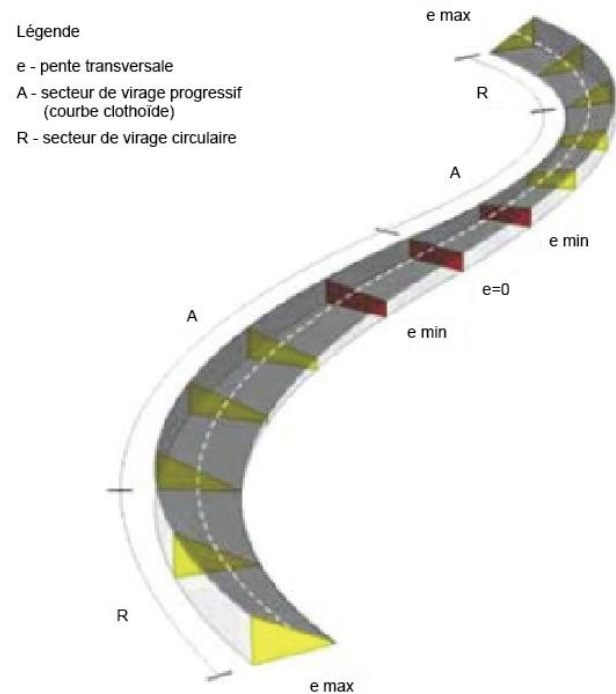
Dans les courbes horizontales, le dévers est la pente transversale prévue perpendiculairement au sens de la marche pour contrer la force centrifuge générée par la vitesse dans un mouvement circulaire. Il est appliqué en relevant le bord extérieur de la chaussée par rapport au bord intérieur sur toute la longueur de la courbe horizontale (figure 5.38). Il est généralement appliqué sur la longueur d'une courbe circulaire afin de réduire l'inévitable frottement latéral entre les pneus et la surface de la route et d'augmenter le confort. La valeur du dévers est

Figure 5.38: Exemple de dévers apporté à un virage

Source : TRL Limited. 2003. CaSE Highway Design Note 2, Horizontal Curves.

généralement choisie par les concepteurs de routes pour être cohérente avec la combinaison de la vitesse de conception, du rayon de la courbe et de la politique de l'autorité routière en matière de dévers maximal. Une courbe de transition, insérée entre la tangente et la courbe circulaire, peut être utilisée pour supprimer la pente transversale défavorable (cambrure défavorable) créée par la courbure de la route et introduire un dévers (figure 5.39).

Sur les routes urbaines, les valeurs de dévers maximal sont généralement de 4 ou 6 %. En effet, il est souhaitable que la section transversale des rues urbaines soit aussi proche que possible du niveau naturel du sol afin de permettre un accès facile aux propriétés adjacentes à la route. Il facilite également le drainage des propriétés environnantes. En outre, les valeurs élevées de dévers dans les zones urbaines nécessiteraient des distances de 100 m ou plus dans le développement du dévers, ce que des carrefours très rapprochés rendraient difficile à réaliser.

Figure 5.39: Représentation de deux courbes de transition opposées consécutives

Source : Alina Burlacu, Carmen Răcănel et Adrian Burlacu. 2018. Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions. Grăveinar 12/2018.

Sur les routes de campagne, les taux de dévers sont normalement compris entre 6 et 10 %, avec un maximum de 12 %, en raison notamment de problèmes de construction et de stabilité des véhicules lourds, en particulier ceux dont le centre de gravité est élevé. Ceci est particulièrement important dans les montées abruptes où les camions ne peuvent pas générer une force centrifuge suffisante pour contrebalancer le dévers, ce qui crée un déséquilibre. En cas de verglas, le dévers maximal est généralement limité à 8 %.

Pour les routes de gravier, le dévers maximal communément admis est d'environ 6 %. Lorsqu'il est plus élevé, il peut être dangereux, en particulier lorsque la neige et la glace rendent les routes glissantes. Un dévers plus important a également tendance à faire migrer les granulats vers le bas de la pente, ou vers l'intérieur de la courbe. Pour plus de détails, il convient de se référer aux références de conception énumérées ci-dessous ou aux codes de référence des pays en matière de conception.

Conséquences pour la sécurité

- Si la route n'est pas surélevée, la force centrifuge tend à pousser le véhicule vers l'extérieur de la courbe. À grande vitesse, la conduite sera inconfortable et plus exigeante. En conséquence, les véhicules peuvent devenir moins stables, perdre de la traction et déraiper en raison d'une force de frottement insuffisante entre le pneu et la route pour contrebalancer la force centrifuge, ou basculer sur le côté si le centre de gravité est élevé. Les véhicules situés à l'extérieur des courbes sont plus susceptibles de subir des sorties de route entraînant des collisions avec des usagers de la route ou des objets situés sur les accotements extérieurs, ou des renversements.
- L'absence de dévers incite également les conducteurs à emprunter le centre de la route ou la voie intérieure quel que soit le sens de circulation, ce qui augmente la probabilité de collisions frontales, en particulier sur les routes à double sens et à deux voies.
- Étant donné que le dévers contribue également à l'évacuation de l'eau, un dévers trop faible est plus susceptible de présenter des défauts de surface pouvant entraîner la formation d'eau stagnante sur la chaussée, ce qui augmente le risque de perte de frottement de la chaussée. La pellicule d'eau qui se forme pendant et après les précipitations augmente le risque d'aquaplanage. L'eau stagnante peut également endommager la chaussée et lui faire perdre sa forme à long terme, ce qui constitue un risque supplémentaire pour la sécurité. Une courbe dont la surface de la chaussée est usée ou polie et qui offre peu de résistance au dérapage présente un risque accru d'accident, en particulier par temps de pluie.
- Le changement de dévers, également connu sous le nom de « roll over », d'un côté à l'autre de la route ou entre les lignes droites et les courbes, crée inévitablement des zones de surface routière sans carrossage ni pente transversale. Il est important que ces zones ne coïncident pas avec des pentes longitudinales très faibles, sinon l'eau s'accumulera et des étangs se formeront.

- Un dévers insuffisant présente des risques accrus pour la sécurité des motocyclistes en raison de la moindre stabilité de leur véhicule, qui n'a que deux points de contact avec la route. En l'absence de dévers, les motocyclistes dépendent entièrement de l'adhérence des pneus pour rester sur la route.
- Un dévers trop important peut entraîner le glissement latéral des véhicules lents ou, dans les cas extrêmes, leur renversement. Il a été observé qu'un dévers de 12 % peut entraîner la perte de charge ou le basculement complet de camions lourdement chargés lorsqu'ils tentent de négocier une courbe à faible vitesse.⁶⁶

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Lorsque le rayon d'une courbe est inférieur au minimum spécifié pour chaque vitesse de conception, l'introduction d'un dévers et l'élargissement de la courbe minimiseront l'intrusion des véhicules sur les voies adjacentes et encourageront l'uniformité de la vitesse, augmentant ainsi la sécurité des véhicules dans les courbes. Cette cohérence est obtenue en utilisant des facteurs de frottement latéraux minimaux acceptables entre les pneus d'un véhicule à la vitesse de conception et la surface de la route. Les facteurs de frottement acceptables varient de 0,15 pour 100 km/h à 0,33 pour 50 km/h.
- La relation entre la demande de frottement latéral et la vitesse n'est pas linéaire, et il convient de consulter les lignes directrices pertinentes pour connaître les valeurs appropriées et les équations adaptées au niveau local.^{67, 68, 69}
- En concevant le véhicule en fonction d'une demande de frottement latéral de 50 à 60 % du maximum, un facteur de sécurité est intégré dans le processus, ce qui permet au conducteur de disposer d'une marge d'erreur dans le choix de la vitesse de négociation. Cela signifie qu'un conducteur roulant plus vite que prévu dans un virage se sentira de plus en plus mal à l'aise bien avant que le frottement latéral ne dépasse la demande disponible et qu'il perde la traction. Cet inconfort déclenche la réaction naturelle du conducteur qui relâche l'accélérateur.

⁶⁶ Wolhuter, K. M. 2015. Geometric design of roads handbook. CRC Press.

⁶⁷ Austroads. 2009. Guide to Road Design Part 3: Geometric Design.

⁶⁸ AASHTO. 2018. Policy on geometric design of highways and streets (chapter 3). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

⁶⁹ New Zealand Transport Agency. 2000. State Highway Geometric Design Manual (chapitres 2 et 4).

- Sur les routes principales présentant un déficit de dévers, il est souhaitable de reconstruire la voie extérieure dans les virages afin d'obtenir un dévers adapté aux vitesses d'exploitation. Il a été rapporté que l'amélioration du dévers peut réduire le nombre d'accidents de 5 à 10 pour cent.⁷⁰ Il est également important de s'assurer qu'il y a une transition douce entre les sections couronnées et dévers à chaque extrémité de la courbe.
- Les conditions de drainage doivent être vérifiées pour s'assurer que les combinaisons de pentes le long et en travers de la route sont adéquates pour évacuer l'eau des zones plates potentielles qui peuvent entraîner des eaux stagnantes et un risque potentiel d'aquaplaning. Des solutions techniques, notamment des caniveaux transversaux, des pentes diagonales et des rainurages de surface, peuvent être appliquées pour prévenir l'aquaplaning dans les courbes opposées consécutives lorsque le tracé vertical ne facilite pas l'évacuation des eaux pluviales de la chaussée.⁷¹ La cohérence de la conception des courbes doit être vérifiée, la valeur choisie pour le dévers maximal étant appliquée de manière cohérente sur une base régionale. Cela permet de s'assurer qu'il n'y a pas de variations dans les taux de dévers pour des courbes de même rayon. Il est largement admis que les conducteurs choisissent leur vitesse d'approche des courbes en fonction du rayon qu'ils voient et non du degré de dévers. C'est pourquoi un manque de cohérence en matière de dévers entraînerait presque certainement des différences dans la demande de frottement latéral, ce qui pourrait avoir des conséquences critiques.
- En appliquant un dévers par rapport à la valeur maximale, le conducteur bénéficie d'un niveau de confort constant lorsqu'il emprunte une courbe à dévers élevé.
- S'il n'est pas possible de remédier raisonnablement ou facilement à un défaut de dévers, d'autres mesures de sécurité peuvent être envisagées, notamment :
 - Marquage de la route, panneaux et poteaux pour attirer l'attention du conducteur sur le virage,
 - Mise en place d'accotements et de zones exemptes de dangers afin d'offrir une zone de récupération sûre.
 - Amélioration du frottement de surface de la voie extérieure, et Érection de glissières de sécurité ou conception de zones dégagées autour de l'extérieur de la courbe (voir section 5.8).
- Les virages dans les rues résidentielles et les zones bâties sont souvent conçus sans dévers, car on suppose que les vitesses d'exploitation sont plus faibles. Dans ces zones, la gestion de la vitesse et le ralentissement de la circulation, plutôt que la forme du revêtement routier, constituent généralement une solution plus appropriée pour réduire les risques supplémentaires créés par les véhicules circulant à grande vitesse.
- Les pluies qui surviennent après une longue période de sécheresse réduisent le frottement latéral, en particulier dans les zones où la surface est polluée par des déversements d'hydrocarbures, du caoutchouc et d'autres débris. Lorsque l'une de ces circonstances est susceptible de se produire, une valeur inférieure de dévers maximal est recommandée lors de la conception.

Pour en savoir plus

- AASHTO. 2018. Policy on geometric design of highways and streets (chapter 3). American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.
- Austroads. 2009. Guide to Road Design Part 3: Geometric Design.
- Aram, A. 2010. Effective safety factors on horizontal curves of two-lane highways. *Journal of Applied Sciences (Faisalabad)*, 10(22), 2814-2822.
- Alina Burlacu, Carmen Răcănel et Adrian Burlacu. 2018. Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions. *Građevinar* 12/2018. Accessible à l'adresse <http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-70-2018-12-4-1578-EN.pdf>.

⁷⁰ Zegeer, C. V. et Council, F. M. 1995. Safety relationships associated with cross-sectional roadway elements, *Transportation Research Record* Issue : 1512.

⁷¹ Alina Burlacu, Carmen Răcănel et Adrian Burlacu. 2018. Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions. *Građevinar* 12/2018. Accessible à l'adresse <http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-70-2018-12-4-1578-EN.pdf>.

- New Zealand Transport Agency. 2000. State Highway Geometric Design Manual (chapitres 2 et 4).
- TRL Limited. 2003. CaSE Highway Design Note 2, Horizontal Curves. Accessible à l'adresse <https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/case-note-2-horizontal-curves>.

5.5. Courbe verticale et gradient

Description générale

Le tracé vertical comprend la pente de la route (le taux de variation de l'élévation verticale) et les courbes verticales (c'est-à-dire les crêtes et les affaissements). Sa conception résulte de l'interaction entre les critères de distance de visibilité, la topographie de la route et la nécessité pour le concepteur d'atteindre des objectifs auxiliaires (par exemple, équilibrer les quantités de déblais et de remblais), qui sont des facteurs de sécurité importants pour les routes.

La plupart des voitures particulières peuvent facilement négocier des pentes aussi raides que 4 à 5 % sans perdre sensiblement de vitesse par rapport à la vitesse normalement maintenue sur des routes plates.

Figure 5.40: Réduction de la distance de visibilité au niveau d'une courbe verticale en crête.



Source : Federal Highway Administration. 2007. Mitigation Strategies for Design Exceptions, US. <https://safety.fhwa.dot.gov/geometric/pubs/mitigationstrategies/>.

Dans les montées plus raides, les vitesses diminuent progressivement avec l'augmentation de la pente. En particulier, les différences de vitesse entre les voitures particulières et les véhicules lourds doivent être prises en compte lors de l'analyse de la sécurité. Dans les descentes, les vitesses des voitures particulières sont généralement légèrement plus élevées que sur les tronçons plats, et les distances de freinage augmentent, mais les conditions locales sont déterminantes.⁷²

La sévérité ou la netteté des courbes verticales est généralement exprimée en termes de rayon (arc de cercle) ou de « valeur K » (parabole). L'Austrroads Guide to Road Design Part 3 (2016)⁷³ fournit des informations complètes sur la conception et le calcul des profils verticaux (alignements) utilisant des courbes paraboliques.

Pour la combinaison de l'alignement horizontal et vertical, voir la section 5.3 sur la courbure horizontale.

Conséquences pour la sécurité

- L'alignement vertical influence la distance de visibilité du conducteur (figures 5.40 à 5.42). Les courbes verticales en crête peuvent limiter la distance de visibilité en restreignant la ligne de mire du conducteur.

Figure 5.41: Réduction de la distance de visibilité dans une courbe verticale affaissée.

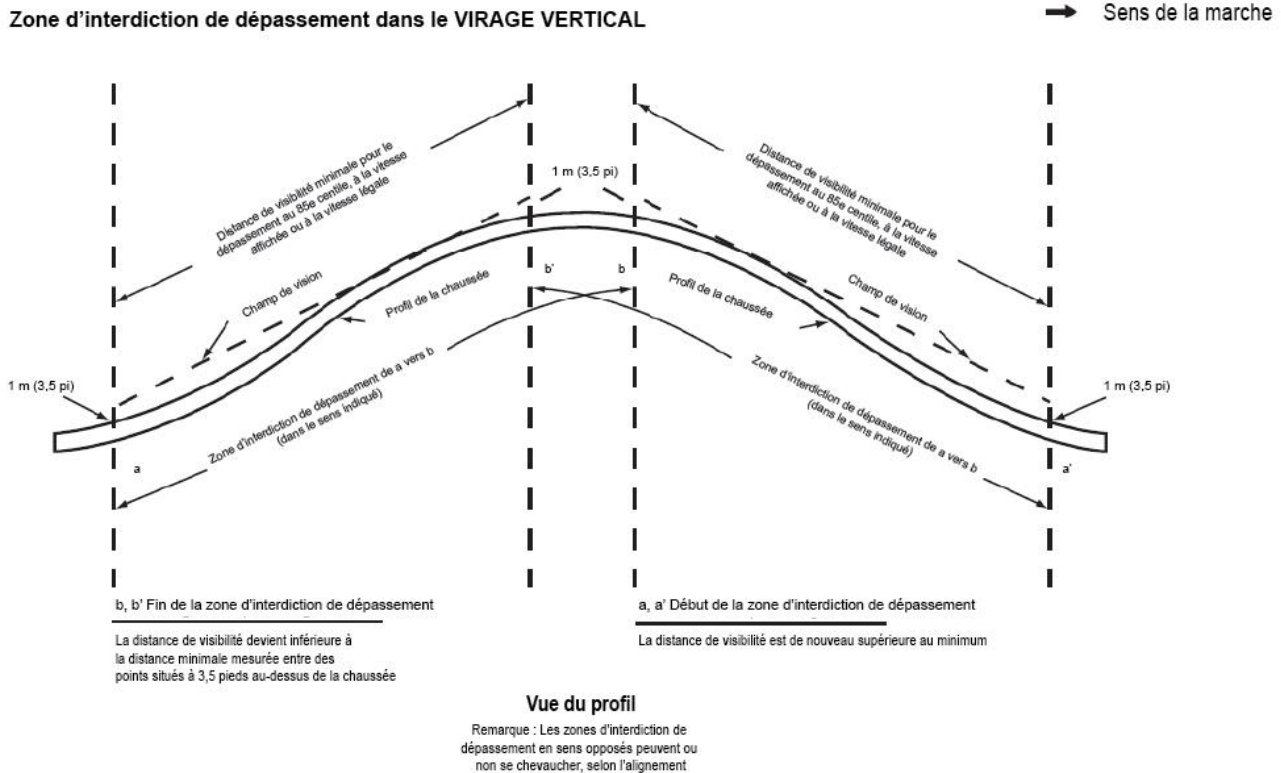


Source : FHWA, 2007.

⁷² AASHTO. 2018. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7e édition.

⁷³ Austrroads. 2016. Guide to Road Design Part 3: Geometric Design, section 8, and Appendix K.

Figure 5.42: Effet des courbes verticales en crête sur la distance de visibilité.



Source : Federal Highway Administration. 2012. Manual on Uniform Traffic Control Device édition 2009 avec les numéros de révision 1 et 2 incorporés, daté de mai 2012, US.

La fréquence des accidents dans les courbes en crête avec une distance de visibilité réduite est 52 % plus élevée que dans les courbes sans réduction de la distance de visibilité⁷⁴ (voir la section 3.3 sur la distance de visibilité).

- Le risque de dépassement est plus élevé à cet endroit en l'absence de voies auxiliaires (c'est-à-dire de voies de montée ou de dépassement), en particulier sur les routes de campagne.
- Les fortes pentes peuvent augmenter la vitesse du véhicule jusqu'à 5 % ; les conducteurs de gros véhicules peuvent donc choisir de descendre les pentes à des vitesses plus lentes afin de mieux contrôler leur véhicule.
- Les longues descentes abruptes peuvent entraîner la perte de contrôle des véhicules, en particulier s'ils sont présents avant la courbure horizontale pour effectuer des actions correctives soudaines. Plus la note est élevée, plus le risque d'accident est important. Le risque d'accident augmente plus rapidement pour les pentes supérieures à 6 %, car la vitesse des véhicules devient plus difficile à

gérer.⁷⁵

- L'augmentation des distances de freinage et la possibilité d'une surchauffe des freins des véhicules lourds doivent être sérieusement prises en compte, car elles peuvent entraîner une défaillance des freins.
- La fréquence et la gravité des accidents sont plus élevées dans les descentes que dans les montées, avec une forte implication des véhicules lourds.
- D'autres types de véhicules, tels que les voitures compactes et les véhicules de loisirs, peuvent avoir des pertes de vitesse et des mouvements différents sur les alignements verticaux.

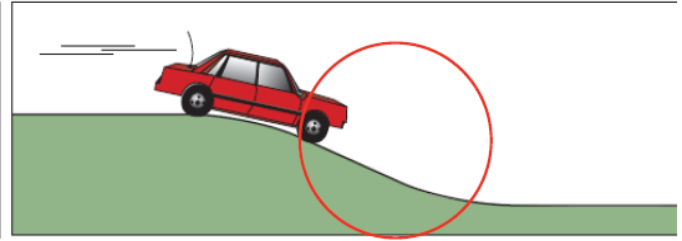
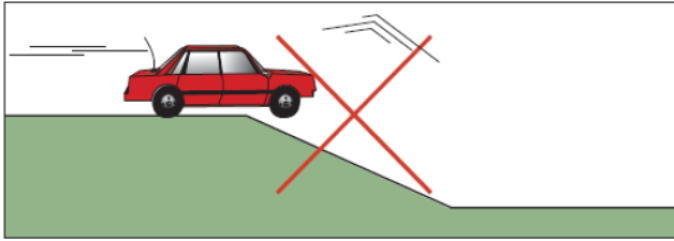
Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

Sur les pentes, le concepteur doit éviter une combinaison de caractéristiques qui augmentent la probabilité d'avoir à effectuer des manœuvres difficiles, notamment les

⁷⁴ Olson, P. L., Cleveland, D. E., Fancher, P. S., Kostyniuk, L. P. et Schneider, L.W. 1984. Parameters affecting stopping sight distance, NCHRP Report 270, Transportation Research Board.

⁷⁵ Federal Highway Administration (Administration fédérale des autoroutes). 2000. Prediction of the expected safety performance of rural two-lane highways, US. FHWA-RD-99-207.

Figure 5.43: Nivellement des pentes.



Source : PIARC, 2003.

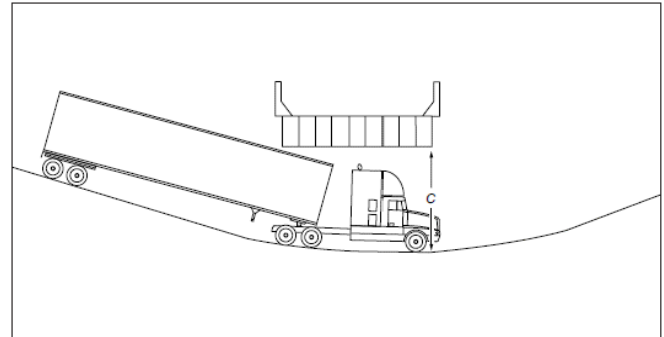
Figure 5.44: Rampe d'évacuation (en construction) en Chine.



Source : © John Barrell.

- carrefours ou autres croisements (chemin de fer, passage pour piétons, piste cyclable, etc.), les courbes horizontales prononcées, les structures étroites et l'absence de protection.
- Les dépassements doivent être interdits pour éviter les collisions frontales, de préférence en séparant physiquement les deux sens de circulation.
- Les pentes latérales abruptes doivent être évitées. La pente maximale que peuvent emprunter les véhicules ayant perdu le contrôle est de l'ordre de 1:3 à 1:4. Idéalement, afin d'accueillir des véhicules plus grands et à centre de gravité élevé, ces pentes devraient être de l'ordre de 1:6 à 1:106. L'angle entre l'accotement/la pente et la pente/le terrain adjacent doit également être lissé au niveau de la surface⁷⁶ (figure 5.43).
- Dans les pentes raides, une courte voie de dépassement, une voie auxiliaire ou un « embranchement pour véhicules lents » peuvent être aménagés. Si ce n'est pas le cas, les conditions risquent d'être mauvaises pour les véhicules plus rapides venant de l'arrière, ce qui augmente le risque d'accidents par l'arrière et de manœuvres de dépassement risquées.

Figure 5.45: Dégagement vertical aux passages inférieurs.



Source : AASHTO, 2018. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7e édition.

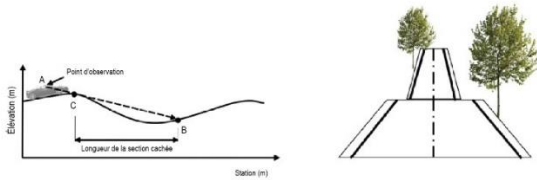
- L'augmentation du dévers dans les courbes horizontales qui coïncident avec de fortes descentes améliore la stabilité des poids lourds lors du freinage.⁷⁷
- Il est conseillé d'augmenter les rayons au bas des pentes raides, car ces courbes sont souvent mal interprétées par les conducteurs et la distorsion visuelle entraîne une « surconduite ».⁷⁸
- Lors de la descente de pentes raides, il convient de prévoir des rampes d'évacuation ou de fuite en cas de défaillance des freins (figure 5.44).
- Les courbes verticales des passages souterrains doivent être conçues de manière à permettre au plus grand véhicule légal d'emprunter le passage inférieur sans permis de circuler. Une remorque de tracteur aura besoin d'une courbe verticale d'affaissement plus longue qu'un camion simple pour éviter que la remorque ne heurte la structure aérienne (voir figure 5.45).

⁷⁶ PIARC. 2003. Road Safety Manual, First edition.

⁷⁷ Austroads Guide to Road Design. 2016. Partie 3, section 7.6.1.

⁷⁸ Austroads Guide to Road Design. 2016. Partie 3, section 7.6.1.

Figure 5.46: Creux caché : gauche – profil vertical de la route ; droite – vue 3D frontale de la route.



Source : González-G. et Castro, 2019.

- Le taux de changement de grade est critique pour les courbes d'affaissement où les forces gravitationnelles et verticales agissent dans des directions opposées. Il convient d'éviter les profils en dents de scie (montagnes russes). De tels profils peuvent se produire sur des tracés horizontaux relativement rectilignes, lorsque le profil de la route suit de près un niveau de sol naturel ondulé. Les dépressions cachées peuvent créer des difficultés pour les conducteurs, car le conducteur qui passe peut être trompé si la vue de la route ou de la rue au-delà de la déviation est libre de véhicules opposés, même avec des dépressions peu profondes.⁷⁹ (voir figure 5.46).
- Une ligne de pente brisée (deux courbes verticales dans la même direction séparées par une courte section de pente tangente) doit généralement être évitée. Cet effet est particulièrement visible sur les routes à chaussées séparées avec des sections centrales ouvertes (voir figure 5.47).
- Une pente minimale de 0,5 % (0,3 % pour les bords extérieurs de la chaussée) est nécessaire pour assurer un drainage adéquat dans les courbes verticales affaissées, afin d'éviter les mauvaises manipulations liées à la formation de mares. Toutefois, il peut s'avérer nécessaire d'utiliser des pentes plus douces dans certains cas⁸⁰ (voir section 5.11 sur le drainage).

Figure 5.47: Effet des courbes verticales brisées



Courbe verticale brisée



Source : Bob L. Smith et Ruediger Lamm. 1994. Coordination of Horizontal and Vertical Alignment with Regard to Highway Esthetics.

Marquage et signalisation

Il est peu probable que la sécurité soit affectée par une distance de visibilité limitée à l'arrêt, mais l'amélioration de la distance de visibilité limitée aux endroits où d'autres véhicules peuvent ralentir ou s'arrêter peut être extrêmement importante pour la sécurité.⁸¹

- D'autres améliorations peuvent être apportées en supprimant les objets qui se trouvent dans la zone de visibilité limitée et en augmentant les zones d'évitement des accidents grâce à l'élargissement des voies ou des accotements.
- La vitesse d'un véhicule entrant doit être contrôlée. Dans les courbes verticales, la vitesse maximale prévue diffère de celle des routes plates en raison des différences de distance de visibilité dues à la combinaison d'autres caractéristiques, notamment la courbure horizontale, la largeur de la voie, etc. Un contrôle de la vitesse des véhicules passant d'une route plate à une courbe verticale doit être mis en place.

⁷⁹ González-G., Iglesias et Rodríguez S. Castro. 2019. Framework for 3D Point Cloud Modelling Aimed at Road Sight Distance Estimations, Remote Sensing, 11. 2730. 10.3390/rs11232730.

⁸⁰ Federal Highway Administration. 2007. Mitigation Strategies for Design Exceptions (archivé), US.

⁸¹ PIARC. 2019. Road Safety Manual. Accessible à l'adresse <https://roadsafety.piarc.org/en>.

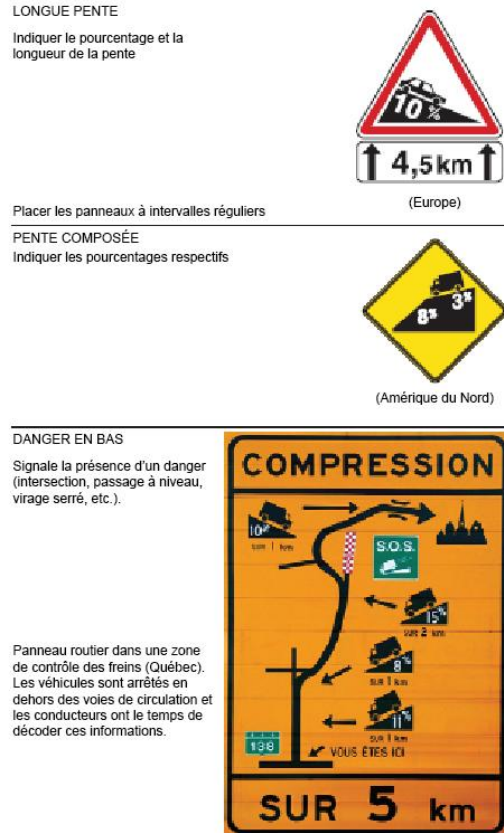
Figure 5.48: Panneau d'avertissement de pente raide le long d'une route qui semble s'abaisser au loin.



Source : FHWA, 2007

- Des panneaux peuvent être utilisés pour avertir à l'avance les conducteurs qui s'approchent d'une pente raide (figures 5.48 et 5.49). Les panneaux aident les conducteurs à adapter leur comportement à l'approche d'un danger ou d'un point de décision. Il est peu probable que l'utilisation de panneaux de signalisation avancée en tant que mesure isolée permette d'atténuer suffisamment une exception de conception pour la pente, mais elle peut constituer un élément efficace d'une approche plus globale.
- Les panneaux mal conçus, mal entretenus ou mal situés doivent être réinstallés. La rétroreflectivité des panneaux est un élément important pour la circulation routière de nuit et sur sol mouillé. L'entretien des panneaux peut être problématique ; les panneaux peuvent être volés et cassés dans certaines zones (figure 5.50).
- Le simple fait de placer des panneaux d'avertissement peut ne pas attirer l'attention des conducteurs. Dans ce cas, des éléments physiques (flexibles, bornes, etc.) peuvent être utilisés pour prévenir les accidents en interdisant les dépassements et en réduisant la vitesse du véhicule.
- Pour augmenter la distance de freinage dans les descentes, les panneaux peuvent indiquer une vitesse inférieure et la nécessité d'un rapport inférieur.

Figure 5.49: Exemples de signalisation avancée d'une pente raide



Source : FHWA, 2007.

Figure 5.50: Panneaux cassés sans entretien en Inde.



Source : Lokesh, T., Thejarathnam, T., Reddysaddam, P. et al. 2014. Road Safety Audit—Section Bhakarapet KM 77/4—Rangampet KM 93/6, India. <https://www.slideshare.net/lokeshthondamanati/batch-3>.

Aménagements routiers – glissières

- Lorsque la visibilité est réduite, que les pentes sont raides, qu'il y a une différence de niveau et que la vitesse du véhicule risque d'être réduite, le dépassement doit être interdit.
- Les bornes souples peuvent être utilisées aux endroits où la sécurité de la voie doit être assurée, tels que les courbes et les carrefours (figures 5.51 et 5.52).
- Les bornes souples contribuent également à améliorer la visibilité du milieu de la route en raison des différences de niveau. Le traitement de la visibilité doit être effectué, même si d'autres traitements verticaux sont coûteux.
- En outre, les bornes souples peuvent également être utilisées lorsqu'il est nécessaire d'assurer la bonne utilisation des voies et le ralentissement de la circulation.
- Les bornes souples sont une solution rapide et facile, mais ils peuvent entraîner des coûts d'entretien élevés s'ils sont heurtés à plusieurs reprises et s'ils doivent être remplacés. Dans ces circonstances, un traitement plus robuste et plus substantiel peut s'avérer plus approprié (glissière ou terre-plein central en béton).
- Dans les descentes où la limite de vitesse est fortement abaissée, il est possible d'utiliser des traitements de contrôle de la vitesse. Les traitements de contrôle de la vitesse comprennent une combinaison de panneaux bien visibles, de marquages routiers et de mesures de ralentissement de la circulation, par exemple des plateformes surélevées ou des chaussées colorées pour faire apparaître clairement le changement de type de route

Figure 5.51: Illustration de la mise en place de bornes souples dans les courbes où la distance de visibilité est limitée.



Source : © Kazuyuki Neki/GRSF/Banque mondiale.

(voir la section 3.2 sur le respect de la vitesse et la modération de la circulation).

Modifications du terrain

- La modification d'un alignement vertical est souvent trop coûteuse et peut avoir des répercussions importantes sur l'utilisation des terrains adjacents. Il vaut mieux concevoir la route bien avant sa construction que de la reconstruire. La reconstruction d'une courbe verticale de crête doit être mise en œuvre lorsque la crête de la colline dissimule des dangers majeurs, tels que des carrefours, des courbes horizontales prononcées ou des ponts étroits (voir figure 5.53).
- les profils de type « montagnes russes » ou « creux cachés » doivent être évités par l'utilisation de courbes horizontales ou de pentes plus graduelles.

L'élargissement de la route (soit par des accotements plus larges, soit par une voie de dépassement) sur une crête où la distance de visibilité est insuffisante peut être une contre-mesure efficace, plutôt que l'aplanissement de la crête. Les descentes longues et abruptes forcent les véhicules lourds à rouler au pas pour éviter de perdre le contrôle de la pente. Les véhicules lents de ce type gênent donc les autres véhicules. Il est possible d'aménager des voies auxiliaires pour pallier ce risque. Elles peuvent être construites en montée et en descente pour permettre aux véhicules plus lents d'effectuer des manœuvres de

Figure 5.52: Bornes souples améliorant la visibilité du terre-plein central au carrefour.



Source : © Kazuyuki Neki/GRSF/Banque mondiale.

Figure 5.53: Modification de l'alignement pour éliminer une courbe prononcée au bas d'une pente raide.



Source : PIARC, 2003.

dépassement en toute sécurité et réduire les accidents de 5 à 15 %. (Voir section 5.6 sur les voies de dépassement.) Étant donné que les voies auxiliaires encouragent les manœuvres de dépassement à des vitesses relativement élevées qui sont incompatibles avec les vitesses plus lentes des véhicules qui accèdent à la route et en sortent, elles ne devraient pas être situées à proximité de carrefours ou d'autres points d'accès.

- Étant donné que les problèmes de sécurité dans les niveaux impliquent principalement les véhicules lourds, des solutions visant à limiter leur présence aux endroits à risque peuvent également être envisagées, lorsque la configuration du réseau routier le permet (routes réservées aux véhicules lourds).

Pour en savoir plus

- FHWA. 2009. The Manual on Uniform Traffic Control Devices. À lire : chapitre 2, Signs, et chapitre 3, Markings.
- FHWA. 2007. Mitigation Strategies for Design Exceptions (archivé). À lire : chapitre 3, Controlling criteria.
- PIARC 2019. *Road Safety Manual*. Accessible à l'adresse <https://roadsafety.piarc.org/en>.

- FHWA. 2003. Geometric Design Consistency on High-Speed Rural Two-Lane Roadways (NCHRP 502). À lire : Interpretation, appraisal, and applications.
- AASHTO. 2018. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets, 7e édition. À lire : chapitre 3, Elements of design.
- FHWA. 2016. Highway Capacity Manual: A Guide for Multimodal Mobility Analysis, Sixth edition. À lire : chapitre 16, Urban street facilities.
- PIARC 2003. *Road Safety Manual*, First edition. À lire : chapitre 8, Design for road users, characteristics, and compliance.

5.6. Voies de dépassement

Description générale

Une voie de dépassement est une voie supplémentaire aménagée sur une route conventionnelle à une seule voie et à double sens afin d'offrir des possibilités de dépassement en toute sécurité et d'améliorer la circulation globale en brisant les pelotons de circulation et les retards (figure 5.54).

Figure 5.54: Exemple de voie de dépassement.



Source : iRAP.

Les voies de dépassement réduisent le risque d'accidents frontaux, d'accidents dus à un changement de voie ou à un dépassement latéral, et d'accidents dus à une sortie de route, qui résultent d'un dépassement dangereux en raison d'un nombre insuffisant de possibilités de dépassement. L'insuffisance des possibilités de dépassement sur les routes à deux voies et à double sens peut être due à l'effet combiné d'un volume de circulation élevé avec un pourcentage important de camions ou de véhicules lents, y compris les machines agricoles, les charrettes tirées par des animaux et les animaux dans les deux sens, et des restrictions de la distance de visibilité. Les files d'attente et la frustration peuvent inciter les conducteurs à effectuer des manœuvres de dépassement dangereuses, par exemple dans de courts intervalles entre les véhicules circulant en sens inverse ou sur un tronçon de route où la distance de visibilité est insuffisante, ce qui peut entraîner un accident. Dans les sections à forte pente, les conducteurs peuvent ne pas évaluer correctement le temps et la distance nécessaires pour effectuer un dépassement en raison de la modification de l'accélération des véhicules. La construction d'une voie de dépassement permet donc d'offrir un espace de dépassement sûr tout en améliorant la fluidité générale de la circulation sur la route.

Il existe différents types de voies de dépassement, notamment des voies de dépassement en terrain plat ou vallonné, des voies montantes, des voies descendantes et des voies pour véhicules lents (aiguillages). Les voies de dépassement ne sont généralement installées que sur les routes rurales à grande vitesse. Des voies d'accès sont prévues pour les montées en pente afin de réduire les retards et la frustration des conducteurs et d'améliorer la sécurité. Les voies descendantes sont prévues pour des raisons similaires à celles des voies montantes, mais sur des pentes raides (puisque les véhicules lourds sont limités à des vitesses plus lentes même en descente). Les voies de dépassement pour véhicules lents sont de courtes voies de dépassement (il peut s'agir d'une courte section d'accotement revêtu ou d'une voie supplémentaire) qui permettent aux véhicules lents de s'arrêter et d'être dépassés. Les embranchements pour véhicules lents sont plus appropriés dans les zones à faible circulation ou lorsque les coûts de construction sont élevés, par exemple en cas de terrain vallonné ou montagneux.

Les voies de dépassement sont de préférence disposées par paires, avec une section de voie de dépassement pour chaque sens de circulation. Ainsi, les concepteurs peuvent choisir parmi une variété de configurations, y compris des

voies de dépassement séparées, des voies de dépassement adjacentes, des voies de dépassement qui se chevauchent, et des sections à quatre voies côte à côte/courtes. Le choix de la configuration et de l'emplacement des voies supplémentaires dépendra des besoins et des contraintes locales. L'efficacité fonctionnelle des voies de dépassement dépend de la longueur de la section de dépassement et de la distance entre les sections de dépassement le long d'un corridor.

Conséquences pour la sécurité

La construction de voies de dépassement se traduit par des conditions d'exploitation plus sûres, qui permettent une meilleure perception de la sécurité par les automobilistes et une réduction historique des accidents.⁸² Les études indiquent que les accidents corporels après la construction d'une voie de dépassement sont susceptibles d'être inférieurs de 20 à 40 % à ce qu'ils auraient été sans cette construction. L'ampleur de la réduction du nombre d'accidents varie toutefois selon qu'elle concerne la voie de dépassement elle-même, la voie de dépassement et la route immédiatement adjacente, ou l'ensemble de l'itinéraire.

Toutefois, si elles ne sont pas bien conçues, construites et entretenues, les voies de dépassement peuvent présenter des risques pour la sécurité. Certains de ces manquements et risques en matière de sécurité sont décrits ci-dessous :

- Distance de visibilité limitée aux points de départ et d'arrivée des voies de dépassement. Cette situation est particulièrement dangereuse sur les tronçons de fusion mis en œuvre le long ou à proximité de courbes horizontales ou verticales, avec une distance de visibilité limitée pour les conducteurs empruntant la voie de dépassement. Cette distance de visibilité doit être fournie aux marquages routiers afin que les conducteurs puissent voir précisément où commencent et finissent les rétrécissements de la voie et de l'accotement, associés à la fin de la voie de dépassement.
- Les voies de dépassement situées à proximité de villes, de carrefours importantes ou de routes d'accès à forte circulation peuvent donner lieu à des collisions en raison de l'interaction élevée des véhicules de dépassement avec les mouvements de virage et les usagers de la route vulnérables. Il convient de noter que la vitesse des véhicules est influencée sur une longue distance après un dépassement, car les conducteurs qui dépassent veulent s'éloigner du véhicule dépassé. Par conséquent, il convient d'évaluer la nécessité d'apporter des améliorations

⁸² Espada, I., Stokes, C., Cairney, P., Truong, L., Bennett, P., Tziotis, M. et Tate, F. 2019. Passing Lanes: Safety and Performance (n° AP-R596-19)

mineures au corridor routier en aval.

- Les voies de dépassement comportant des carrefours doivent être évitées dans la mesure du possible.
- Largeur réduite des accotements sur les sections de dépassement. Dans de nombreux cas, la largeur de l'accotement scellé est réduite dans le cadre de la conception de la construction de la voie de dépassement, ce qui peut réduire l'avantage en termes de sécurité des sections de dépassement à trois voies. Des accotements scellés plus étroits constituent un risque pour la sécurité, car ils peuvent ne pas offrir un espace suffisant pour permettre aux véhicules d'effectuer des manœuvres d'évitement en cas de nécessité pour éviter un autre véhicule.
- Signalisation et marquage de la chaussée inadéquats. Cela nuit à l'efficacité et à la sécurité de la voie de dépassement, car les conducteurs ne sont pas suffisamment guidés sur l'action la plus appropriée à prendre sur la section de dépassement, y compris les approches et les croisements.

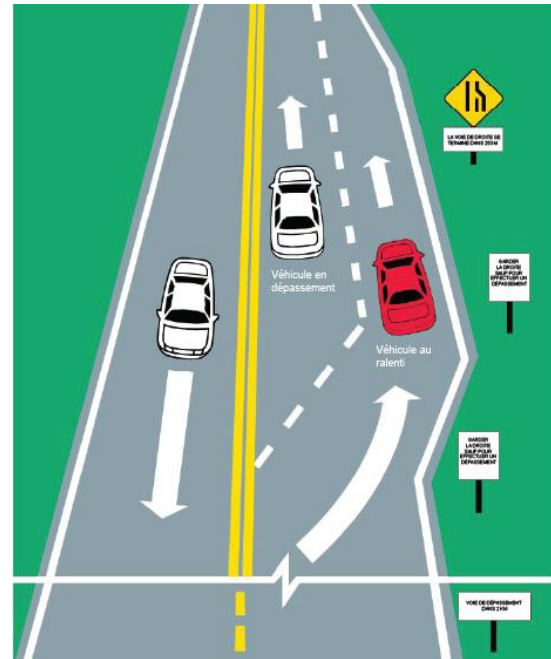
Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- La conception des voies de dépassement doit être soigneusement étudiée en fonction de la conception et de l'état des routes aux deux extrémités. L'emplacement de la voie de dépassement doit offrir une distance de visibilité suffisante par rapport aux marquages routiers au niveau de l'ajout de voies et de l'abaissement des voies. La longueur des cônes doit également être adaptée aux vitesses de fonctionnement.
- L'emplacement des voies de dépassement dépendra des besoins et des contraintes locales. Toutefois, il existe des sites où les voies de dépassement ne devraient pas être construites, notamment les sites proches des villes et/ou des routes d'accès à forte circulation, ainsi que les sites présentant des carrefours importants. En effet, les collisions peuvent résulter de l'interaction entre les véhicules qui passent et tournent beaucoup et les usagers vulnérables dans ces zones. Les emplacements présentant d'autres contraintes physiques, comme les ponts et les ponceaux, doivent également être évités s'ils empêchent la mise en place d'un accotement continu. Les tronçons routiers comportant des courbes à faible vitesse ne sont pas appropriés pour les voies de dépassement, car le dépassement, qui exige des conducteurs qu'ils accélèrent, peut être dangereux.
- Une signalisation et un marquage de la chaussée appropriés (voir figures 5.55 et 5.56) sont nécessaires pour que le conducteur comprenne mieux l'utilisation prévue de la section de dépassement et l'informe des possibilités

de dépassement à venir, ce qui permet d'améliorer l'efficacité et la sécurité de la voie de dépassement. Pour une signalisation optimale, il convient de prévoir des panneaux dans les six zones suivantes :

- Avant le couloir de dépassement ;
- La zone de transition de l'ajout de la voie de dépassement ;

Figure 5.55: Illustration de la signalisation et du marquage à l'avance et le long d'un tronçon de dépassement.



Source : Alberta. 2021. Passing on a multilane highway. <https://www.alberta.ca/passing.aspx>.

Figure 5.56: Exemple de marquage d'une voie en montée.



Source : Billy McCrorie/Geograph, PIARC, 2003.

Figure 5.57: Exemple de signalisation préalable d'une voie en montée.



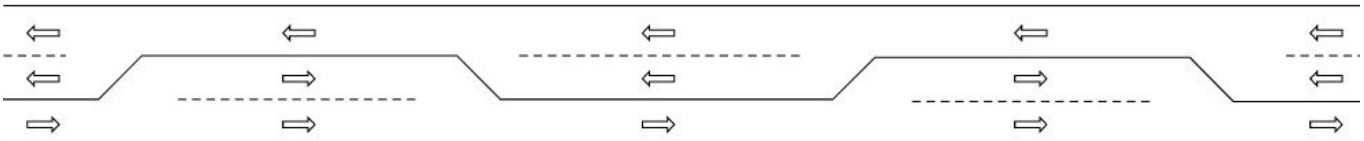
Source : Billy McCrorie/Geograph, PIARC, 2003.

- Avant la fin de la voie de dépassement ;
 - La transition de la réduction de la voie de dépassement ;
 - La zone en aval adjacente à la voie de dépassement ; et
 - Dans le sens inverse de la voie de dépassement.
- Une stratégie de signalisation préalable des voies de dépassement est souhaitable pour avertir les usagers de la route des possibilités de dépassement à venir (figure 5.57). Cela permet de réduire les dépassements dangereux avant la

voie de dépassement, car les automobilistes savent que des possibilités de dépassement plus sûres seront bientôt disponibles.

- Sur les tronçons à trois voies, les véhicules circulant dans le sens opposé à une voie de dépassement devraient être dissuadés de dépasser en raison du risque élevé de collision frontale. Ces informations peuvent être fournies par un marquage longitudinal de la chaussée ou par une combinaison de panneaux et de marquages de la chaussée. Il est souhaitable de procéder à un examen site par site afin de déterminer les emplacements des voies de dépassement qui sont essentiels à l'interdiction de dépassement par les véhicules opposés en raison d'une distance de visibilité limitée, d'une géométrie inhabituelle, de l'aménagement du bord de la route et d'un volume de circulation élevé. L'utilisation de bornes souples le long de la ligne médiane à ces endroits critiques, en plus des panneaux et du marquage de la chaussée, peut renforcer l'interdiction de dépassement par les véhicules opposés.
- les routes 2+1 sont une mesure de sécurité pour les routes à deux voies où une section transversale continue à trois voies sur laquelle la voie centrale sert de voie de dépassement dans des directions alternées est prévue sur toute la longueur de l'installation (voir figure 5.58). Les directions de déplacement sont séparées par un terre-plein central qui peut être physique (figure 5.59) ou peint (figure 5.60). Elles constituent une solution rentable lorsqu'une route à deux voies n'offre pas une sécurité et/ou une efficacité de circulation suffisantes et

Figure 5.58: Vue schématique de l'autoroute 2+1.



Source : Romana, M., Martin-Gasulla, M. et Moreno, A. T. 2018.

Figure 5.59: Autoroute 2+1 avec glissière flexible.



Source : Joel Torsson (Leojth). Travail personnel appartenant au domaine public. <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2096153>.

Figure 5.60: Autoroute 2+1 avec terre-plein central peint.



Source : © TrainSimFan.

- que l'extension à une route à quatre voies ne semble pas justifiée en raison du coût, de la demande ou de problèmes environnementaux. Avant de mettre en place une route 2+1, il convient de prendre en compte les aspects de conception propres à cette configuration, notamment le volume de la circulation, la longueur des voies de dépassement, les zones de transition, la conception des sections transversales, des carrefours et des accès, ainsi que la signalisation et le marquage.

Étude de cas

Sur la base des recommandations formulées dans les rapports d'inspection de la sécurité routière et dans le rapport d'examen des capacités de la Banque mondiale de 2017⁸³, une société nationale d'autoroutes et de routes a lancé plusieurs programmes pilotes de modernisation des infrastructures de sécurité routière sur des secteurs à haut risque de ses routes nationales.

Par exemple, sur les routes nationales construites en Europe de l'Est à l'époque du communisme, les accotements avaient une largeur de 2,5 mètres. Ces autoroutes sont actuellement utilisées comme des routes à quatre voies, bien que la largeur de la route soit de 12,00 mètres : La largeur de la voie est de 3,50 mètres dans chaque direction et les accotements et la voie de secours sont de 2,50 mètres, ce qui est une solution très dangereuse. Sur l'une des routes nationales de Roumanie, un tronçon pilote a été aménagé en 2+1 voies alternatives, suite à l'expérience positive de réduction des accidents mortels d'autres pays voisins qui

ont mis en œuvre de tels aménagements (voir figure 5.61) l'expérience positive de réduction de la mortalité dans d'autres pays voisins qui ont mis en œuvre de tels aménagements (voir figure 5.61).

Pour en savoir plus

- Austroads. 2016. Guide to road design part 3, geometric design (n° AGRD03-16).
- Lindsay Schumaker, Mohamed M. Ahmed et Khaled Ksaibati. 2016. Considérations politiques pour l'évaluation de l'efficacité en matière de sécurité des voies de dépassement sur les routes rurales à deux voies à faible circulation : Wyoming 59 case study, *Journal of Transportation Safety & Security*, 10.1080/19439962.2015.1055415. <http://www.uwyo.edu/ahmed/papers/2016%20safety%20&%20security%20policy%20and%20safety%20considerations%20of%20adding%20passing%20lanes%20on%20rural%20two-way%20roadways.pdf>.
- Potts, I. B. et Harwood, D. W. 2004. Benefits and design/location criteria for passing lanes (n° RDT 04-008).
- Wooldridge, M. D., Messer, C. J., Heard, B. D., Raghupathy, S., Parham, A. H., Brewer, M. A. et Lee, S. 2001. Design guidelines for passing lanes on twolane roadways (super 2). Austin, Texas. <https://journals.sagepub.com/doi/10.3141/2301-06>.

Figure 5.61: Programme pilote de modernisation de la route nationale roumaine 2 (DN2) en 2019.



Source : © Banque mondiale.

⁸³ Global Road Safety Facility (GRSF) and World Bank Group Transport. 2017. Romania, Road Safety Management Capacity Review—Improving Safety of Road Infrastructure. Washington, DC : Banque mondiale.

5.7. Bords de route – Bords de route favorables et zones de dégagement

Description générale

Des bords de route qui pardonnent⁸⁴

Le principe fondamental de la conception de bords de route sûrs repose sur le fait que les conducteurs (ou les cyclistes) commettent des erreurs ; il arrive qu'ils perdent le contrôle de leur véhicule et quittent la route. Dans ce cas, une collision avec des objets non résistants tels que des arbres ou des poteaux, ou avec des éléments non franchissables tels que des canalisations, des pentes latérales abruptes ou des surfaces rugueuses, risque de faire basculer le véhicule, le faire rouler ou l'arrêter brusquement, entraînant des blessures graves, voire mortelles, pour les occupants. L'aménagement d'un accotement tolérant vise à minimiser les conséquences d'une sortie de route d'un véhicule en créant une zone sûre et tolérante, exempte d'objets rigides, avec des talus aplanis et à pente douce et sans autre danger, dans laquelle un véhicule en erreur peut se rétablir et s'arrêter en toute sécurité. Tous les aspects du bord de la route doivent être conçus de manière à minimiser les risques de blessures graves ou mortelles pour l'occupant d'un véhicule en panne.

Un danger routier est une caractéristique ou un objet situé à côté de la route qui peut nuire à la sécurité de la zone de

Figure 5.62: Fossé dangereux avec mur de tête (à droite) sur une route à grande vitesse.



Source : Soames Job/GRSF/Banque mondiale.

bord de route si un véhicule quitte la route à cet endroit. Les dangers en bord de route sont généralement classés en dangers ponctuels et en dangers continus. Les dangers ponctuels sont des dangers individuels ou des dangers de bord de route d'une longueur limitée. Les arbres (en particulier ceux d'un diamètre supérieur à 100 mm), les poteaux d'extrémité de pont, les grands bacs à fleurs, les monuments, les éléments paysagers, les panneaux de signalisation non cassants (d'un diamètre supérieur à 100 mm), les piliers de support d'échangeur, les murs de tête d'allée, les murs de tête de ponceau, les poteaux électriques rigides (d'un diamètre supérieur à 100 mm), les murs solides et les piliers et/ou escaliers de passage supérieur pour piétons sont autant d'exemples de dangers ponctuels. Les dangers continus, quant à eux, sont des dangers qui s'étendent sur une longueur considérable de la route. Il s'agit notamment des rangées et des forêts de grands arbres, des drains longitudinaux non couverts, des murs de soutènement, des talus abrupts, des déblais rocheux, des falaises, des étendues d'eau (telles que les lacs, les ruisseaux, les canaux de plus de 0,6 m de profondeur), des dangers non protégés (tels que les falaises) à la portée d'un véhicule ayant perdu le contrôle, des repères concrets, des bordures dont la face verticale dépasse 100 mm de hauteur sur les routes où la vitesse de circulation est supérieure à 80 km/h, et des clôtures dont les rails horizontaux peuvent lancer les véhicules. La longueur d'un danger continu augmente la probabilité qu'un véhicule ayant perdu le contrôle le percute, et certains dangers (tels que les falaises) ont une gravité d'accident élevée, quelle que soit la vitesse du véhicule ayant perdu le contrôle. Voir les figures 5.62 à 5.71 pour des exemples de dangers en bordure de route.

Figure 5.63: Route élargie, mais sans déplacer les poteaux – Philippines.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

⁸⁴ Austroads. 2018. Research Report AP-R560-18-Towards Safe System Infrastructure: A Compendium of Current Knowledge.

Figure 5.64: Des repères concrets.



Source : Indian Institute of Technology, 2019. Report on Road Safety Audit of SH-11 during operation stage.

Figure 5.66: Drain non couvert et ponceau dangereux – Roumanie.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 5.68: Piliers de passage supérieur non blindés.



Source : CAREC, 2018.

Figure 5.65: Arbres (plus de 100 mm de diamètre) situés trop près de la chaussée.



Source : IIT, 2019.

Figure 5.67: Plan d'eau non protégé avec une digue abrupte.



Source : Indian Institute of Technology, 2019. Report on Road Safety Audit of SH-11 during operation stage.

Figure 5.69: Blocs de béton individuels.



Source : CAREC, 2018.

Figure 5.70: Mât rigide sur l'accotement.

Source : IIT, 2019.

Zone dégagée

Une zone dégagée est définie comme la zone en bordure de route (mesurée à angle droit à partir de la ligne de rive ou du bord de la voie de circulation la plus proche) qui doit être maintenue exempte de dangers fixes en bordure de route afin de donner aux conducteurs de véhicules errants la possibilité de se rétablir (figure 5.72). Le concept de zone dégagée a été développé pour définir une zone qui reflète la probabilité qu'un accident grave se produise sur un site, afin de permettre aux ingénieurs de concevoir et de fournir une zone de bord de route praticable et dégagée de tout danger. Le calcul de la largeur de la zone dégagée requise tient compte du volume de la circulation, de la vitesse du 85e centile, du rayon de la courbe et de la pente du bord de la route. Le concept en réduit les conséquences.

Figure 5.72: Exemple de zone dégagée.

Source : UNESCAP. 2017. Recommended Design Guidelines on Road Infrastructure Safety Facilities for the Asian Highway Network. <https://www.unescap.org/resources/recommended-design-guidelines-road-infrastructure-safety-facilities-asian-highway-network>.

Figure 5.71: Matériaux empilés au bord de la route. Ils représentent un danger particulier pour les conducteurs de véhicules à deux ou trois roues, surtout la nuit.

Source : IIT, 2019.

de zone dégagée n'empêche pas les sorties de route, mais il permet également une approche de gestion des risques dans la hiérarchisation des traitements des risques routiers à différents endroits. Il est important de noter que les chiffres relatifs à la zone dégagée sont basés sur la récupération de 80 à 85 % des véhicules en erreur, car la largeur requise pour récupérer 100 % des véhicules est beaucoup plus importante et généralement impossible à atteindre. En gardant cela à l'esprit, dans certaines situations, il est plus prudent d'agir de manière à inclure les derniers 15 à 20 % des véhicules routiers qui circuleraient théoriquement au-delà de la zone dégagée normale. Un exemple d'une telle situation serait la mise en place d'un système de glissières lorsqu'un danger majeur (tel qu'une haute falaise) ayant des conséquences graves se trouve juste à l'extérieur de la zone dégagée, afin de protéger les 15 à 20 % de véhicules ayant perdu le contrôle qui, en théorie, s'éloigneraient au-delà de la zone dégagée. Compte tenu du coût de la mise en œuvre et de l'entretien des zones dégagées, les orientations concernant la largeur optimale des zones dégagée varient d'un pays à l'autre et il convient de consulter les orientations locales. Toutefois, les zones dégagées recommandées sont généralement de 9 à 10 m sur les routes à grande vitesse et à forte circulation, et de 3 à 4 m pour les routes à faible vitesse et à faible circulation.

Conséquences pour la sécurité

Plusieurs études ont révélé que les sorties de route sont non seulement fréquentes, mais aussi particulièrement graves, entraînant des blessures plus graves et des décès plus nombreux que la plupart des autres types d'accidents. Les principaux facteurs qui influencent les résultats des accidents de sortie de route sont l'existence d'aires de récupération des véhicules, de glissières de sécurité et la présence d'objets infrangibles. Si un véhicule quitte

la chaussée, mais se rétablit sur l'accotement ou la bande herbeuse, il est probable qu'il ne subira aucun dommage ou des dommages mineurs. En revanche, si un véhicule ayant perdu le contrôle heurte à grande vitesse un poteau d'éclairage rigide ou un arbre important et s'arrête brusquement, il y a des risques de blessures graves ou de mort.

- Plus un danger routier est proche de la voie de circulation et plus la vitesse de circulation est élevée, plus le danger risque d'être percuté par un véhicule qui s'égaré. La présence de virages augmente la probabilité globale d'un accident avec sortie de route, car le conducteur doit prendre davantage de mesures pour maintenir le véhicule sur la route. L'exposition permanente de la circulation aux dangers en bordure de route augmente la probabilité d'accidents : plus il y a de circulation, plus il y a de risques de collisions avec des obstacles au fil du temps. Il a été démontré que les routes de rase campagne sont plus susceptibles d'entraîner des conséquences graves en cas d'accident par sortie de route, en raison des vitesses de circulation généralement élevées et du peu de modifications apportées aux abords des routes, par exemple en conservant les arbres d'origine le long des routes.
- Les fortes pentes en bordure de route augmentent le risque de renversement en cas d'accident avec sortie de route, qui est généralement très grave. Les vitesses élevées augmenteront le risque d'accidents graves. Les pentes plus raides que 1V:4H sont considérées comme non récupérables, c'est-à-dire qu'un véhicule hors de contrôle typique ira jusqu'au pied de la pente avant de pouvoir se rétablir. L'état de surface du talus influe également sur la récupération d'un véhicule hors de contrôle, les pentes lisses et fermes offrant de meilleures chances de récupération que les pentes molles et irrégulières. Les routes très fréquentées présentant des pentes raides non protégées ont tendance à enregistrer un plus grand nombre d'accidents mortels que les routes présentant des pentes relativement plus douces ou des glissières de sécurité routière.
- Les poteaux d'extrémité non protégés des ponts représentent un danger en raison de leur construction solide (rigide et infrangible) et de leur proximité avec la circulation. Plus le pont est étroit, plus le risque de collision avec un poteau d'extrémité est élevé, car le danger est plus proche de la voie de circulation. Les ponts à voie unique qui peuvent être abordés à des vitesses élevées et qui ne sont pas soumis à un contrôle actif de la circulation présentent un risque élevé d'accidents frontaux, d'accidents contre les poteaux d'extrémité du pont et d'accidents impliquant des piétons ou des cyclistes. Les

ponts dont les voies sont étroites, en particulier les ponts

à deux voies et les ponts dépourvus de séparation pour les piétons et les cyclistes, peuvent accroître le risque de collisions latérales, d'accidents frontaux ou de coincement de véhicules de grande taille.

- La végétation envahissante ou mal planifiée peut constituer un grave danger en fonction de son emplacement par rapport à la route. De la végétation à proximité de la chaussée masque les panneaux de signalisation, les marqueurs de danger et les dangers présents sur le bord de la route, comme les fossés. La végétation en bordure de route peut également gêner les distances de visibilité aux carrefours et dans les virages, ce qui augmente le risque d'accident aux carrefours, de sorties de route et de collisions frontales.
- Les branches d'arbres en surplomb gênent également la conduite, en particulier pour les autobus et les camions, obligeant les conducteurs à se déporter sur les voies adjacentes pour éviter d'endommager le véhicule ou le chargement. Dans les zones urbaines, les arbustes décoratifs bas peuvent bloquer la visibilité des piétons (en particulier des enfants) aux points de passage de la route, tandis que les branches d'arbres en surplomb peuvent bloquer les lignes de vue vers les panneaux de signalisation. Les arbres présentent toutefois des avantages, notamment l'ombre pour les piétons et la réduction de l'érosion du sol sur le site, et ceux dont le diamètre est inférieur à 100 mm sont moins susceptibles de contribuer à la gravité d'un accident.
- Sur les installations à grande vitesse, les bordures peuvent constituer un risque pour la sécurité, car un véhicule roulant à grande vitesse pourrait sauter ou se renverser (voir le point 5.12).

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- On évalue la sécurité d'un bord de route (ou d'un terre-plein central) par la largeur de la zone dégagée, qui dépend des vitesses de circulation, des volumes de circulation, des pentes du bord de route et de la géométrie de la route. Des zones dégagées plus larges sont recommandées à proximité des carrefours ou des virages, où la complexité de la conduite et l'interaction avec d'autres véhicules augmentent le risque d'accident par sortie de route. Il convient de noter que la largeur des zones dégagées n'est pas une garantie de sécurité, mais un compromis, une façon de gérer les risques en bordure de route. Néanmoins, il convient de prévoir, dans la mesure du possible, des largeurs de bord de route

généreuses et indulgentes.

- En outre, plus un véhicule ayant perdu le contrôle passe de temps à traverser le bord de la route, même s'il s'agit d'une zone dégagée étendue, plus la probabilité qu'il se renverse est grande.⁸⁵
- Les zones dégagées doivent être de bonne qualité et bien entretenues pour maximiser les avantages en termes de sécurité. Les surfaces inégales ou les racines d'arbres exposées peuvent accrocher les véhicules et les faire rouler, ce qui entraîne souvent des accidents graves.
- Certains pays privilégient l'utilisation de glissières de sécurité continues (voir section 5.8 sur les glissières) plutôt que de zones dégagées, car il semble que les performances en matière de sécurité soient meilleures que celles des zones dégagées. Dans les zones plus densément peuplées où les terrains sont rares, les besoins en terrains pour installer un système de glissières de sécurité sont considérablement réduits par rapport à une zone dégagée, tout comme les coûts d'entretien liés au contrôle de la végétation nécessaire à la création d'une zone dégagée de largeur adéquate, de bonne qualité et bien entretenue. Il est important que les pays mettent en place des contrôles appropriés pour la conception, l'installation et la maintenance des systèmes de glissières de sécurité continues si elles sont privilégiées par rapport aux zones dégagées.
- En revanche, lorsque le terrain est relativement peu coûteux, facilement disponible et que la végétation est peu dense, l'application des principes de la zone dégagée peut permettre d'obtenir un résultat acceptable en termes de sécurité, compte tenu du financement limité et du risque lié au bord de la route.
- Lors de la conception d'une nouvelle route, évitez de placer de nouveaux objets dangereux dans la zone dégagée. Cet objectif peut être atteint grâce à l'élaboration de politiques qui limitent l'installation de nouveaux objets potentiellement dangereux sur le bord des routes.
- Tous les objets fixes existants sur le bord de la route qui ont un diamètre de 100 mm ou plus doivent également être retirés de la zone dégagée. Lorsqu'il n'est pas possible d'éliminer complètement un danger de la zone dégagée, il convient d'envisager de déplacer le danger, de préférence

en dehors de la zone dégagée. Les poteaux rigides, les colonnes d'éclairage rigides et les drains peuvent être déplacés pour réduire le risque ou remplacés par des colonnes frangibles ou à sécurité passive (voir ci-dessous).

- L'abattage d'arbres, en revanche, doit être entrepris en tenant compte de l'environnement et des valeurs de la communauté. Les grands arbres (plus de 100 mm de diamètre) situés à proximité de la chaussée peuvent être remplacés par des plantes plus appropriées afin d'éviter que l'érosion du sol et la repousse n'affectent le site. Il faut veiller à ne pas laisser de grosses souches et de trous profonds lors de l'enlèvement d'un arbre, car cela constitue également un danger. Il est également important de tailler et d'entretenir régulièrement la végétation le long des routes.
- Dans les endroits où l'élimination ou le déplacement d'un danger situé dans la zone dégagée n'est pas possible ou réalisable en raison de contraintes économiques ou environnementales, l'altération ou la modification du danger peut réduire la gravité d'un accident et le risque de blessures graves. Les modifications courantes des risques sont les suivantes:

Figure 5.73: Traitement de l'extrémité des ponceaux franchissables pour les ponceaux de drainage transversal. Permet aux véhicules qui quittent la chaussée de passer par-dessus sans basculer ni changer brusquement de vitesse.



Source : FHWA. 2009. Entretien des éléments de drainage pour la sécurité, un guide pour le personnel d'entretien des rues et des routes locales.

⁸⁵ Austroads. 2018. Research Report AP-R560-18-Towards Safe System Infrastructure: A Compendium of Current Knowledge.

Figure 5.74: Repère léger peu dangereux.



Source : CAREC, 2018.

Figure 5.75: Colonne d'éclairage à patins adaptée aux routes à grande vitesse avec peu d'activité piétonne et de stationnement.



Source : CAREC, 2018.

Figure 5.76: Colonnes d'éclairage à absorption d'impact adaptées aux faibles vitesses.



Source : CAREC, 2018.

1. Modifier les drains longitudinaux ouverts en les canalisant ou en les recouvrant d'une couverture carrossable ;
 2. Modifier les parois d'extrémité des ponceaux d'entrée pour les rendre carrossables (figure 5.73) ;
 3. Modifier la conception des panneaux de signalisation rigides et des colonnes d'éclairage afin qu'ils soient frangibles (cassants) et peu dangereux, c'est-à-dire des types absorbant les chocs ou à base glissante (figures 5.74 à 5.76) ;
- Aplatissement d'une pente de remblai abrupte pour la rendre carrossable ;
 - Remplacement des rails des ponts par des glissières de sécurité avec des traitements d'extrémité appropriés ; et
 - Protection des piles de pont avec des glissières rigides (figure 5.77).
 - Dans les cas où la réserve routière est limitée, il n'est pas toujours possible de créer une zone dégagée. La réduction des vitesses de fonctionnement peut être une solution plus appropriée. On peut également envisager un système de glissières de sécurité qui présente en soi un risque (réduit) de collision, mais dont les terminaux doivent être traités de manière appropriée pour minimiser le risque.
 - Une bonne conception géométrique et une utilisation prudente des éléments de la route contribuent à maintenir les véhicules sur la route et à réduire le risque d'accident par sortie de route. La norme géométrique doit être basée sur une évaluation réaliste de la vitesse d'exploitation probable d'un tronçon de route, compte tenu de la fonction de la route, du terrain qu'elle traverse et de l'environnement routier. Parmi les caractéristiques de conception des routes qui contribuent à maintenir les

Figure 5.77: Piliers blindés avec glissières rigides. Un traitement final approprié (coussins/atténuateurs d'impact) doit également être appliqué aux systèmes de glissières.



Source : CAREC, 2018.

véhicules sur la route, citons la largeur appropriée des voies et des accotements, un alignement horizontal et vertical prévisible, une distance de visibilité suffisante et un revêtement routier en bon état avec un drainage adéquat.

- Il existe plusieurs traitements peu coûteux qui réduisent le risque d'accident par sortie de route, notamment une délimitation correcte, des marqueurs d'alignement à chevrons, des panneaux d'avertissement, la mise en place de marqueurs de danger avant tout obstacle en bord de route tel que le parapet d'un pont, la mise en place d'accotements scellés et de lignes de bordures tactiles, ainsi que des traitements de la ligne médiane plus large. Tous ces éléments contribuent à aider les véhicules à rester sur la route.

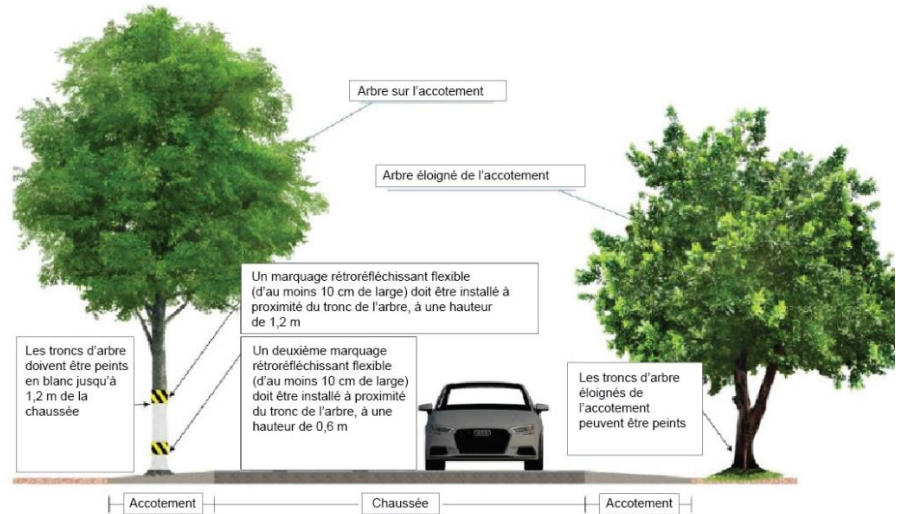
Figure 5.78: Arbre de bord de route délimité, mais discret – Italie



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

- La délimitation et la signalisation sont des aspects essentiels de la sécurité pour prévenir les sorties de route, car elles servent de guide visuel aux conducteurs le long d'une autoroute. Ces informations et conseils sont particulièrement importants la nuit, car ils exigent que les dispositifs soient équipés d'un matériau rétro réfléchissant. Une bonne conception et une bonne installation de la signalisation et des panneaux de guidage, ainsi qu'un entretien régulier des dispositifs, sont importants pour garantir que les dispositifs fonctionnent comme il se doit en fonction de l'état de la route. Les repères en béton ne sont pas recommandés, car ils constituent un danger pour les véhicules en perdition. Il convient d'utiliser des repères étroits et souples en bois, en tôle ou en plastique, car ils présentent moins de risques pour les occupants des véhicules en perdition, en particulier les motocyclistes, s'ils sont heurtés.
- En dernier recours, il apparaît nécessaire de veiller à ce que chaque danger (en particulier les arbres) soit délimité de manière à être plus facilement vu par les conducteurs (voir les figures 5.78 et 5.79). Cette solution doit être considérée comme une dernière option lors du traitement des dangers, car la délimitation d'un danger réduira probablement les collisions accidentelles ou les chocs sans conséquence, mais n'aidera pas les occupants d'un véhicule en perdition qui est incontrôlable. La délimitation

Figure 5.79: Illustration sur la délimitation des arbres comme traitement de dernier recours. La délimitation des dangers peut être utilisée en combinaison avec d'autres traitements, notamment la réduction des vitesses et la protection par des glissières de sécurité



Source : Indian Institute of Technology. 2019. Report on Road Safety Audit of SH-11 during operation stage.

d'un danger trop proche de la chaussée peut s'accompagner d'autres traitements, comme la réduction de la vitesse sur l'autoroute (par exemple à 50 km/h maximum) ou la protection par des glissières de sécurité. Le marquage de danger pour les objets doit être rétro réfléchissant pour assurer la visibilité de nuit.

Pour en savoir plus

- AASHTO. 2011. *Roadside design guide*. À lire : chapitre 5, Roadside barriers.
- Austroads. 2010. Guide to Road Design, Part 6: Roadside Design, Safety, and Barriers.
- Austroads. 2018. *Towards safe system infrastructure: a compendium of current knowledge* (n° AP-R560-18). https://austroads.com.au/publications/road-safe_ty/ap-r560-18.
- Secrétariat, CAREC. 2018. *CAREC Road Safety Engineering Manual 3: Roadside Hazard Management*. Asian Development Bank. À lire : chapitre 5, Using safety barriers correctly.
- C. A. Plaxico et al. 2005. National Cooperative Highway Research Program Report 537: Recommended Guidelines for Curb and Curb-Barrier Installations, Transportation Research Board. Washington, DC. À lire : chapitre 3, Summary of state surveys on curbs and curb barrier combinations.

5.8. Glissières

Description générale

Les glissières sont utilisées pour protéger les dangers contre les véhicules en perdition. Elles peuvent être utilisées le long du terre-plein central (parfois appelé terre-plein non franchissable) pour interdire la circulation sur le terre-plein central ou sur le bord de la route pour protéger des dangers en bordure de route. Ils sont conçus pour rediriger un véhicule percutant et dissiper les forces de l'accident de manière contrôlée, réduisant ainsi la gravité des accidents impliquant des véhicules en perdition.

Les glissières peuvent être classées en trois catégories : les glissières souples (par exemple, les glissières de sécurité en câble métallique), les glissières semi-rigides (par exemple, les poutres en acier) et les glissières rigides (par exemple, le béton). Chaque type de barrière présente des avantages et des inconvénients qui font qu'elle convient à certains endroits, mais pas à d'autres. Pour éviter d'installer des glissières dangereuses ou de gaspiller des ressources, les ingénieurs doivent comprendre les avantages et les limites de chaque type de glissière. Une brève description de chaque type de glissière est fournie ci-dessous.

Glissières souples (glissières de sécurité à câble)

Les glissières de sécurité à câble (figure 5.80) sont constituées de plusieurs câbles tendus (généralement trois ou quatre) qui sont maintenus en place par des ancrages à chaque extrémité et soutenus à la hauteur nécessaire par

des poteaux en acier frangible. Lors de l'impact d'un véhicule en perdition, les câbles tendus dévient et absorbent l'énergie du véhicule, ce qui le fait ralentir. Les câbles tendus sont conçus pour guider le véhicule percutant le long de la glissière, tandis que les poteaux s'effondrent progressivement lorsqu'ils sont heurtés. Finalement, le véhicule en perdition est redirigé dans le sens de la marche ou ralenti jusqu'à ce qu'il s'arrête.

Glissières semi-rigides

Elles sont généralement constituées de poutres ou de rails en acier montés sur des poteaux en acier galvanisé (figure 5.81). D'autres types de poteaux, tels que le bois ou le béton, peuvent être utilisés lorsque les essais de collision prouvent qu'ils fonctionnent de manière satisfaisante. Ces glissières dévient moins que les glissières souples et, selon l'impact, elles peuvent être en mesure de rediriger les impacts secondaires (c'est-à-dire un autre impact au même endroit).

Glissières rigides

Il s'agit généralement de murs en béton armé construits selon un profil et une hauteur adaptés pour contenir et rediriger les véhicules en perdition (figure 5.82). Elles n'offrent pas ou peu de déflexion au moment de l'impact ; par conséquent, des forces d'impact élevées peuvent entraîner des blessures graves pour les occupants du véhicule, car le véhicule absorbe entièrement l'énergie de l'impact. Les types de glissières rigides les plus courants sont la glissière en forme de F, la glissière Jersey, la glissière à pente constante et la glissière à paroi verticale

Figure 5.80: Glissière souple (câble).



Source : iRAP.

Figure 5.81: Glissière semi-rigide (poutre en W).



Source : ACP. Australian Construction Products.
ACP Sentry Barrier W-Beam System –
Longitudinal barrier.
<http://www.acprod.com.au/products/acp-sentry-barrier-w-beam-system-longitudinal-barrier>

Figure 5.82: Glissière rigide (forme en F).



Source : © Famartin.

Conséquences pour la sécurité

- Les glissières qui ne sont pas bien conçues ne fonctionnent pas de manière satisfaisante et constituent un risque pour la sécurité (voir les figures 5.83 à 5.86).
- Une glissière trop basse peut conduire un véhicule percutant à passer par-dessus. Une glissière trop haute (pour les glissières souples et semi-rigides) peut entraîner le passage d'un véhicule en perdition sous les câbles ou la rambarde, ce qui peut avoir des conséquences graves.
- Une glissière trop proche de la route entraîne une augmentation des impacts accidentels avec la glissière, tandis qu'une glissière trop éloignée de la route (et plus

proche du danger qu'elle protège) réduit les possibilités de déviation d'une glissière souple ou semi-rigide et conduit le véhicule percutant à heurter le danger. Plus la glissière est éloignée de la route, plus le risque d'un impact à angle aigu est élevé, ce qui risque d'entraîner des blessures graves pour les occupants du véhicule, en particulier en cas d'impact avec une glissière rigide.

- Un aspect essentiel de la conception d'une glissière est la longueur requise pour protéger correctement d'un danger. Une glissière trop courte peut amener le véhicule en perdition à passer derrière la glissière et à heurter l'objet dangereux ou à entrer en collision avec les véhicules venant en sens inverse.

Figure 5.83: Glissières souples avec des poteaux trop grands.



Source : CAREC. 2018. CAREC Road Safety Engineering Manual 3: Roadside Hazard Management. Asian Development Bank.

Les poteaux des glissières souples sont conçus pour s'effondrer en cas de choc. Cependant, les poteaux de cette glissière sont trop grands et trop rigides pour suivre ce fonctionnement.

Figure 5.85: Utilisation d'un type de terre-plein central non standard sur une route à grande vitesse.



Source : National Highway Authority. 2019. Guidelines for Road Safety Engineering, Part 1. Government of Pakistan. Extrait du 15 novembre 2019, sur <http://www.roadsafetypakistan.pk/download/Guidelines-for-road-safety-engineering-part-1.pdf>.

Figure 5.84: Les rails se chevauchent dans le mauvais sens



Source : CAREC, 2018.

Les rails sont mal positionnés : le rail le plus proche va s'écarter de la route en cas de choc, et le suivant traversera alors le véhicule percutant. Les poteaux rigides en béton n'absorbent pas l'énergie de l'impact et peuvent entraîner des blessures graves.

Figure 5.86: Rails à faible calibre avec bordures en béton.



Source : CAREC, 2018.

Figure 5.87: L'extrémité exposée de la glissière de sécurité peut transpercer un véhicule en cas d'impact.



Source : Banque mondiale.

Figure 5.88: Extrémité rampante non sécurisée d'une glissière semi-rigide qui peut projeter un véhicule percutant.



Source : iRAP

Figure 5.89: Espace dangereux entre la glissière de sécurité et le béton



Source : CAREC. 2018. CAREC Road Safety Engineering Manual 3:

- Les points d'arrivée (terminaux ou traitements finaux) des glissières peuvent être dangereux s'ils ne sont pas correctement conçus, construits et entretenus. L'extrémité d'une glissière de sécurité, par exemple, risque de s'enfoncer dans le véhicule qui la heurte, à moins qu'une borne de sécurité ne soit correctement installée (figure 5.87). Les terminaux en rampe ou tournés vers le bas à l'approche des glissières peuvent projeter un véhicule percutant, en particulier s'il est heurté à grande vitesse (figure 5.88). Les extrémités émoussées des glissières en béton constituent un risque pour la sécurité.
- Des transitions mal conçues entre différents types de glissières et des décalages insuffisants par rapport aux dangers peuvent conduire un véhicule en perdition à heurter une glissière qui le redirige vers un objet fixe. Cela se produit, par exemple, lorsqu'une glissière de sécurité est mal reliée au parapet d'un pont en béton, ce qui fait qu'un véhicule qui heurte la glissière de sécurité est dirigé vers l'extrémité émoussée du parapet en béton lors de la déflexion de la glissière de sécurité (figure 5.89).

- Les glissières peuvent gêner la distance de visibilité, en particulier dans les courbes horizontales ou lors de l'entrée ou de la sortie de la route.
- Les dommages subis par les glissières peuvent réduire leurs avantages en termes de sécurité si elles ne sont pas correctement réparées. Ceci est particulièrement essentiel pour les glissières souples, car même un impact de faible force nécessitera des réparations opportunes du système de glissière.
- Bien que tous les types de glissières soient conçus pour protéger les personnes des dangers, elles présentent toujours un risque pour le corps humain vulnérable, en particulier pour les motocyclistes, en raison de la protection limitée dont leur corps bénéficie par rapport à celui d'une personne se trouvant dans un véhicule.
- Un trottoir situé devant et à proximité d'une glissière peut faire en sorte qu'un véhicule en perdition heurtant le trottoir à grande vitesse saute et franchisse la glissière ou la percute à une hauteur supérieure à celle prévue lors de la conception et des essais. Les blessures sont généralement plus graves dans ce type d'accident.
- Comme les glissières souples reposent sur la tension des câbles, l'alignement horizontal et vertical limite leur utilisation. Dans les virages serrés, la tension et la hauteur requises ne sont pas toujours maintenues pendant ou après un impact. Dans les courbes d'affaissement, selon le degré de courbure, la tension du câble a tendance à faire sortir les poteaux situés au bas de la courbe de leur logement. Les véhicules peuvent également passer sous les câbles ou rester suspendus au bas de la courbe.
- Lorsqu'il existe un risque connu que des animaux accèdent au couloir routier, en particulier des animaux de grande taille comme les cerfs, il serait intéressant d'installer des glissières de sécurité. Ces glissières

requièrent des considérations particulières, telles que l'exclusion des animaux par des clôtures fermées, en plus des points de sécurité des glissières pour véhicules.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- Traditionnellement, on considère qu'il est préférable d'enlever, de déplacer ou de modifier les dangers en bordure de route, mais dans certaines situations, la protection d'un danger par des glissières peut être la seule option pratique lorsqu'il n'est pas possible ou économiquement viable de traiter le danger d'une autre manière.⁸⁶ Il est important d'évaluer d'abord la nécessité d'une glissière avant d'en installer une, afin de déterminer s'il existe d'autres moyens de traiter le danger. En effet, la glissière elle-même peut représenter un danger pour les véhicules en perte de contrôle. Une collision avec la glissière doit être moins grave qu'une collision avec le danger que la glissière protège.
- Pour choisir le type de glissière qui répondra le mieux aux besoins, il faut tenir compte d'une série de facteurs, notamment :
 - Les exigences en matière de capacité de performance et de niveau de confinement, basées sur la combinaison de véhicules et l'importance de l'infrastructure routière ;
 - L'espace libre disponible par rapport au danger et les caractéristiques de déflexion dynamique de la glissière proposée ;
 - Les conditions du site, telles que les alignements verticaux et horizontaux et les pentes transversales ;
 - Les bornes d'extrémité ;
 - La distance de visibilité ;
 - La compatibilité avec les glissières adjacentes ;
 - Les coûts d'installation et d'entretien ;
 - L'esthétique et l'impact sur l'environnement ; et

Capacité d'entretien de l'organisation.

(Voir aussi Austroads. 2020. Guide to Road Design Part 6, Roadside Design, Safety, and Barriers; 1.5, Principles considered in roadside design to achieve the safest system; and 5.2, Factors considered in barrier selection.)

(Voir également la section 4.4 concernant l'utilisation des motos et les types de glissières)

- Les glissières de sécurité ne doivent être installées que si

le fabricant du produit l'a soumis à un essai de collision internationalement reconnu pour confirmer qu'il fonctionne de manière satisfaisante. La glissière doit ensuite être installée conformément aux instructions du fournisseur, en respectant les normes applicables sur la base desquelles le test de collision a été effectué.

- La distance par rapport au danger doit être suffisante pour que la déflexion prévue de la glissière ne permette pas au véhicule percutant d'entrer en contact avec le danger (figure 5.90). La déflexion de la glissière dépend du type et de l'installation de la glissière utilisée, ainsi que de la masse, de la vitesse et de l'angle d'impact du véhicule. En règle générale, la déflexion d'une glissière semi-rigide peut aller jusqu'à 1 m et celle d'une glissière souple jusqu'à 3 m. Bien que la déflexion dynamique des glissières rigides en béton soit minime (0,1 m ou moins), les dangers qui sont plus hauts que la glissière doivent être suffisamment éloignés de la face de la glissière pour qu'en cas d'impact, les véhicules (en particulier les véhicules hauts tels que les camions) ne se penchent pas par-dessus la glissière et ne heurtent pas le danger. C'est ce qu'on appelle la « marge de roulis ». Pour les systèmes souples et semi-rigides, cette marge de roulis doit être ajoutée à la déflexion.

Figure 5.90: Exemple d'une glissière souple sûre avec un bon dégagement. Étant donné que les glissières se déforment beaucoup, il est important de prévoir un décalage adéquat entre la glissière et le danger



- Source : CAREC. 2018. CAREC Road Safety Engineering Manual 3: Roadside Hazard Management. Asian Development Bank.

⁸⁶ Certains pays s'orientent vers l'utilisation de glissières de sécurité continues en tant que solution à la lumière de nouvelles données indiquant que des glissières bien installées et entretenues peuvent offrir des performances de sécurité supérieures à celles des zones dégagées.

Exemples de bornes d'extrémité

Figure 5.91:
Amortisseur de choc
entièrement redirectif –
Philippines



Source : © Alina F.
Burlacu/GRSF/Banque
mondiale.

Figure 5.92: Borne
entièrement re-
directive, évasée ou
tangentielle.



Source : Chan/Auckland
motorways.

Figure 5.93 : Borne
évasée à absorption
d'énergie.



Source : Chan/Auckland
motorways.

Figure 5.94:
Amortisseur de sécurité
à l'extrémité d'une
glissière rigide sur un
chantier de
construction.



Source : CAREC. 2018. CAREC
Road Safety Engineering
Manual 3: Roadside Hazard
Management. Asian
Development Bank

- Pour les systèmes rigides, on suppose que la déflexion est nulle et qu'une marge de roulis de 1,1 m est suffisante pour protéger le conducteur d'un véhicule de l'impact.⁸⁷
- Les glissières de sécurité doivent être suffisamment éloignées de la voie de circulation pour permettre aux véhicules d'en sortir.
- Étant donné que les glissières rigides peuvent causer des blessures graves si elles sont heurtées avec un angle d'impact élevé, elles sont situées à proximité de la voie de circulation (généralement à moins de 4 m du bord de la voie de circulation la plus proche) afin de minimiser le risque que les véhicules heurtent la glissière en béton avec un angle élevé. D'autre part, il est souhaitable d'installer des glissières souples et semi-rigides en bordure de route, plus loin de la voie de circulation, afin de maximiser les chances qu'un conducteur reprenne le contrôle de son véhicule avant d'entrer en collision avec la glissière.
- Dans les courbes horizontales, les glissières de sécurité doivent parfois être plus éloignées du bord de la voie de circulation afin de ne pas gêner la distance de visibilité horizontale. La distance de visibilité est un facteur qui doit également être pris en compte à proximité des

carrefours, des ouvertures des terre-pleins centraux, des passages pour piétons et des voies d'accès.

- Il est préférable que la pente devant une glissière soit installée comme prévu. Il s'agit essentiellement de la verticale pour les systèmes semi-rigides et souples ou de la pente requise et testée pour les systèmes rigides. Et ce, quel que soit le fabricant de glissières utilisé. En effet, les glissières de sécurité sont plus performantes lorsqu'elles sont heurtées par des véhicules dont le centre de gravité est à la position normale ou proche de celle-ci.
- Les bornes des glissières doivent être bien conçues pour permettre une décélération contrôlée des véhicules en perte de contrôle en dessous des valeurs recommandées qui causent des blessures aux occupants des véhicules. Ils doivent également s'assurer que le véhicule n'est pas transpercé, voûté, accroché ou qu'il ne fasse pas des tonneaux à l'impact. Différents types de bornes sont disponibles dans le commerce et les spécifications d'installation du fabricant doivent être respectées pour s'assurer que les bornes répondent aux normes de performance appropriées (voir les figures 5.91 à 5.94 pour des exemples). Il est également important qu'une borne dont les performances en matière d'impact sont connues soit installée à l'extrémité de départ d'une

⁸⁷ AASHTO-Roadside-Design-Guide-4th-ed-2011 Fig 5-31

glissière si cette extrémité se trouve dans la zone dégagée pour le trafic venant en sens inverse sur une chaussée à double sens.

- Les glissières semi-rigides sont souvent utilisées pour protéger les parapets de ponts en béton qui pourraient être à l'origine d'un accident grave. La transition entre la glissière d'approche et le parapet du pont doit fournir une surface continue le long de laquelle un véhicule en perte de contrôle peut être contrôlé. Pour éviter que le véhicule ne s'empêche lors de l'impact, il est important de renforcer progressivement la résistance et la rigidité de la glissière à mesure qu'elle s'approche du parapet, par exemple en réduisant l'espacement entre les poteaux et en fixant/encastrant fermement la glissière sur le parapet (voir figure 5.95).
- Les dommages mineurs causés aux glissières souples et semi-rigides doivent être réparés rapidement afin de préserver l'intégrité de la glissière. Si les incidents ne sont pas signalés, des inspections manuelles des systèmes de glissières sont nécessaires. Il est également important de contrôler en permanence la tension des fils des glissières souples.
- Il est préférable d'éviter l'utilisation de bordures à proximité des glissières de sécurité. Mais si une bordure est nécessaire pour le drainage, l'emplacement des glissières de sécurité par rapport à la bordure doit être considéré avec soin, car il peut affecter la performance de la glissière en cas d'impact (voir la section 5.12 sur les bordures).

Figure 5.95: Connexion sûre entre le garde-corps et la glissière rigide sur un pont avec une section de transition. L'ajout de poteaux supplémentaires sur le garde-corps près de la glissière rigide permet de créer une section de transition. Le marqueur permet égale



Source : CAREC, 2018.

- Il convient de noter que si le type F et le Mur Jersey ont des sections transversales similaires, des études montrent que la pente plus faible de la glissière à profil F réduit la probabilité de renversement des petites voitures et qu'elle est donc préférée. La glissière à face verticale et la glissière à pente constante contribuent à réduire davantage le risque de renversement des petits véhicules, mais elles génèrent également des impacts plus graves et ne sont donc pas très utilisées.

Pour en savoir plus

- AASHTO. 2011. *Roadside design guide*. À lire : chapitre 5, Roadside barriers.
- Austroads. 2010. *Guide to Road Design, Part 6: Roadside Design, Safety, and Barriers*.
- Austroads. 2018. *Towards safe system infrastructure: a compendium of current knowledge* (n° AP-R560-18). <https://austroads.com.au/publications/road-safety/ap-r560-18>.
- Secrétariat, CAREC. 2018. *CAREC Road Safety Engineering Manual 3: Roadside Hazard Management*. Asian Development Bank. À lire : chapitre 5, Using safety barriers correctly.
- C. A. Plaxico et al. 2005. *National Cooperative Highway Research Program Report 537: Recommended Guidelines for Curb and Curb-Barrier Installations*, Transportation Research Board. Washington, DC. À lire : chapitre 3, Summary of state surveys on curbs and curb barrier combinations.

5.9. Terre-pleins centraux

Description générale

Un terre-plein central est une zone de séparation entre des flux de circulation opposés. En effet, le terre-plein central transforme un mouvement « à double sens » en deux mouvements « à sens unique ». Il peut être construit (avec une opération parfois appelée « surélévation ») à l'aide de bordures ou de glissières centrales (par exemple, voir section 5.8), peint (parfois appelé terre-plein affleurant ou ligne médiane large) ou aménagé sur une surface non revêtue ou engazonnée (voir figures 5.96 à 5.103). Les véhicules sont physiquement empêchés de traverser le terre-plein dans le cas des terre-pleins aménagés, alors qu'ils ne sont que découragés dans le cas des autres types de terre-pleins centraux.

Les terre-pleins centraux assurent une certaine séparation entre les sens de circulation opposés, ce qui signifie que lorsque les véhicules s'écartent de leur voie, ils ont le temps de récupérer et de revenir en toute sécurité dans leur voie, ou sont physiquement dirigés vers leur voie (dans le cas des glissières centrales et, dans une certaine mesure, des terre-pleins centraux à bordures). On les trouve dans les zones urbaines comme sur les routes à grande vitesse. On peut les compléter par des

bandes rugueuses, en particulier sur les routes où la vitesse est élevée, afin d'avertir les usagers de la route inattentifs ou distraits qu'ils quittent leur voie. Dans certains cas, un terre-plein central peut constituer un point d'arrêt pour les piétons qui tentent de traverser plusieurs voies de circulation, en particulier lorsque le terre-plein est accompagné d'un îlot de refuge pour les piétons.

Types de terre-pleins centraux routiers

Figure 5.96: Terre-plein central affleurant.



Source : FHWA.

Figure 5.97: Terre-plein central affleurant avec bandes rugueuses.



Source : FHWA.

Figure 5.98: Terre-plein central avec barres de trottoir.



Source : Speed uHump Australia.

Figure 5.99: Terre-plein central engazonné avec bordure.



Source : Florida Department of Transportation

Figure 5.100: Terre-plein central à bordure.



Source : Austroads road safety engineering toolkit.

Figure 5.101: Terre-plein central peint sur une route à grande vitesse.



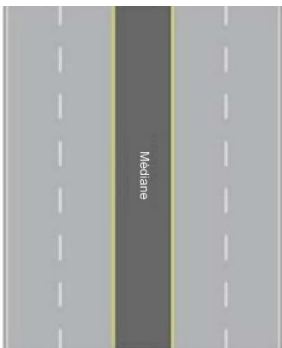
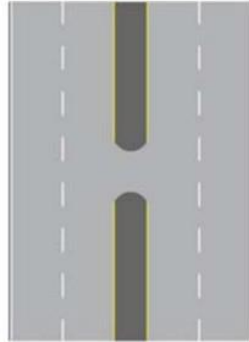
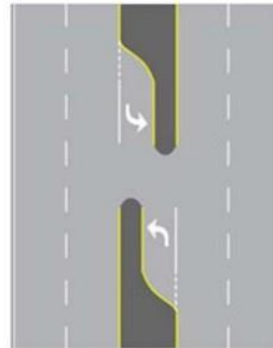
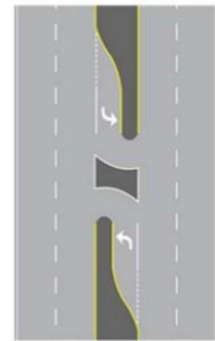
Source : © Blair Matthew Turner/GRSF

Figure 5.102: Glissière centrale semi-rigide sur voie rapide.

Source : Tony Mathew. (n.d.). Road Safety Infrastructure Facility Standards—Indian Context.

Figure 5.103: Terre-plein central surélevé sur une route à deux voies.

Source : Tony Mathew (s.d.).

Figure 5.104: Terre-plein central complet sans ouverture.**Figure 5.105:** Ouverture de traversée du terre-plein central, sans galerie de virage à gauche/droite.**Figure 5.106:** Ouverture de traversée du terre-plein central, avec galerie de virage à gauche/droite.**Figure 5.107:** Traversée du terre-plein central avec galeries directionnelles de virage à gauche/droite (empêche le croisement).

Les ouvertures centrales sont généralement prévues pour la circulation transversale aux carrefours et parfois aux points d'accès permettant les virages à gauche, à droite (ou les deux) et les demi-tours sur les routes où un terre-plein central physique est présent. Différents types d'ouvertures centrales sont illustrés dans les figures 5.104 à 5.107.

Bien que les ouvertures de terre-plein central facilitent les mouvements de circulation, elles peuvent également présenter des risques, en particulier lorsqu'aucune aire de virage n'est prévue ou si le terre-plein n'est pas d'une largeur suffisante. Il est essentiel de prévoir des possibilités de virage adéquates, en particulier dans les endroits où la vitesse est élevée.

Conséquences pour la sécurité

- Les terre-pleins centraux sont utilisés pour améliorer la sécurité et l'efficacité globales des véhicules et, s'ils sont

conçus correctement, ils peuvent également être utiles aux usagers vulnérables de la route. En installant un îlot central, les piétons sont obligés de traverser la circulation dans une seule direction à la fois.

- Les accidents de la route peuvent résulter de la présence d'ouvertures centrales inutiles ou moins prévisibles (lisibles) (à la fois pour les passages piétons et les mouvements de demi-tour des véhicules) et de terre-pleins plus petits. L'étroitesse des terre-pleins centraux et l'absence de dispositions adéquates pour les virages, en particulier dans les environnements où la vitesse est élevée, peuvent accroître de manière significative le risque d'accident.
- Une planification et une conception correctes des ouvertures centrales sont essentielles pour la sécurité, le contrôle d'accès et le maintien de la fluidité du trafic. Il s'agit notamment de permettre aux grands véhicules, en particulier aux autobus ou aux véhicules articulés, de

tourner sans que leur enveloppe n'empiète sur une voie de transit. Les ouvertures centrales ne doivent pas non plus empiéter sur la zone fonctionnelle d'une autre ouverture centrale ou d'un carrefour.

- Les avantages spécifiques des terre-pleins centraux de taille adéquate, en particulier les terre-pleins non franchissables, sont les suivants :
 - Réduction du risque de collision entre les véhicules circulant dans des directions opposées (réduction des accidents frontaux d'environ 40 pour cent).⁸⁸
 - Réduction de tous les types d'accidents d'environ 15 % pour les terre-pleins centraux peints et de 45 à 55 % pour les terre-pleins bâtis dans les zones urbaines et rurales, respectivement.^{89, 90, 91}
 - La réduction de la largeur des voies peut entraîner une réduction de la vitesse des véhicules sur la route.⁹²
 - Meilleur contrôle d'accès.
 - Fournir un îlot pour les piétons qui traversent la rue.
 - Gestion de l'emplacement des points de conflit de la circulation aux carrefours.
 - Prévoir un espace pour l'installation d'un meilleur éclairage aux points de passage pour piétons (il a été démontré qu'il réduisait de 78 % le nombre d'accidents mortels survenus la nuit aux passages pour piétons).⁹³
 - L'aménagement de terre-pleins centraux à certains carrefours à haut risque pour éliminer les mouvements de rotation du trafic transversal présente des avantages significatifs (voir section 6.6), mais il convient de veiller à ce que d'autres dispositifs de demi-tour sûrs et compensatoires soient prévus à proximité.
- Des problèmes de drainage peuvent survenir lors de l'utilisation d'un terre-plein central surélevé, entraînant une augmentation des risques d'accident (par exemple en raison d'une diminution de la friction de la surface de la

route).

- Dans le cas des terre-pleins centraux peints ou des bandes rugueuses, le risque pour les véhicules à deux roues peut être accru en raison d'une résistance au dérapage réduite ou variable.
- L'utilisation de bordures ou de trottoirs surélevés peut accroître les risques pour les véhicules à deux roues et les piétons (risque de trébuchement).
- Outre les avantages en termes de sécurité routière, il y a également des avantages en termes d'efficacité, notamment la réduction des retards pour les automobilistes et l'augmentation de la capacité des routes.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- La réduction des collisions frontales peut être obtenue par le choix d'une largeur appropriée du terre-plein central ou par l'utilisation de glissières centrales. Peu de véhicules en perdition circulent à plus de 9 mètres du bord de la voie, de sorte que cette largeur de terre-plein central serait suffisante pour éviter de nombreux accidents frontaux.⁹⁴ L'utilisation d'un large espace central ouvert peut également être utile pour retenir la réserve foncière en vue de l'expansion future de la route afin d'éviter les empiètements.

Il faut prévoir un élargissement adéquat pour obtenir un rayon de braquage optimal afin que les véhicules ne bloquent pas la chaussée lorsqu'ils tournent, comme le montrent la figure et la figure 5.109. Des voies de virage réservées doivent également être prévues pour réduire les encombrements ou les conflits entre les véhicules qui tournent et ceux qui ne tournent pas. Il s'agit notamment de permettre aux grands véhicules, en particulier les autobus ou les véhicules articulés, de tourner sans que leur enveloppe n'empiète sur une voie de transit. Il convient également de tenir compte de la distance entre

⁸⁸ Beck, D. 2016. Guidance on median and centreline treatments to reduce head-on casualties (n° AP-R519-16).

⁸⁹ Bahar, G. B., Masliah, M., Wolff, R. et Park, P. 2007. Desktop reference for crash reduction factors (n° FHWA-SA-07-015 ; 7067). United States. Federal Highway Administration. Office of Safety.

⁹⁰ Turner, B., Steinmetz, L., Lim, A. et Walsh, K. 2012. Effectiveness of road safety engineering treatments (n° P-R422/12).

⁹¹ Austroads road safety toolkit.

⁹² King, M. R., Carnegie, J. A. et Ewing, R. 2003. Pedestrian safety through a raised median and redesigned intersections. Transportation research record, 1828(1), 56-66.

⁹³ The Federal Highway Administration, FHWA. 2019. State Best Practice Policy for Medians—FHWA-SA-11-019. FHWA Safety Program. Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/ped_bike/tools_solve/fhwasa11019/fhwasa11019.pdf.

⁹⁴ SANRAL. Geometric Design Guidelines.

Figure 5.108: Demi-tour sur un terre-plein central étroit (avec voie d'attente).



Source : Al-Jameel, H. A. 2015. Contribution to the U-turn Design at Median Openings in Iraq: Al-Najaf City as a Case Study. Kufa Journal of Engineering, 6(1).

Figure 5.110: Véhicules utilisant le terre-plein central surélevé comme voie de circulation en cas d'embouteillage.



Source : Great about Perth. Accessible à l'adresse <https://whatsogreataboutperth.wordpress.com/2010/03/16/traffic-in-perth-ha/>.

Solution : Le terre-plein central doit être suffisamment surélevé pour empêcher les véhicules de l'utiliser comme une voie supplémentaire.

le demi-tour et les points d'accès afin de réduire les embouteillages, en fonction de l'importance de la circulation sur la route.

Les terre-pleins centraux, qu'ils soient affleurants ou surélevés, peuvent être utilisés illégalement par les conducteurs lors des embouteillages (voir figures 5.110 et 5.111). Des barres de chaussée ou des bornes souples doivent être utilisés sur les terre-pleins centraux affleurants dans les sections où la congestion peut amener les conducteurs à utiliser illégalement le terre-plein affleurant comme une voie de circulation. Des panneaux frangibles

Figure 5.109: Véhicule faisant demi-tour et empiétant sur l'espace routier pour le trafic en approche.



Source : Sharma, V. K., Mondal, S. et Gupta, A, 2017

Figure 5.111: Demi-tour illégal sur le terre-plein central.



Source : Ghana web. Accessible à l'adresse <https://www.ghanaweb.com/GhanaHomePage/features/Tema-Motorway-A-necessary-death-trap-872413?gallery=1>.

Solution : Les terre-pleins centraux doivent être conçus de manière à interdire les demi-tours illégaux, et des ouvertures centrales adéquates doivent être prévues.

peuvent être utilisés à intervalles réguliers sur les terre-pleins centraux surélevés afin de dissuader les conducteurs de les utiliser comme voie supplémentaire en cas d'embouteillage.

- Les ouvertures inutiles dans le terre-plein central (à la fois pour les passages piétons et les demi-tours des véhicules) doivent être supprimées, et les terre-pleins centraux étroits et plus petits doivent être évités dans la mesure du possible. Les figures 5.112 à 5.115 illustrent quelques bandes centrales dangereuses et sûres.

Exemples de terre-pleins centraux dangereux

Figure 5.112: Ouverture dangereuse du terre-plein central entraînant une circulation en double sens.



Source : World Highways. India's road to safety. Accessible à l'adresse <https://www.worldhighways.com/sections/world-reports/features/indias-road-to-safety/>. 15 novembre 2019.

Exemples de terre-pleins centraux sécurisés

Figure 5.114: Terre-plein central surélevé avec voie de virage réservée au demi-tour



Source : National Highway Authority. 2019. Guidelines for Road Safety Engineering, Part 1. Government of Pakistan. Accessible à l'adresse <http://www.roadssafe-ty-pakistan.pk/download/Guidelines-for-road-safety-engineering-part-1.pdf> 15 novembre 2019

La restriction des demi-tours peut être un problème pour les terre-pleins centraux surélevés, et il convient d'obtenir l'avis et l'acceptation de la communauté. Il peut s'avérer nécessaire d'aménager régulièrement des passages pour résoudre ce problème (en veillant à ce qu'ils soient bien conçus et dotés de dispositifs de virage appropriés).

Figure 5.113: Utilisation d'un type de terre-plein central non standard et ouverture dangereuse du terre-plein central sur une route à grande vitesse.



Source : Tony Mathew (s.d.). Mathew T. 2019. Road Safety Infrastructure Facility Standards – Indian. International Road Federation. Accessible à l'adresse https://www.unescap.org/sites/default/files/3.3%20India_Mr.%20Tony%20Mathew.pdf. 15 novembre 2019.

Figure 5.115: Terre-plein central surélevé sur la chaussée



Source : © D. Allen Covey/VDOT

- Les largeurs de terre-plein central appropriées doivent être déterminées en fonction de la classification de la route et de la fonction du terre-plein central. Il s'agira notamment de déterminer si des mouvements de rotation sont nécessaires (pour entrer et sortir des rues secondaires), les exigences en matière de demi-tour et l'utilisation par les piétons.

- Vérifier que la visibilité est suffisante pour les conducteurs qui entrent et sortent des accès et aux carrefours.
- Le terre-plein central doit être très visible de jour comme de nuit et doit contraster avec la voie de circulation.
- Les terre-pleins centraux surélevés doivent faire l'objet d'une signalisation avancée claire et d'une bonne visibilité.
- Des dispositifs de drainage appropriés doivent être prévus lors de l'installation de terre-pleins centraux surélevés.
- L'emplacement des bandes rugueuses, des bordures et des trottoirs surélevés doit être soigneusement étudié afin de ne pas constituer un danger pour les véhicules à deux roues. De même, les terre-pleins centraux peints présentant une faible adhérence ne doivent pas être utilisés lorsqu'ils risquent de constituer un danger pour ces usagers de la route.
- Les terre-pleins centraux surélevés peuvent également être utilisés pour fournir des écrans plastiques supplémentaires afin d'éviter l'éblouissement par les voies de circulation opposées (figure 5.116).
- Le volume de circulation doit être soigneusement pris en compte lors de la mise en place d'un terre-plein central affleurant. Les terre-pleins centraux affleurants de 1,2 m ont des effets positifs sur la sécurité ($CMF < 1$) lorsque les volumes de trafic journalier moyen sont faibles (par exemple, $\leq 6\ 000$), mais des effets négatifs ($CMF > 1$) lorsque les volumes de trafic journalier moyen sont élevés (par exemple, $\geq 15\ 000$).⁹⁵

Figure 5.116: Glissière anti-éblouissement sur le dessus du terre-plein central.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

- Les terre-pleins centraux affleurants équipés de bandes rugueuses ou de chicanes se sont avérés être les terre-pleins les plus sûrs en termes de réduction des accidents, suivis par les terre-pleins surélevés et les tronçons à chaussée non séparée.⁹⁶

Pour en savoir plus

- The American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO. 2018. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets—Green Book. 7th edition. À lire : chapitre 4, Cross-sectional elements.
- Austroads. Guide to Road Design. À lire : partie 3, Geometric Design.
- Florida Department of Transportation. 2017. 2014 Median Handbook FDOT. <https://www.fdot.gov/docs/default-source/PLANNING/systems/programs/sm/accman/pdfs/FDOT-Median-Hand-book-Sept-2014.pdf>.
- Kennaugh D. Median Design. Accessible à l'adresse <https://www.cedengineering.com/userfiles/Median Design.pdf>.

⁹⁵ Li, X., Liu, J., Yang, C. et Barnett, T. 2021. Bayesian Approach to Developing Context-Based Crash Modification Factors for Medians on Rural Four-Lane Roadways. Transportation Research Record, 03611981211007141.

⁹⁶ Jjiang, X., Yan, X., Huang, B. et Richards, S. H. 2011. Influence of Curbs on Traffic Crash Frequency on High-Speed Roadways. Traffic Injury Prevention, vol. 12, n° 4, pp. 412-421.

Études de cas/exemples

Terre-pleins centraux et ouvertures centrales à Addis-Abeba ^{a,b}

Figure 5.117: Terre-plein central étroit et dangereux



Source : James Jeffrey/The World. The World, US-Ethiopia relationship changing amid Horn of Africa power struggle. 8 novembre 2018. <https://www.pri.org/stories/2018-11-08/us-ethiopia-relationship-changing-amid-horn-africa-power-struggle>.

Un terre-plein central étroit et dangereux, d'une largeur insuffisante pour offrir un refuge aux piétons qui traversent (figure 5.117). Les piétons sont obligés de se tenir dans les voies de circulation. Le contraste et la hauteur du terre-plein central peuvent ne pas être visibles pour les usagers de la route, en particulier dans l'obscurité.

Remarque : les piétons doivent disposer d'une largeur suffisante pour traverser les autoroutes à plusieurs voies afin de les protéger des véhicules circulant sur la chaussée. Dans certaines situations où la largeur est insuffisante, une glissière centrale de pleine hauteur peut être envisagée à la place

À Addis-Abeba, un terre-plein central planté d'arbres et d'arbustes contribue à verdier la rue, à éviter les conflits entre véhicules et à offrir un refuge (au niveau du sol) aux piétons qui traversent. Les ouvertures centrales pour les piétons sont également de taille adéquate, et les ouvertures plus larges sont dotées de bornes en béton pour empêcher les véhicules de les utiliser comme zones de demi-tour (figures 5.118 et 5.119). Toutefois, la végétation peut masquer les piétons et doit être entretenue pour garantir une bonne visibilité aux autres usagers de la route.

- Welle, B., Liu, Q., Li, W., Adiazola-Steil, C., King, R., Sarmiento, C. et Obelheiro, M. 2015. Cities safer by design: guidance and examples to promote traffic safety through urban and street design.
- Eskindir, Z. 2019. Investigation of the Effect of Roadway Elements on Traffic Safety in Addis Ababa: A Case of Nifas Silk Lafto Sub City (Thèse de doctorat, Université d'Addis-Abeba).

Figure 5.118: Grande ouverture dans le terre-plein central avec bornes en béton



Source : © John Barrell

Figure 5.119: Ouverture du terre-plein central pour les piétons



Source : Eskindir, Z. 2019. Investigation of the Effect of Roadway Elements on Traffic safety in Addis Ababa: A Case of Nifas Silk Lafto Sub City (Thèse de doctorat, Université d'Addis-Abeba).

5.10. Revêtement des routes

Description générale

Les caractéristiques du revêtement routier affectent la sécurité routière de plusieurs manières. L'une d'entre elles est le frottement de surface qui affecte la résistance au glissement ou au dérapage des pneus sur la surface de la route. Cette force de frottement, connue sous le nom d'adhérence, fournit l'adhérence dont un pneu a besoin pour garder le contrôle du véhicule et pour s'arrêter en cas d'urgence. L'adhérence est particulièrement importante par temps de pluie, car l'eau présente sur la chaussée agit comme un lubrifiant, réduisant le contact direct entre le pneu et la chaussée. Outre le climat et la présence d'eau sur la chaussée, le risque de dérapage dépend principalement de la vitesse du véhicule, de la trajectoire du virage, de l'ampleur de l'accélération ou du freinage, de l'état des pneus du véhicule et des caractéristiques de la surface de la route.⁹⁷ Les caractéristiques de la surface de la route qui influencent le frottement comprennent la microtexture, la macrotexture, la mégatexture/l'irrégularité, la chimie des matériaux, la température, la conductivité thermique et la chaleur spécifique.

La microtexture désigne les irrégularités de la surface des particules de pierre, c'est-à-dire la texture à échelle fine. L'ampleur de la microtexture dépend de la rugosité initiale de la surface de l'agrégat et de la capacité de l'agrégat à conserver cette rugosité contre l'action de polissage du trafic. En tant que telle, la microtexture est une propriété liée aux agrégats qui peut être contrôlée par la sélection minutieuse d'agrégats présentant des caractéristiques de résistance au polissage souhaitables.

La macrotexture fait référence aux irrégularités les plus importantes de la surface de la route, c'est-à-dire à la texture à grande échelle. La macrotexture initiale de la surface d'une chaussée est déterminée par la taille, la forme et la granulométrie des agrégats grossiers utilisés dans la construction de la chaussée, ainsi que par les techniques de construction particulières utilisées pour la couche de surface de la chaussée. La macrotexture est également essentielle pour permettre à l'eau de s'échapper sous les pneus, ce qui réduit le risque d'aquaplaning/hydroplaning. Elle réduit également les risques d'éclaboussures et de projections sur la route par temps de pluie, ce qui peut nuire

à la visibilité de la route par temps de pluie.

La mégatexture est l'inégalité de l'échelle de la surface de contact entre le pneu du véhicule et la surface de la chaussée. Elle décrit les irrégularités qui peuvent résulter de l'orniérage, des nids-de-poule, du rapiécage, de la perte de pierre en surface et des fissures importantes dans les joints, et elle affecte principalement les niveaux de bruit et la résistance au roulement.

La rugosité, quant à elle, fait référence aux irrégularités de surface plus importantes que la mégatexture, qui affectent également la résistance au roulement, en plus de la qualité de la conduite et des coûts d'exploitation du véhicule. Elle fournit une mesure globale de l'état de la chaussée et est calculée à l'aide de l'indice de rugosité international (IRI).

L'état de la chaussée peut également avoir une influence significative sur la vitesse des véhicules, ce qui affecte à la fois le risque d'accident et sa gravité. L'orniérage important ou la présence de nids-de-poule peut réduire la vitesse des véhicules, mais aussi accroître les risques pour les utilisateurs de deux-roues. Le regradage ou le resurfaçage permet une conduite plus douce et plus confortable, avec les augmentations de vitesse qui en découlent. Ainsi, les augmentations de vitesse résultant des projets d'amélioration et de réhabilitation des routes peuvent entraîner des risques accrus pour la sécurité, à moins que des stratégies d'atténuation des risques ne soient utilisées.

Les figures 5.120 à 5.122 illustrent différents types de revêtements routiers.

Conséquences pour la sécurité

- La relation entre l'adhérence et le risque d'accident est bien comprise, une faible adhérence étant directement liée à un risque accru d'accident⁹⁸, en particulier sur route mouillée. Une faible adhérence est susceptible d'allonger les distances de freinage et de provoquer un dérapage longitudinal ou latéral et une perte de contrôle du véhicule. La perte de contrôle du véhicule peut entraîner des sorties de route, des collisions frontales, des collisions latérales et des collisions par l'arrière. Des recherches menées dans certains pays de l'UE ont démontré que l'utilisation de revêtements routiers présentant une résistance au dérapage suffisamment élevée pouvait

⁹⁷ Harwood, D. W., Blackburn, R. R. et Heenan, P. J. 1980. Pavement macrotexture review (n° FHWA-RD-80-505 Final Rpt.).

⁹⁸ Wang, C., Quddus, M. A. et Ison, S. G. 2013. The effect of traffic and road characteristics on road safety: A review and future research direction. *Safety Science*, 57, 264-275.

Figure 5.120: Une chaussée asphaltée en bon état.



Source : Highways Today. 2017. AfDB funded Thika Highway continues to impact Kenyan lives five years on. <https://highways.today/2017/11/09/afdb-thika-highway-kenya/>.

Figure 5.121: Revêtement en blocs de béton (adoquins) en bon état et installations de drainage appropriées.



Source : Banque mondiale.

Figure 5.122: Enduit de surface Otta sur une route à faible trafic en bon état avec des résultats satisfaisants. (Image de gauche : gros plan de l'enduit de surface Otta.)



Source : Banque mondiale

améliorer la sécurité routière en réduisant non seulement le risque de glissement du véhicule, mais aussi le risque d'accident et sa gravité⁹⁹. En effet, les conducteurs qui perdent leur capacité à freiner efficacement sont plus susceptibles de rencontrer des vitesses d'impact plus élevées que les véhicules qui décélèrent avant l'impact. Le risque d'accident est également beaucoup plus élevé aux carrefours à fort trafic qu'aux carrefours à faible trafic, en raison de l'exposition accrue aux défauts de la chaussée. Les défauts de la chaussée qui indiquent une mauvaise adhérence sont les suivants :

- Une surface polie (agrégats arrondis ou usés) sur la trajectoire de la roue,

- « Saignement » de la chaussée (mouvement ascendant du bitume/asphalte mis en évidence par une pellicule de surface noire et brillante),
- Accumulation d'huile ou déversement localisé de substances glissantes (en particulier dans les virages et aux abords des carrefours),
- Perte de la couche supérieure de granulats (chaussée bitumée), et
- Une différence significative de frottement entre les trajectoires des roues.

⁹⁹ Gothie, M. 1996. Relationship between Surface Characteristics and Accidents, in Proceedings of 3rd International Symposium on Pavement Surface Characteristics, 271-281.

- Plusieurs études ont examiné la relation entre les caractéristiques du revêtement routier, telles que la macrotexture, l'orniérage, les nids-de-poule et la rugosité, et les résultats en matière de sécurité routière. Ces études portent presque exclusivement sur des PRE (pays à revenu élevé) et peuvent ne pas être facilement transposables aux PRITI (pays à revenu faible et intermédiaire), où les niveaux de défauts de surface sont plus extrêmes et où la composition de la circulation est différente. Toutefois, les données indiquent que le risque d'accident augmente considérablement lorsque la macrotexture est inférieure à 1 mm dans les unités de profondeur de texture sable-patch (SPTD),¹⁰⁰ et que les taux d'accident peuvent augmenter de 25 pour cent lorsque la profondeur de l'ornière dépasse 20 mm.¹⁰¹ Les études établissant un lien entre la rugosité et les taux d'accident sont mitigées, une étude résumant la recherche en indiquant qu'une irrégularité accrue est liée à une augmentation, une diminution et des résultats inchangés en matière de sécurité.¹⁰² Certaines études ont constaté que les résultats contradictoires peuvent être dus au fait que les bonnes chaussées induisent des vitesses plus élevées et donc des accidents de plus grande gravité.¹⁰³ Une étude récente¹⁰⁴ a résumé une grande partie des recherches antérieures et a effectué une analyse plus approfondie de cette question. L'étude a mis en évidence une relation entre l'orniérage et la rugosité, d'une part, et la sécurité, d'autre part, et a conclu que ces facteurs pouvaient contribuer aux accidents. Cependant, l'étude a également montré que les relations peuvent être floues et qu'il est nécessaire de combiner les informations sur ces facteurs de surface avec d'autres éléments contributifs tels que les facteurs humains et la géométrie de la route.
- Il est prouvé que l'état de la chaussée, en particulier la rugosité, est lié à la vitesse des véhicules, dont on sait qu'elle influe sur le risque d'accident et sa gravité. Des recherches américaines récentes¹⁰⁵ indiquent que lorsque l'IRI dépasse 80 pouces par mile (127 cm/km), les vitesses diminuent considérablement, d'environ 10 mph (16 km/h) lorsque l'IRI passe de 80 pouces par mile à 130 pouces par mile (206 cm/km). Une revue de la recherche¹⁰⁶ basée sur l'expérience des PRE a identifié des augmentations de vitesse allant jusqu'à 10 km/h grâce au resurfacement lorsque les irrégularités sont améliorées, bien que des augmentations de vitesse de 2 à 5 km/h aient été plus typiques. Une étude limitée réalisée en Inde¹⁰⁷ a mis en évidence une relation similaire, avec une diminution substantielle des vitesses pour différents types de véhicules, les vitesses chutant de 30 à 40 km/h lorsque la rugosité passe d'environ 470 IRI (cm par km) à 800 IRI. Les vitesses étaient d'environ 60 km/h aux niveaux de rugosité les plus bas (une vitesse libre déjà faible compte tenu du niveau de rugosité existant), mais tombaient entre 20 et 30 km/h au niveau de rugosité le plus élevé.
- Il est prouvé qu'il existe un lien étroit entre les changements de vitesse des véhicules et les résultats en matière de sécurité. Une analyse exhaustive¹⁰⁸ de plus de 100 études antérieures a mis en évidence cette relation pour différents types de routes. Pour les routes de rase campagne, les résultats indiquent que pour chaque augmentation de 1 km/h de la vitesse, le risque d'accident mortel augmente d'environ 4,5 %. L'augmentation des vitesses par la reconstruction et l'amélioration des routes pourrait donc entraîner une augmentation substantielle du risque d'accident, même si l'on tient compte des avantages d'un revêtement routier de meilleure qualité. Le Partenariat mondial pour la sécurité routière¹⁰⁹ a souligné qu'il est fréquent que les projets d'amélioration et de réhabilitation des routes dans les PRITI se traduisent par une augmentation du trafic, des vitesses plus élevées et

¹⁰⁰ Cairney, P. et Bennett, P. 2008, mai. Managing road surfaces for safety at the network level: is macrotexture enough. Dans *2008 Saferroads International Conference-Managing Roads and Runway Surfaces to Improve Safety*. Cheltenham England (pp. 11-14).

¹⁰¹ Cairney, P. 2010. Road safety engineering risk assessment part 11: road safety and maintenance.

¹⁰² Cairney, P. 2010. Road safety engineering risk assessment part 11: road safety and maintenance.

¹⁰³ Li, Y., L. Chunxiao et D. Liang. 2013. Impact of Pavement Conditions on Crash Severity. *Accident Analysis & Prevention*, 59, pp. 399-406.

¹⁰⁴ Mamlouk, M., Vinayakamurthy, M., Underwood, S. et Kaloush, K. 2018, Effects of the International Roughness Index and Rut Depth on Crash Rates *Transportation Research Record*, Vol. 2672(40) 418-429.

¹⁰⁵ Liccardo, N. 2017. Methodology for Roughness-Speed Relationship with SHRP2 Naturalistic Driving Study Data. Unpublished Masters thesis, University of Nevada, Reno.

¹⁰⁶ Liccardo, N. 2017. Methodology for Roughness-Speed Relationship with SHRP2 Naturalistic Driving Study Data. Unpublished Masters thesis, University of Nevada, Reno.

¹⁰⁷ Ch. Ravi Sekhar, J. Nataraju, S. Velmurugan, Pradeep Kumar, and K. Sitaramanjaneyulu. 2016. Free Flow Speed Analysis of Two Lane Inter Urban Highways. *Transportation Research Procedia* 17, 664-673.

¹⁰⁸ Elvik, R. 2009. The power model of the relationship between speed and road safety: update and new analyses, TOI Report 1034: 2009, Institute of Transport Economics, Oslo, Norvège.

¹⁰⁹ Global Road Safety Partnership. 2008. Speed Management: a road safety manual for decision-makers and practitioners. Geneva.

des accidents. Gichaga (2017)¹¹⁰ rapporte que les améliorations apportées à une route de 50 km de grande classe et à forte circulation au Kenya ont eu pour conséquence malheureuse que des véhicules roulant à vive allure sont entrés en collision avec des piétons traversant à des endroits non signalés sur la route à grande vitesse (vitesse de conception de 100 km/h). Le problème des excès de vitesse a également été documenté dans les PRE aux États-Unis, où l'on constate que les routes pavées incitent les conducteurs à rouler plus vite.¹¹¹ Ils suggèrent que pour faciliter une telle augmentation de la vitesse en toute sécurité, les routes doivent être plus droites, plus larges et aussi exemptes que possible d'obstacles.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- La résistance au dérapage est particulièrement importante aux endroits où un freinage renforcé peut être nécessaire, notamment dans les virages, à l'approche des carrefours, à proximité des passages pour piétons, etc.
- Les taux d'accidents peuvent être réduits de manière significative en mettant en œuvre des mesures appropriées pour augmenter l'adhérence aux endroits potentiellement dangereux tels que les courbes, les carrefours et les ponts. Il existe deux options principales pour le traitement des chaussées à faible adhérence :
 - Retexturation : Ce type de traitement implique un remaniement mécanique du revêtement routier existant afin d'améliorer ses caractéristiques de frottement. Les méthodes utilisées sont le rainurage au diamant, le grenailage, le bouchardage et le décapage à l'eau à grande vitesse.
 - Resurfaçage : Il s'agit notamment de traitements de revêtements minces relativement peu coûteux qui non seulement améliorent la texture de la surface et la résistance au dérapage sur route mouillée, mais peuvent également sceller la surface contre la pénétration de l'eau et arrêter la désintégration du revêtement routier existant. Ils comprennent les applications d'enduit superficiel et de revêtement à haute friction (HFS) (figures 5.123 à 5.125)

Figure 5.123: Traitement de surface à haut coefficient de frottement dans les courbes à haut risque



Source : FDOT

Figure 5.124: Revêtement à haut coefficient de frottement appliqué aux deux approches du carrefour.



Source : iRAP

Figure 5.125: Revêtement à haut coefficient de frottement (coloré) appliqué à l'approche d'un mini carrefour giratoire.



Source : iRAP.

¹¹⁰ Gichaga, F. J. 2017. The impact of road improvements on road safety and related characteristics. *IATSS research*, 40(2), 72–75.

¹¹¹ FHWA. 2015. *Gravel Roads Construction & Maintenance Guide*. Federal Highways, Washington, DC.

- Étant donné que l'adhérence diminue avec le temps, en particulier sur les routes empruntées par un grand nombre de véhicules lourds et dans les climats tropicaux, il est essentiel de contrôler régulièrement l'adhérence de la chaussée. Plusieurs autorités routières mènent des programmes proactifs d'essais périodiques de la surface des chaussées, dont les priorités sont établies en fonction du volume de trafic, des vitesses de circulation, de la nécessité de s'arrêter, de l'âge et du type de la couche de roulement, des problèmes d'accidents sur chaussée mouillée et des déficiences connues en matière d'évacuation des eaux. Les rapports d'essai et d'inspection des chaussées sont ensuite évalués par rapport aux niveaux d'investigation recommandés pour différentes situations, par exemple les courbes, les abords des carrefours à feux ou les passages pour piétons. Pour les sites qui se situent en dessous du niveau recommandé, une enquête plus approfondie est entreprise pour déterminer les mesures correctives qui pourraient être nécessaires.
- Bien que la plupart des recherches portent sur l'amélioration et la remise en état des routes imperméabilisées, il est prouvé que l'application des mêmes principes, à savoir l'entretien régulier du revêtement routier pour obtenir une faible rugosité (un IRI de 1,9 m/km) et la mise en place de mesures incitatives pour obtenir une chaussée lisse pendant la durée de vie prévue, permet d'améliorer la qualité de la chaussée et de la construction et peut réduire les risques pour la sécurité de tous les usagers.¹¹²
- Une attention particulière doit être accordée à l'adhérence de la chaussée sur les tronçons routiers où l'effet de polissage des granulats causé par le trafic est connu pour être le plus fréquent. Il s'agit notamment des courbes, des carrefours giratoires à faible rayon, des sections où les véhicules accélèrent ou décélèrent, et des zones proches des passages à niveau.

Le choix de granulats et de mélanges bitumineux qui conservent l'adhérence (plutôt que le polissage avec l'usure) peut être envisagé. Des études montrent que le comportement au polissage des granulats est influencé par leur composition minéralogique, les roches contenant des parties métamorphiques étant moins sensibles à l'usure que les matériaux sédimentaires avec de

meilleures propriétés de frottement de la surface de la chaussée,¹¹³ et que le simple fait de choisir le bon type de granulats pour un revêtement routier peut réduire la distance de visibilité à l'arrêt d'environ 10 m à des vitesses de 100 km/h et de plus de 20 m à des vitesses plus élevées.¹¹⁴ Par conséquent, un examen pétrographique est un outil précieux pour comprendre le comportement des granulats au polissage et leur utilisation dans un mélange d'asphalte. Dans certaines situations, l'utilisation d'agrégats synthétiques peut également être appropriée. Les essais en laboratoire et le criblage des granulats permettent de contrôler la qualité des granulats utilisés dans l'enrobé bitumineux.

- Le choix du matériau de marquage approprié est important lorsque l'on considère le frottement de la chaussée, en particulier dans des conditions humides. En effet, les grands marquages sur la chaussée, tels que les barres d'arrêt, les grandes flèches, les marquages de zones scolaires et les carrefours en boîte, peuvent réduire l'adhérence, en particulier à l'approche d'un carrefour giratoire ou d'un carrefour.
- Le choix du matériau de marquage approprié est important lorsque l'on considère le frottement de la chaussée, en particulier dans des conditions humides. En effet, les grands marquages sur la chaussée, tels que les barres d'arrêt, les grandes flèches, les marquages de zones scolaires et les carrefours en boîte, peuvent réduire l'adhérence, en particulier à l'approche d'un carrefour giratoire ou d'un carrefour.
- Il existe un certain nombre de stratégies de sécurité qui peuvent être mises en œuvre pour atténuer l'augmentation des risques d'accident résultant de l'augmentation de la vitesse due au resurfage. Lorsqu'elles sont incluses dès la conception initiale, nombre de ces interventions peuvent être incluses à faible coût, voire sans coût supplémentaire. Il s'agit notamment de :
 - Ralentissement de la circulation aux endroits clés
 - Traitements d'entrée dans un village ou une autre zone bâtie
 - Limites de vitesse
 - Mise en place d'accotements larges et étanches

¹¹² B King University of South Queensland. 2014. The Effect of Road Roughness on Traffic Speed and Road Safety.

¹¹³ West, T. R., Choi, J. C., Bruner, D. W., Park, H. J. et Cho, K. H. 2001. Evaluation of dolomite and related aggregates used in bituminous overlays for Indiana pavements. *Transportation Research Record*, 1757(1), 137-147.

¹¹⁴ Burlacu, F. A., Racanel, C. et Burlacu, A. 2016. The influence of road materials characteristics on road safety. *Revista Romana de Materiale-Romanian Journal of Materials*, 46(4), 552-559.

- Rétrécissement visuel des routes
- Voies piétonnes séparées
- Élargissement des courbes
- Marquage de la ligne médiane et de la ligne de démarcation
- Panneaux d'avertissement avancés
- Panneaux d'avertissement avancés avec vitesse conseillée
- Chevrons
- Glissières (centrales et de en bordure de route) (voir section 5.8)
- Évaluation des courbes et intervention en fonction de l'itinéraire
- Amélioration de la distance de visibilité
- Amélioration de la visibilité des carrefours

Pour en savoir plus

- High Friction Surface Treatments. <https://austroads.com.au/publications/pavement/agpt/04k/types-of-sprayed-seal-treatments/other-treatments/high-friction-surface-treatment>.
- Institute for Transportation and Development Policy. 2019. Street Design Manual for Kenyan Cities. À lire : chapitre 4, Street elements.

5.11. Drainage

Description générale

L'objectif principal des installations de drainage des routes est d'empêcher les eaux de ruissellement d'atteindre la

chaussée et d'évacuer efficacement les eaux de pluie ou de surface de la chaussée. Les installations de drainage, y compris les canaux, les accotements et les surfaces, captent les écoulements en nappe provenant de la chaussée de l'autoroute et de la descente et les acheminent vers des canaux plus importants ou des ponceaux au sein du système de drainage. La pente du drainage est généralement parallèle à celle de la chaussée. La stabilité de l'écoulement est un élément essentiel des canaux en bordure de route.

Les installations de drainage routier peuvent être classées en deux grandes catégories en fonction de leur construction : (1) canal ouvert (figure 5.126) ou (2) installations à conduit fermé (figure 5.127). Les installations à ciel ouvert comprennent les canaux en bordure de route, les rigoles du terre-plein central, l'écoulement des bordures et des caniveaux, et d'autres encore. Les installations à conduit fermé comprennent les ponceaux et les systèmes d'évacuation de l'eau de pluie.

La structure de drainage comprend :

- Le caniveau, zone de forme triangulaire délimitée par les bords de route, est une section d'écoulement à ciel ouvert permettant d'acheminer les eaux de ruissellement. Une section de caniveau peut être une contre-mesure efficace pour réduire la propagation sur la chaussée.

Les bordures d'accotement sont placées sur le bord extérieur de l'accotement, en combinaison avec une section de caniveau, pour contrôler le drainage, améliorer la délimitation, contrôler l'accès et réduire l'érosion. Les sections de rigoles, généralement circulaires ou en forme de V (figure 5.128), sont utilisées là où les bordures servent à empêcher l'eau d'éroder les remblais.

Figure 5.126: Canaux ouverts.



Source : Department of Transport and Main Roads, Brisbane, Qld. 2010. Road drainage manual.

Figure 5.127: Drainage fermé rempli de matériaux poreux pour éviter l'érosion et la chute.



Source : Department for International Development, UK. 2003. CaSE Highway Design Note 1, Surface Water Drainage Channels.

Figure 5.128: Drainage conventionnel en forme de V.



Source : DFID, 2003.

Conséquences pour la sécurité

- L'absence d'un bon drainage peut conduire à l'infiltration d'eau dans la structure de la route, ce qui entraîne des dommages structurels et des réparations coûteuses, tandis que l'eau de surface peut constituer un danger pour la sécurité routière. La présence d'eau sur la chaussée contribue aux accidents dus à l'aquaplanage et à la perte de visibilité à cause des éclaboussures et du ruissellement. L'objectif des installations de drainage est d'empêcher les eaux de ruissellement d'atteindre la chaussée et d'évacuer efficacement les eaux de pluie ou de surface de la chaussée.
- L'eau peut s'accumuler dans les zones d'accotement comme les étangs, ce qui constitue également un risque.
- Un mauvais drainage provoque des dégradations précoces de la chaussée et des dommages aux accotements, ce qui entraîne des problèmes de conduite et des défaillances structurelles de la route (figure 5.129).
- Une étude a montré que 22 % de tous les accidents par sortie de route (ROR) impliquaient une chute dans un fossé ou une collision avec un talus et une autre étude a déterminé que 55 % des accidents par sortie de route entraînaient des blessures. Une très grande partie des accidents se déroulent sur des routes de campagne.
- Les extrémités des ponceaux peuvent devenir des obstacles dangereux pour les véhicules errants (figure 5.130). Les ponceaux dont l'extrémité n'est pas protégée à proximité de la chaussée constituent un danger pour les véhicules qui empruntent l'accotement imperméabilisé.
- Le drainage est généralement plus difficile et plus coûteux pour les routes urbaines que pour les routes rurales. Cela s'explique par des taux plus rapides et des volumes de ruissellement plus importants, des dommages potentiels plus coûteux pour les propriétés adjacentes, des coûts globaux plus élevés en raison d'un plus grand nombre de prises d'eau et de systèmes souterrains, des restrictions plus importantes dues au développement urbain, du manque de masses d'eau naturelles pour recevoir les eaux de crue et d'une circulation plus importante de véhicules et de piétons.
- Les sections en pente douce présentent moins de risques pour la circulation qu'une bordure presque verticale et une capacité hydraulique qui ne dépend pas de l'épandage sur la chaussée.
- Les chaussées (drainage de surface) nécessitent généralement une pente de caniveau minimale de 0,3 % pour favoriser le drainage, et cette pente diffère en fonction du débit de conception et de l'étalement admissible de l'eau sur la chaussée. Sur les routes à grande vitesse et à fort trafic, il convient de minimiser la propagation de l'eau sur les voies de circulation. Les caractéristiques géométriques de la route influencent grandement la conception du drainage de la chaussée.¹¹⁵
- Les recouvrements partiels et les réparations de la chaussée peuvent entraîner l'emprisonnement et la rétention de l'eau sur la surface de la voie de circulation (figure 5.131). Les recouvrements partiels, soit pour

Figure 5.129: Large accotement revêtu et dispositif de drainage sur une pente descendante.



Source : PIARC. 2003. Road Safety Manual, First edition.

Figure 5.130: Mur de tête de ponceau typique à prolonger ou à remplacer.



Source : © John Barrel.

Figure 5.131: Bord du revêtement partiel de la chaussée entraînant une rétention d'eau en surface



Source : Federal Highway Administration. 2009. Maintenance of Drainage Features for Safety, US.

¹¹⁵ 115 AASHTO. 2018. Green Book (GDHS-7), US.

corriger la détérioration de l'accotement, soit pour élargir la surface de la chaussée, produisant un bord de chaussée où le recouvrement s'arrête. En fonction de la taille des agrégats du mélange de revêtement et de l'effort nécessaire pour faire pénétrer la lèvre dans la chaussée existante, l'eau peut être retenue sur la chaussée. Lorsque la lèvre se trouve sur la trajectoire de la roue, la fine couche d'eau retenue peut provoquer un aquaplanage, réduire la capacité de freinage ou geler et contribuer au dérapage.¹¹⁶

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- Un élément important de la conception des routes est la cohérence, qui permet d'éviter les discontinuités dans l'environnement routier et de prendre en compte l'interdépendance de tous les éléments de la route. La relation entre le canal de drainage et les pentes sur le côté est importante, car une bonne conception des bords de route peut réduire la gravité potentielle des accidents qui peuvent se produire lorsqu'un véhicule quitte la chaussée.
- Les sections discontinues de bordures, comme à l'entrée des rampes, et les décalages variables de bordures ne doivent pas être utilisés comme des expédients pour gérer le drainage de la chaussée, car ces caractéristiques pourraient contribuer à la perte de contrôle des véhicules lors de sorties de route.
- Les structures de drainage profondes et ouvertes situées à proximité de la chaussée doivent être évitées, car elles constituent des obstacles rigides susceptibles d'aggraver la gravité de l'accident.
- Les conducteurs doivent disposer d'une distance de visibilité suffisante pour que les véhicules puissent s'arrêter avant de pénétrer dans les eaux en période de crue. Le profil longitudinal du canal de dérivation doit être horizontal de manière à ce que la même profondeur d'eau existe sur toute la longueur de ce canal de dérivation. La longueur du canal de dérivation doit être limitée et, dans la mesure du possible, se situer sur un tronçon de route rectiligne. Une signalisation et une délimitation permanentes et temporaires adéquates doivent être mises en place.
- Associée à la conception d'une chaussée surélevée sur un remblai de terre pour assurer le drainage de la plateforme, la section transversale simplifiée permet d'obtenir une chaussée dont les coûts d'entretien et d'exploitation sont minimales et dont le nombre d'accidents graves est réduit. Une hauteur et une pente inadéquates du talus et de toute infrastructure visant à empêcher le ruissellement sur la route peuvent constituer un risque.
- Les capacités hydrauliques et les emplacements doivent être conçus de manière à prendre en considération les dommages causés aux propriétés en amont et en aval et à réduire la probabilité d'interruption du trafic en cas d'inondation.
- Un drainage inadéquat peut entraîner des coûts d'entretien élevés et des conditions de fonctionnement défavorables.
- Dans les régions où les chutes de neige sont importantes, les routes doivent être conçues de manière à ce qu'il y ait suffisamment d'espace de stockage en dehors de la voie de circulation pour la neige déblayée et un drainage adéquat pour les conditions de fonte.
- Il est préférable que les terre-pleins centraux ne s'écoulent pas à travers les voies de circulation, et souvent les voies intérieures et l'accotement des autoroutes à plusieurs voies s'écoulent vers le terre-plein central où une rigole recueille les eaux de ruissellement. Les terre-pleins centraux peuvent être drainés par des entrées de type grille.
- Dans les zones rurales, la conception des canaux de drainage doit tenir compte de la possibilité de traverser les bords de route, d'une bonne visibilité, du contrôle des polluants et d'un entretien économique. Cela peut être réalisé grâce à des pentes latérales aplaties, de larges canaux de drainage, des jardins de pluie, ainsi qu'une déformation et un arrondi libéraux. Dans les zones urbaines, les eaux de ruissellement sont souvent retenues dans des collecteurs fermés, et les jardins de pluie peuvent être utilisés pour réduire le volume des eaux de ruissellement.

Pour les usagers de la route

- Les installations de drainage doivent être conçues de manière à minimiser leur impact sur les véhicules à moteur. Le traitement des extrémités des ponceaux ne doit pas constituer une obstruction, soit en déplaçant l'élément en dehors de la zone de dégagement de 5 mètres à partir du bord de la voie de circulation, soit, lorsque cela n'est pas possible, en procédant à une évaluation pour déterminer si les traitements d'extrémité peuvent être rendus franchissables (figure 5.132). Si

¹¹⁶ FHWA Federal Highway Administration. 2009. A Guide for Local Street and Highway Maintenance Personnel, US. https://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwasa09024/

aucun traitement correctif n'est possible, des barrières de sécurité doivent être envisagées. Toutes les pentes des accotements vers les fossés doivent être au maximum de 1 dans 3 et de préférence de 1 dans 6.

- Dans les zones où le revêtement de la chaussée est déformé, comme dans les rues transversales ou les bretelles, les eaux de surface doivent être interceptées juste avant le changement de pente transversale. Les canaux sont utilisés pour transporter l'eau collectée par les canaux d'interception au bas des pentes et pour évacuer l'eau collectée par les bordures d'accotement. Les canaux peuvent être des canaux ouverts ou des tuyaux (figure 5.133), mais les canaux fermés ou les tuyaux sont préférables pour éviter les défaillances dues au tassement et à l'érosion.
- Des moyens de dissuasion visuels, sonores et physiques, tels que des barrières de sécurité, doivent être utilisés pour avertir les conducteurs de la présence d'endroits dangereux (par exemple, des pentes raides ou des canalisations proches d'une chaussée) et pour empêcher les véhicules de s'écarter de la chaussée (figure 5.134).
- Lorsque la capacité de la section trottoir, gouttière ou chaussée est dépassée (par exemple, près des points bas des courbes verticales, des passages pour piétons, etc.), il est possible d'installer des bouches d'égout reliées à un tuyau d'évacuation des eaux pluviales pour détourner les eaux de ruissellement de la surface de la chaussée. Cependant, les entrées de grilles seules ne sont pas recommandées dans les zones d'affaissement en raison du risque de colmatage. Les plaques des bouches d'égout et des canaux doivent être conçues de manière à assurer la sécurité de la circulation automobile, des véhicules et

des installations d'entretien, ainsi que des piétons et des cyclistes. Les grilles des fosses doivent être conçues pour permettre le passage et le chargement des automobilistes, des cyclistes et des piétons si nécessaire.

- Sur les routes à grande vitesse, les grilles des fosses ne doivent pas être situées sur les voies de circulation. Si nécessaire, elles doivent être situées en dehors de la zone de dégagement. Sur les routes à faible vitesse, les grilles des fosses devraient également être situées en dehors des voies de circulation, car elles peuvent provoquer des chocs, du bruit, se détacher et poser des problèmes de sécurité.

Pour la maintenance

- Pour éviter la réduction de la capacité hydraulique ou le colmatage, les installations de drainage doivent être conçues et situées de manière à empêcher le vase et les débris en suspension de se déposer sur la voie de circulation lorsque la pente longitudinale diminue.
- Les matériaux de revêtement (par exemple, verre, béton, chutes, etc.) doivent être envisagés en fonction de leur flexibilité, de leur durabilité, de leur coût, etc.
- Les canaux de drainage doivent être gardés propres et exempts de matériaux susceptibles de réduire leur capacité grâce à un entretien périodique et opportun (par exemple, enlèvement des ordures, remblayage pour lutter contre l'érosion, désherbage, etc.). Lorsque les eaux de crue se retirent, du limon et des débris peuvent être laissés sur la chaussée d'un canal de dérivation, ce qui peut constituer un danger pour les usagers de la route. L'agence routière doit inspecter chaque canal de dérivation affecté dès que possible après une inondation et déblayer la surface si nécessaire.

Figure 5.132: Ponceau allongé typique et conception révisée du mur de tête.



Source : © John Barrel.

Figure 5.133: Tuyau canalisé.



Source : FOA, 2020. NZ Forest Owners Association. 2020. NZ Forest road engineering manual, operators guide 2020, New Zealand.

Figure 5.134: Obstacle physique devant le drain.



Source : DFID, 2

Figure 5.135: Route mal drainée avec une surface de conduite rugueuse (source des sédiments).



Source : -> USAID. 2003. Low- Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide, US.

Figure 5.136: Mauvais emplacement de la route par rapport au ruisseau et à la connexion hydrologique avec les cours d'eau.



Source : USAID.

Figure 5.137: Matériaux de glissement bloquant les fossés de drainage.



Source : USAID.

- Les figures 5.135 à 5.137 montrent quelques exemples de routes mal drainées.
- Vous trouverez ci-dessous un résumé des qualités minimales ; cependant, aucune recommandation générale ne peut être faite pour l'adoption d'un axe de rotation ou de conditions particulières.

Pentes transversales

- Le drainage des chaussées en courbes verticales affaissées doit faire l'objet d'une conception minutieuse du profil. Au niveau d'une courbe verticale en forme de crête, il n'y a pas de problème de drainage si la courbe est suffisamment prononcée ou si la surface de la route présente une pente transversale ou un dévers suffisants.
- Les pentes moins marquées permettent généralement d'assurer un bon drainage de surface sur les routes non courbées lorsque la pente transversale est suffisante pour drainer latéralement la surface de la chaussée. Dans le cas d'autoroutes ou de rues en courbe, des pentes longitudinales doivent être prévues pour faciliter l'écoulement des eaux de surface.
- La déformation du caniveau pour les entrées s'ouvrant sur le trottoir doit être limitée afin de minimiser les effets négatifs sur la conduite. La largeur d'une bordure verticale ou inclinée est considérée comme un élément de section transversale entièrement hors de la voie de circulation. De même, une gouttière de couleur et de texture contrastées ne doit pas être considérée comme faisant partie de la

voie de circulation. Lorsqu'un caniveau a la même couleur et la même texture de surface que la voie de circulation et que sa pente transversale n'est pas beaucoup plus forte que celle de la voie de circulation adjacente, il peut être considéré comme faisant partie de la voie de circulation. Cette disposition est fréquemment utilisée dans les zones urbaines où la largeur restreinte de la priorité ne permet pas la mise en place d'un caniveau.

- Dans la section de transition en dévers, la combinaison d'une pente transversale inadéquate et d'une pente de conception longitudinale peut faire en sorte que le bord de la chaussée ait un dévers longitudinal négligeable. Cela peut entraîner un mauvais drainage de la surface de la chaussée, en particulier sur les sections transversales courbées. Cette longueur de la section de transition doit faire l'objet d'un profilage précis pour comprendre la forme plus large de la chaussée, y compris la section d'écoulement tangent et une longueur égale de la section de ruissellement dans la courbe (voir section 5.4 Dévers).
- Pour ces problèmes, on peut envisager de prévoir une pente de profil minimale ou une pente de bord de chaussée minimale dans la section de transition afin de maintenir une certaine pente de profil et une certaine pente de bord de chaussée.

La profondeur d'un drain ou d'un canal ouvert en bordure de route doit être minimale, mais inférieure à 150 mm pour éviter que le véhicule ne se renverse. Les drains plus profonds doivent être accompagnés de pentes plus douces.¹¹⁷

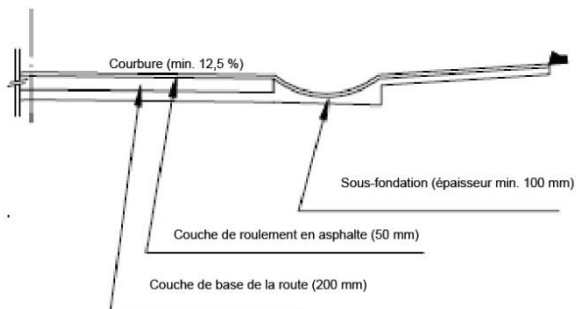
Bonnes pratiques ou exemples

Figure 5.138: Dispositif de drainage dangereux sur une route étroite et vallonnée.



Source : PIARC, 2003.

Figure 5.139: Drainage parabolique (bonne hydrodynamique, mais faible capacité).



Source : DFID, 2003.

Pentes latérales du canal

- Un canal de drainage large, plat et arrondi donne une impression d'ouverture avec une pente latérale de 1V:4H ou plus plate. Les conditions météorologiques doivent être prises en compte.

Figure 5.140: La combinaison des accès au bord de la route et des fossés de drainage profonds augmente le risque et la gravité potentielle des accidents.



Source : PIARC, 2003.

Figure 5.141: Drainage par excavation au Malawi.



Source : DFID.

¹¹⁷ DFID. 2003. CaSE Highway Design Note 1 Surface Water Drainage Channels. DFID (2003). CaSE Highway Design Note 1, Surface Water Drainage Channels.

Figure 5.142: Drainage non protégé.



Source : DFID, 2003.

Figure 5.144: Élargissement de l'accotement et drainage en toute sécurité.



Source : DFID, 2003.

Étude de cas

Caniveaux transversaux sur une autoroute, en Allemagne¹¹⁸

Dans la région allemande de Brandebourg, sur un tronçon de l'autoroute A10 au sud de Berlin, se trouve un segment de route très dangereux en béton, construit dans les années qui ont suivi l'unification de l'Allemagne. Bien que sa conception ait pris en compte les conditions météorologiques avec de fortes précipitations, en raison du changement climatique, la pente transversale proposée n'était pas suffisante, ce qui a entraîné un grand nombre d'accidents de la route dus au phénomène de l'aquaplanage. La seule méthode adéquate pour cette section consistait à construire des caniveaux transversaux en béton et recouverts de barres métalliques (figure 5.146). de largeur, et plusieurs peuvent être assemblés le long d'un secteur, à une distance minimale de 5 mètres entre les

Figure 5.143: Protection des fossés avec de la végétation, des rochers, de la maçonnerie ou du béton pour résister à l'érosion des fossés.



Source : USAID, 2003.

Figure 5.145: Fossé protégé en bordure de route avec des roches calibrées (enrochement) pour le contrôle de l'érosion.



Source : USAID, 2003.

gouttières individuelles. Une analyse de cette solution à l'aide d'un logiciel spécialisé appelé « Modèle de ruissellement de la surface de la chaussée » a montré que les caniveaux transversaux permettent de réduire la

Figure 5.146: Gouttière transversale.



Source : Burlacu, F. A., Răcănel, C. et Adrian Burlacu, A., 2018.

¹¹⁸ Alina Burlacu, Carmen Răcănel et Adrian Burlacu. 2018. Preventing aquaplaning phenomenon through technical solutions. Građevinar 12/2018. Accessible à l'adresse <http://casopis-gradjevinar.hr/assets/Uploads/JCE-70-2018-12-4-1578-EN.pdf>.

profondeur du film d'eau de 6 mm à 4 mm, voire à 2 mm, ce qui diminue considérablement le risque d'aquaplanage. Ces caniveaux étaient construits sur toute la largeur de la chaussée, y compris la bande d'arrêt d'urgence dans le cas des autoroutes. Les gouttières ne sont pas inférieures à 30 cm

Pour en savoir plus

- AASHTO. 2018. Green Book (GDHS-7). À lire : chapitre 3, Elements of design.
- Austroads 2018. Guide to Road Design Part 5, Drainage—General and Hydrology Considerations.
- USAID. 2003. Low-Volume Roads Engineering: Best Management Practices Field Guide. À lire : chapitre 5, Hydrology for drainage crossing design.
- DFID. 2003. CaSE Highway Design Note 1, Surface Water Drainage Channels. <https://www.gov.uk/research-for-development-outputs/case-note-1-drainage>.
- FHWA. 2009. A Guide for Local Street and Highway Maintenance Personnel. https://safety.fhwa.dot.gov/local_rural/training/fhwasa09024/.

5.12. Bordures de trottoir

Description générale

Les bordures sont des éléments surélevés ou verticaux situés très près du bord de la voie de circulation, qui s'étendent généralement de 75 à 200 mm au-dessus de la surface de la route. Elles ont les fonctions suivantes : contrôle du drainage, délimitation du bord de la chaussée, délimitation des voies piétonnes, réduction de l'emprise, réduction des opérations d'entretien, esthétique et aide à l'aménagement ordonné des bords de route.¹¹⁹

Les bordures sont couramment utilisées dans les zones urbaines et présentent l'avantage majeur de contenir le drainage dans la zone de la chaussée, de séparer les piétons du flux de circulation et de canaliser ou de contrôler la circulation vers les propriétés adjacentes et en dehors de ces dernières. Elles peuvent être placées sur les terre-pleins centraux ou le bord de la voie de circulation. Les bordures de trottoir peuvent être construites à l'aide de divers

matériaux, notamment le béton de ciment, le granit et le béton bitumineux, et sont souvent combinées à des sections de caniveau.

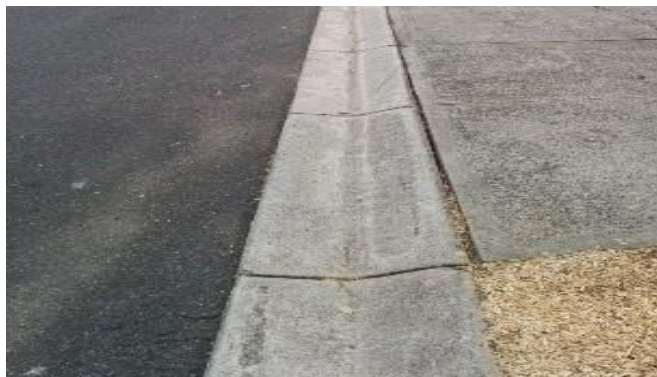
Il existe deux types de bordures de trottoir de base : les bordures verticales (figure 5.147) et les bordures inclinées (figure 5.148). Les bordures de trottoir verticales, également appelées bordures de trottoir de barrage, ont un profil vertical ou les panneaux d'affichage sont presque verticaux et dissuadent les véhicules de quitter la chaussée. Les bordures de trottoir inclinées, également appelées

Figure 5.147: Bordure verticale en béton.



Source : Gouvernement du Royaume-Uni, Department of Transport. 2020. Transport Secretary acts to make pavements safer for pedestrians. Accessible à l'adresse <https://www.gov.uk/government/news/transport-secretary-acts-to-make-pavements-safer-for-pedestrians>.

Figure 5.148: Bordure de trottoir inclinée permettant d'accéder à l'allée.



Source : Wayne Eddy. <http://gam.wikidot.com/fully-mountable-kerb-and-channel-photo-no-1>.

¹¹⁹ AASHTO. 2001. Policy on geometric design of highways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1(990), 158

bordures montables, ont une face inclinée pour permettre aux véhicules d'y monter facilement si nécessaire. Ils sont généralement utilisés dans les situations où il est souhaitable de permettre l'accès au bord de la route en cas d'urgence et aux propriétés adjacentes. À partir de ces types de bordures de trottoir de base, il existe d'autres types de bordures, notamment les bordures de trottoir semi-barrières et semi-montables, dont la conception est très variée.

Conséquences pour la sécurité

- Les bordures de trottoir sont principalement utilisées sur les installations à faible vitesse, et il convient d'être prudent lors de l'installation de bordures de trottoir sur les installations à grande vitesse. Selon l'AAS- HTO (2010),¹²⁰ l'installation de bordures de trottoir au lieu d'accotements étroits sur les routes urbaines à quatre voies sans séparation semble augmenter le nombre d'accidents hors route et sur route, quelle que soit leur gravité. L'installation de bordures de trottoir sur les autoroutes multi-voies de banlieue au lieu d'accotements étroits et plats semble augmenter le nombre d'accidents de tous types et de toutes gravités.
- Les bordures de trottoir verticales ont la capacité de rediriger un véhicule errant dans une direction parallèle à la voie de circulation, à condition que la vitesse et l'angle d'impact soient modestes ; une situation applicable aux installations à faible vitesse. Les capacités de réorientation se produisent à des vitesses d'environ 40 km/h ou moins. Les bordures de trottoir verticales ou fortement inclinées peuvent constituer un danger pour les cyclistes et les motocyclistes

Sur les installations à grande vitesse, les bordures de trottoir verticales constituent un risque pour la sécurité (figure 5.149). Un choc à grande vitesse avec la bordure de trottoir entraîne un moment de roulis, car le centre de gravité du véhicule est beaucoup plus élevé que celui de la partie supérieure de la bordure de trottoir. Cela introduit une instabilité dans la trajectoire du véhicule qui peut limiter la capacité du conducteur à contrôler le véhicule. Les bordures de trottoir étant principalement utilisées à

Figure 5.149: Bordures de trottoir verticales dangereuses sur une route à grande vitesse.



Source : National Highway Authority. 2019. Guidelines for Road Safety Engineering, Part 1. Gouvernement du Pakistan. Extrait du 15 novembre 2019, sur <http://www.roadsafetypakistan.pk/download/Guidelines-for-road-safety-engineering-part-1.pdf>.

des fins de drainage, elles sont souvent associées à des zones à forte pente des pentes latérales où un renversement serait encore plus probable.¹²¹

- Figure 5.149 : Bordures de trottoir verticales dangereuses sur une route à grande vitesse.
- Certaines circonstances justifient souvent l'utilisation de bordures de trottoir en combinaison avec des barrières de sécurité, par exemple à l'approche d'un pont où une bordure de trottoir est nécessaire à des fins de drainage et où une glissière de sécurité est nécessaire pour protéger les automobilistes des pentes latérales abruptes de la structure en approche. Les glissières en béton peuvent être utilisées comme dispositifs de drainage, de sorte qu'il n'y a pas de raison significative pour qu'une bordure soit nécessaire. Il est également inhabituel d'avoir des combinaisons de bordures et de barrières flexibles, car ces types de barrières permettent des déflexions très importantes, jusqu'à 3 mètres, et le véhicule monterait probablement sur le bord du trottoir tout en interagissant

¹²⁰ AASHTO. 2010. Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC.

¹²¹ National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2005. Recommended Guidelines for Curb and Curb-Barrier Installations. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13849>.

Figure 5.150: Exemple de combinaison dangereuse d'une bordure de trottoir et d'une barrière avec la barrière en acier juste derrière la bordure.



Source : UNESCAP. 2017. Recommended Design Guidelines on Road Infrastructure Safety Facilities for the Asian Highway Network. Accessible à l'adresse <https://www.unescap.org/resources/recommended-design-guidelines-road-infrastructure-safety-facilities-asian-highway-network>.

Figure 5.151: Triple bordure de trottoir à Bucarest, limitant l'accès des piétons.



Source : Cozmei, V. le 23 avril 2019. The sidewalk in Bucharest with three rows of different curbs. HotNews.ro. https://www.hotnews.ro/stiri-administratie_locala-23104851-foto-trotuarul-din-bucuresti-trei-randuri-borduri.htm.

avec la barrière. Les barrières semi-rigides, en revanche, sont largement utilisées avec les bordures de trottoir, et une conception inadéquate de cette combinaison bordure-barrière peut entraîner des trajectoires d'impact imprévisibles, amenant les véhicules à franchir la barrière par-dessus ou par-dessous (voir figure 5.150).

- Les bordures de trottoir très hautes (plus de 150 mm) sur les bords des trottoirs limitent l'accès des piétons (voir figures 5.151 et 5.152).

Figure 5.152: Bordure de trottoir très haute (environ 250 mm) limitant l'accès des piétons à la passerelle.



Source : UTTIPEC, Delhi Development Authority. 2011. Kerb Heights for Footpaths and Medians PPT. New Delhi.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Les bordures de trottoir verticales sont recommandées pour les zones bâties adjacentes aux voies piétonnes à forte fréquentation, aux chemins à usage partagé et aux arrêts de bus (figures 5.153 et 5.154). En effet, elles réduisent le risque pour les piétons, non seulement en tant qu'obstacle physique, mais aussi en tant qu'obstacle psychologique, car les conducteurs ont généralement tendance à s'éloigner de la ligne de trottoir.
- Si les bordures de trottoir doivent être conçues pour décourager les automobilistes d'empiéter sur le domaine piétonnier, il est souhaitable que les piétons puissent toujours monter et descendre du domaine piétonnier vers la voie de circulation. La hauteur de trottoir préférée est généralement de 150 mm.
- Aux endroits où se trouvent les passages pour piétons, les bordures de trottoir abaissées sont idéales, car elles permettent aux piétons, en particulier aux personnes handicapées, aux personnes âgées et aux personnes avec des poussettes, de traverser la route avec facilité¹²².
- Comme alternative, en particulier pour les passages piétons prioritaires non signalisés, la chaussée peut être relevée au niveau de la chaussée et servir de

¹²² Banque mondiale. 2013. Improving Accessibility to Transport for People with Limited Mobility : A Practical Guidance Note. Washington, DC. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17592> Licence : CC PAR 3.0 IGO.

Figure 5.153: Bordure de trottoir verticale adjacente à la voie piétonne.



Source : Designing Buildings. 2021. Kerbs. <https://www.designingbuildings.co.uk/wiki/Kerbs>. Banque mondiale. 2013. Improving Accessibility to Transport for People with Limited Mobility: A Practical Guidance Note.

Figure 5.154: Bordure de trottoir abaissée aux deux extrémités du passage pour piétons avec revêtement tactile.



Source : Zigmars Rozentals. 2017. The "Curb cut effect"—why making things accessible helps everyone, Medium. <https://medium.com/@rozentals/the-curb-cut-effect-why-making-things-accessible-helps-everyone-2f712b2c86e>.

mesure de contrôle de la vitesse (voir également la section 3.2).

- Lorsque des bordures de trottoir abaissées sont utilisées, elles doivent être assorties aux deux extrémités du point de passage, avec une surface de pavage tactile pour faciliter le déplacement des personnes malvoyantes (figure 5.155). Les bordures de trottoir sont également utilisées pour permettre aux véhicules d'accéder aux propriétés (figure 5.156).
- Lorsque l'empiètement des automobilistes sur le domaine piétonnier pose problème, des techniques de protection telles que des bornes et des jardinières peuvent être utilisées, plutôt que des bordures de trottoir plus hautes.

• **Figure 5.155:** Bordure d'arrêt de bus pour faciliter l'accès des passagers.



Source : Designing Buildings, 2021.

Figure 5.156: Bordure de trottoir abaissée permettant d'accéder à la propriété.



Source : © Merton Council/Gouvernement du Royaume-Uni

- Les bordures de trottoir inclinées sont généralement utilisées dans les situations suivantes :
 - Dans la zone des îlots montables extérieurs des carrefours, des petits îlots d'angle et des carrefours giratoires, pour délimiter les voies de circulation normales des véhicules.
 - Pour définir le bord d'une chaussée de transit où la pente transversale de l'accotement ou de la bande de stationnement adjacente est opposée à celle de la chaussée de transit.
 - Lorsque le croisement ou l'empiètement de véhicules plus grands que les véhicules prévus est autorisé (par exemple, dans les carrefours giratoires) ou prévu dans des conditions d'urgence (virages de camions de pompiers, etc.).

- Sur les chemins piétonniers et les couloirs cyclables, le long de la bordure herbeuse des chemins asphaltés, afin de réduire les dommages causés au chemin par l'herbe qui pousse dans le chemin asphalté. Les bordures de trottoir le long des chemins offrent également un contraste visuel avec le bord du chemin et empêchent l'érosion du matériau de la bordure sur le chemin. La figure 5.157 montre un exemple d'utilisation de bordures de trottoir inclinées et verticales.
- L'utilisation de bordures de trottoir est généralement déconseillée sur les routes à grande vitesse (plus de 60 km/h) en raison de leur effet sur la trajectoire d'un véhicule en cas d'impact. Cependant, ils peuvent être nécessaires en raison d'une emprise restreinte, de considérations liées au drainage, du contrôle de l'accès, de la délimitation et d'autres fonctions du trottoir. Il est recommandé d'utiliser des bordures de trottoir inclinées en cas de besoin et de les placer au bord extérieur des accotements plutôt qu'au bord de la voie de circulation. Les bordures de trottoir inclinées permettent également d'accéder au bord de la route en cas d'urgence, et les automobilistes peuvent se garer à l'écart de la voie de circulation si la largeur des accotements scellés n'est pas suffisante.
- Étant donné que l'aspect des bordures de trottoir en béton de ciment et en béton bitumineux offre peu de visibilité par rapport aux chaussées normales, en particulier par temps de brouillard ou la nuit lorsque les surfaces sont mouillées, le marquage des bordures de trottoir avec des matériaux réfléchissants tels que des peintures (figure 5.158) et des thermoplastiques ou la fixation de marqueurs réfléchissants sur le dessus de la bordure améliore leur visibilité. Un nettoyage ou une remise en peinture périodique est nécessaire pour maintenir cette visibilité.
- Pour les combinaisons bordure-barrière, il est important de noter qu'une bordure peut avoir un effet sur la trajectoire d'un véhicule, ce qui implique souvent la transformation de l'énergie cinétique longitudinale en énergie cinétique verticale et rotative qui est difficile à contrôler. Pour cette raison, une approche de la conception consiste à placer la bordure de trottoir derrière la face de la barrière ou au ras de la barrière et à limiter la déflexion de la barrière en la rigidifiant. Il est recommandé d'utiliser la bordure de trottoir suivante

Figure 5.157: Une bordure de trottoir inclinée est prévue sur le terre-plein central pour permettre aux véhicules de monter occasionnellement sur l'îlot de circulation en cas de besoin, tandis que la bordure de trottoir verticale est prévue sur le bord de la chaussée



Source : UNESCAP. 2017. Recommended Design Guidelines on Road Infrastructure Safety Facilities for the Asian Highway Network. <https://www.unescap.org/resources/recommended-design-guide-lines-road-infrastructure-safety-facilities-asian-highway-network>.

Figure 5.158: Bordure de trottoir peinte sur le terre-plein central. Toutefois, la bordure de trottoir ne permet pas aux personnes handicapées d'accéder au passage à niveau.



Source : UTTIPEC, Delhi Development Authority. 2011. Kerb Heights for Footpaths and Medians PPT. New Delhi.

du type incliné et d'une hauteur maximale de 100 mm. Les méthodes courantes de renforcement de la glissière de sécurité comprennent l'emboîtement de deux sections de poutres en W, l'ajout d'une poutre en W à l'arrière de la barrière, l'ajout d'une barre de frottement et la réduction de l'espacement entre les poteaux. Une deuxième approche consiste à décaler latéralement la barrière derrière le

trottoir d'une distance suffisante pour permettre à un véhicule qui la traverse de revenir à son taux de suspension antérieur à la sortie.¹²³ Cette distance dépend de la vitesse d'impact, mais il est recommandé d'adopter une distance minimale de 2,5 m pour les vitesses moyennes supérieures à 60 km/h. Il convient de garder à l'esprit que la situation alternative dans laquelle la barrière est omise peut ne pas constituer un résultat acceptable en matière de sécurité. Une réflexion approfondie et une évaluation des risques pour la sécurité sont nécessaires pour les endroits où la solution ci-dessus ne peut être mise en œuvre, afin de déterminer si un résultat modifié est plus sûr que l'absence totale de barrière.

Pour en savoir plus

- AASHTO. 2001. Policy on geometric design of high-ways and streets. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 1(990), 158. À lire : chapitre 4, Cross-sectional elements.
- AASHTO. 2010. Highway Safety Manual. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC. À lire : A3, Roadside elements.
- National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. 2005. Recommended Guidelines for Curb and Curb-Barrier Installations. Washington, DC: The National Academies Press. <https://doi.org/10.17226/13849>.
- Transportation Officials. Task Force for Roadside Safety. 2011. Roadside design guide. AASHTO. À lire : chapitre 3, Roadside topography and drainage features.
- UNESCAP. 2017. Recommended Design Guidelines on Road Infrastructure Safety Facilities for the Asian Highway Network. <https://www.unescap.org/resources/recommended-design-guidelines-road-infrastructure-safety-facilities-asian-highway-network>.
- UTTIPEC, Delhi Development Authority. 2011. Kerb Heights for Footpaths and Medians PPT. New Delhi. <https://www.slideshare.net/UTTIPECworks/uttipec-street-design-guidelines>.

5.13. Panneaux de signalisation

Description générale

Les panneaux de signalisation sont placés par les autorités chargées de la circulation, en vertu des pouvoirs conférés par la législation nationale spécifique, afin de fournir des avertissements, des informations et des détails sur les restrictions ou les réglementations aux usagers de la route à un moment opportun pour qu'ils modifient leur comportement en conséquence. Outre les panneaux avertissant de l'approche d'un élément, il en existe d'autres à utiliser sur le site même, tels que les chevrons de direction dans les virages ou aux carrefours et les panneaux réglementaires au point d'application de la loi. Les trois fonctions principales des panneaux de signalisation sont la régulation, l'avertissement et l'information. En outre, les panneaux commerciaux ou publicitaires sont de plus en plus nombreux sur l'autoroute. Il ne s'agit pas de panneaux de signalisation à proprement parler, mais ils ont un impact sur la sécurité des usagers de la route.

Au fur et à mesure que la technologie des véhicules progresse, il devient de plus en plus important de disposer d'une signalisation de bonne qualité et cohérente.

Les panneaux commerciaux (réglementés ou non) sont de plus en plus fréquents dans les zones urbaines et, bien qu'ils ne soient pas des panneaux de signalisation à proprement parler, ils peuvent avoir un impact significatif sur la sécurité routière. La police et certains autres organismes publics et autorités statutaires ont également le droit de placer des panneaux de signalisation, mais uniquement dans les circonstances limitées prévues par la législation compétente.

Si le gouvernement national ou fédéral définit la législation régissant l'apparence et la signification des panneaux de signalisation, les décisions concernant le choix des panneaux à placer et leur emplacement relèvent des autorités chargées de la circulation.

Les aspects juridiques de la signalisation sont parfois mal compris par les praticiens, en particulier l'interdiction pour une autorité d'inventer unilatéralement ses propres panneaux non normalisés.

¹²³ Transportation Officials. Task Force for Roadside Safety. 2011. Roadside design guide. AASHTO.

- L'utilisation de signes non prescrits sur les autoroutes publiques sans l'autorisation de l'autorité nationale ou fédérale peut être considérée comme illégale.
- L'installation d'un panneau non autorisé sur la voie rapide constitue une obstruction et les conséquences possibles peuvent être graves.

La convention des Nations unies sur les panneaux de signalisation, communément appelée convention de Vienne, est un traité multilatéral destiné à accroître la sécurité routière et à faciliter le trafic routier international en normalisant le système de signalisation routière utilisé au niveau international. Il a été introduit pour la première fois en 1931 et le dernier accord européen date de 1971. L'adoption de la convention de Vienne n'est toutefois pas universelle.

Les panneaux de signalisation utilisés par les pays des Amériques sont largement influencés par le Manuel des dispositifs uniformes de contrôle de la circulation (MUTCD), publié pour la première fois en 1935. Cela reflète l'influence des États-Unis. Il existe également plusieurs signataires américains de la Convention de Vienne. Ces deux systèmes sont largement utilisés au niveau international.

Avec l'augmentation du débit et de la vitesse du trafic, la convention de signalisation consiste à utiliser davantage de pictogrammes ou de symboles que de mots pour transmettre le message. Les panneaux conformes aux normes de l'ONU doivent utiliser davantage de pictogrammes que les variantes américaines basées sur le texte. En effet, la plupart des pays panaméricains utilisent plus de symboles que n'en autorise le MUTCD américain.

Chaque fonction fait l'objet d'un groupe de panneaux différent, et les panneaux de chaque groupe ont une forme

uniforme afin d'aider les conducteurs à les reconnaître rapidement. Les trois groupes sont les suivants :

Panneaux réglementaires. Ces panneaux donnent des ordres. Ils indiquent aux conducteurs ce qu'ils ne doivent pas faire (interdiction) ou ce qu'ils doivent faire (obligation). La plupart d'entre eux ont la forme d'un disque circulaire, bien que deux panneaux, le panneau « Stop » et le panneau « Cédez le passage », aient des formes individuelles distinctes.

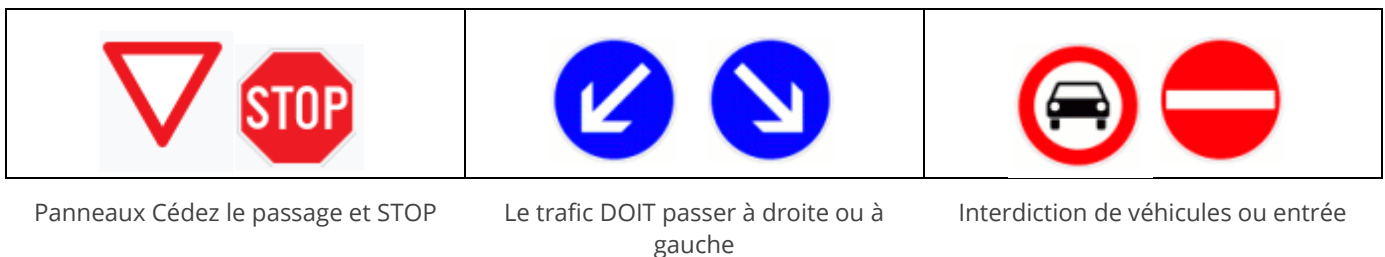
Panneaux d'alerte. Ils avertissent les conducteurs d'un danger ou d'une difficulté sur la route. La plupart d'entre eux ont la forme d'un losange ou d'un triangle équilatéral qui pointe vers le haut.

Presque tous les pays d'Amérique utilisent des panneaux d'avertissement en forme de losange jaune, tandis que les pays signataires de la convention de Vienne utilisent des panneaux triangulaires. Reconnaisant les différences de normes entre l'Europe et l'Amérique, la Convention de Vienne considère ces types de panneaux comme une alternative acceptable au panneau d'avertissement triangulaire.

Panneaux d'information. La plupart de ces panneaux donnent aux conducteurs des informations leur permettant de trouver leur chemin jusqu'à leur destination ou des informations sur les installations. Il s'agit d'un groupe varié de panneaux, mais ils sont tous de forme carrée ou rectangulaire en amont d'un croisement. Aux croisements, ils comportent une extrémité triangulaire. La couleur d'arrière-plan dépend du statut de l'itinéraire (autoroute, route principale ou locale).

Les panneaux commerciaux sont de grandes structures publicitaires extérieures (panneaux d'affichage), généralement situées dans des zones peuplées, par exemple le long de routes très fréquentées. Ils présentent

Panneaux réglementaires



Panneaux d'alerte.



L'approche d'un virage peut être dangereuse si l'on ne réduit pas d'abord la vitesse

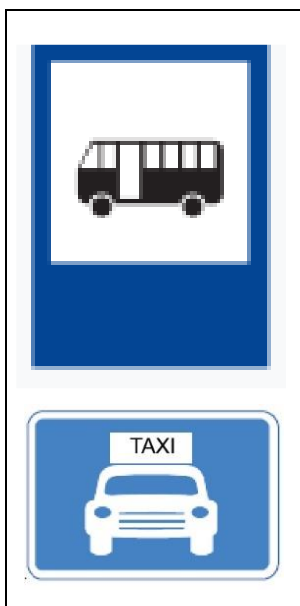
Succession de virages

Travaux

Passage d'animaux

Source : Bangladesh Road Transport Authority, 2000.

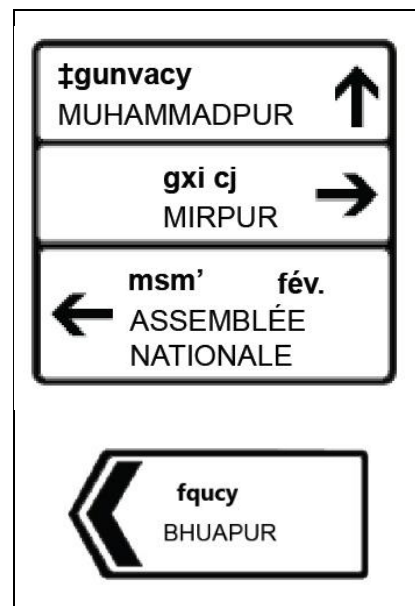
Panneaux d'information



Arrêt de bus ou stationnement pour taxis



Panneaux de direction des grands axes routiers



Panneaux de direction locaux

Source : Bangladesh Road Transport Authority, 2000.

de grandes publicités à l'intention des piétons et des automobilistes. Bien qu'ils soient présents sur l'autoroute, ils ne sont pas considérés comme des panneaux de signalisation.

Les plus grands panneaux d'affichage ordinaires sont situés principalement sur les grands axes routiers, les voies rapides ou les artères principales et sont exposés à une forte densité de consommateurs (principalement à la circulation automobile) (figure 5.159). Ils offrent la plus grande visibilité, non seulement en raison de leur taille, mais aussi parce qu'ils permettent une « personnalisation » créative au moyen d'extensions et d'embellissements.

Parmi les autres panneaux commerciaux, on trouve de nombreuses enseignes sur les devantures de magasins et des panneaux « A » sur les trottoirs (figure 5.160). Ils sont tous conçus pour être visibles et peuvent par conséquent détourner l'attention d'autres signaux pertinents. Les réglementations relatives aux panneaux commerciaux sont généralement établies dans le cadre du processus de planification. Leur emplacement peut distraire les conducteurs et gêner les déplacements des usagers non motorisés, ce qui pose un problème de sécurité.

Figure 5.159: Publicité routière : Ukraine.

Source : © John Barrell.

Conséquences pour la sécurité

- Il y a souvent un manque de panneaux dans les PRITI, ou ceux qui existent ne sont pas aux normes et sont mal situés ou entretenus.
- Dans certains pays en développement, il existe une multiplicité de langues et les panneaux écrits nécessitent de nombreux mots, qui peuvent alors devenir petits et difficiles à lire.
- L'alphabétisation peut également être limitée. La cohérence de l'aspect et de l'utilisation des panneaux est essentielle pour la sécurité routière, de même que le choix de tailles adaptées à la vitesse de circulation.
- Les panneaux doivent être visibles suffisamment tôt pour permettre de comprendre le message et de prendre les mesures qui s'imposent
- Les panneaux peuvent ne pas être visibles la nuit en raison d'un mauvais éclairage, d'un manque d'entretien régulier ou d'une alimentation électrique continue.
- Les panneaux réfléchissants qui ne sont pas régulièrement nettoyés risquent de ne pas conserver leurs propriétés.
- L'entretien est essentiel, car les panneaux de mauvaise qualité, déformés ou manquants ne sont pas en mesure de transmettre clairement les messages.
- Un problème récurrent avec les panneaux est leur occultation, soit par des éléments permanents tels que le mobilier urbain, le tracé de la route et la végétation, soit

Figure 5.160: Signalisation des voies piétonnes : Ghana.

Source : © John Barrell.

- par des véhicules en stationnement et, sur les routes à deux voies, par des véhicules en mouvement circulant sur la voie la plus proche.
- Les panneaux peuvent eux-mêmes masquer d'autres éléments et être visuellement intrusifs d'un point de vue environnemental.
- Le vol et le vandalisme des panneaux constituent un problème majeur dans les PRITI.
- La surutilisation des panneaux est une source de distraction pour l'utilisateur de la route.
- Un trop grand nombre de panneaux peut nuire à leur objectif en surchargeant le conducteur d'informations, ce qui entraîne une certaine confusion, ou une situation dans laquelle le conducteur ne tient pas compte de certains panneaux.
- Des panneaux d'avertissement placés à des distances différentes des dangers associés dans différentes localités, par exemple, pourraient induire en erreur les usagers de la route qui s'aventurent en dehors de leur zone locale.
- L'incohérence des directives routières peut amener les conducteurs à prendre des décisions dangereuses et inappropriées en matière de voies et de virages.
- Les panneaux publicitaires sont conçus pour attirer l'attention de l'utilisateur et constituent une distraction majeure. Leur utilisation prédominante à des croisements et à des endroits complexes est dangereuse.

- Un problème courant se pose lors des travaux routiers, car les panneaux sont souvent mal placés par les entrepreneurs.
- Une nouvelle tendance se dessine dans la littérature, qui suggère que les panneaux publicitaires en bord de route peuvent augmenter le risque d'accident, en particulier ceux qui ont la capacité de changer fréquemment (souvent appelés panneaux d'affichage numériques).¹²⁴
- Une étude approfondie a montré que le risque d'accident augmente d'environ 25 à 29 % en présence de panneaux publicitaires numériques sur le bord des routes par rapport aux zones de contrôle.
- Cependant, les études basées sur les corrélations entre les accidents et les panneaux publicitaires se heurtent au problème de la sous-déclaration : les conducteurs ne sont pas disposés à admettre leur responsabilité dans un accident et n'admettront donc pas qu'ils ont été distraits à un moment crucial. Même en tenant compte de cette limitation, certaines études ont révélé des taux d'accidents plus élevés à proximité des publicités utilisant des panneaux à messages variables ou des panneaux d'affichage électroniques.¹²⁵

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Afin d'assurer un fonctionnement sûr et efficace du réseau routier, il est essentiel que tous les panneaux de signalisation soient :
 - Nécessaires,
 - Clairs et sans ambiguïté,
 - Transmettent leur message aux usagers de la route au moment opportun et sont facilement compris au moment où il est nécessaire : ni trop tôt pour que l'information soit oubliée, ni trop tard pour que les manœuvres nécessaires puissent être effectuées en toute sécurité, et
 - Ne constituent pas une distraction inutile.
- Pour tirer le meilleur parti de l'uniformité, il faut donc non seulement uniformiser les panneaux, mais aussi leur utilisation, leur emplacement et leur éclairage (figure 5.161).
- L'emplacement des panneaux est essentiel : ils doivent être placés suffisamment en amont d'un élément pour

que le message soit compris et respecté, mais pas trop en amont pour que le message soit oublié au moment où l'élément est atteint.

- La quantité d'informations fournies à un seul endroit ou sur un seul panneau ne doit pas dépasser quatre lignes ou messages, car toute information supplémentaire ne peut être absorbée en temps voulu (figure 5.162).
- Pour éviter les problèmes liés aux panneaux qui n'ont pas été vus à temps, il convient de prêter attention à la végétation (en tenant compte de la croissance rapide qui se produit au fil des saisons) et aux restrictions de stationnement. Si l'on pense que le blocage des panneaux

Figure 5.161: Manque de cohérence des directives d'orientation.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 5.162: La surutilisation des panneaux est une source de distraction.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

¹²⁴ Oviedo-Trespalacios, Oscar ; Truelove, Verity ; Watson, Barry ; et Hinton, Jane A. Avril 2019. « The impact of road advertising signs on driver behaviour and implications for road safety: A critical systematic review ». *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 122: 85-98.

¹²⁵ Farby, J., Wochinger, K., Shafer, T., Owens, N. et Nedzesky, A. 2001. *Research review of potential safety effects of electronic billboards on driver attention and distraction*. Washington, DC: Federal Highway Administration.

Figure 5.163: Voie rapide avec panneaux d'échange et éclairage à Hyderabad, en Inde.



Source : © Krishnan Srinivasan/Banque mondiale.

est dû à la présence d'autres véhicules en mouvement, il convient d'envisager l'installation de panneaux aériens ou de panneaux latéraux répétés.

- Les panneaux doivent être visibles dans l'obscurité. Dans les zones rurales, cela peut être réalisé avec des panneaux réfléchissants ; dans les zones urbaines, cela peut nécessiter des panneaux à éclairage externe ou interne, en fonction des conditions d'éclairage, car la réflectivité peut être affectée par d'autres lumières, et les conducteurs peuvent ne pas utiliser tous leurs phares dans les zones urbaines (figure 5.163)
- Un entretien régulier est important pour maintenir la visibilité, la fonction et la présence des panneaux.
- La fabrication de panneaux en matériaux de faible valeur ou ayant d'autres usages, ainsi que leur installation à une hauteur difficile à atteindre (tout en étant bien visibles par les utilisateurs) peuvent les rendre moins susceptibles d'être volés. Une fixation solide sur des supports qui sont tout aussi redondants s'ils sont enlevés est également utile.
- Il est particulièrement important qu'ils ne constituent pas un danger en soi pour les véhicules quittant la route et qu'ils n'entravent pas la visibilité ou la circulation.
- Les panneaux doivent être placés suffisamment loin des voies de circulation pour ne pas présenter de danger si un véhicule quitte l'autoroute. Lorsque les panneaux peuvent présenter un risque pour les véhicules en mouvement, ils doivent être protégés de manière adéquate. Dans ce but, les développements récents incluent une variété de panneaux qui absorbent l'énergie de l'impact ou qui tombent et qui peuvent être renversés, mais qui se remettent en place en cas de collision.

Pour en savoir plus

- FHWA. 2009. Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). À lire : partie 2, Signs.
- UNECE. 2006. Convention de Vienne sur les panneaux de signalisation. Accessible à l'adresse https://unece.org/DAM/trans/convention/Conv_road_signs_2006v_EN.pdf.
- Department for Transport, gouvernement britannique. 2018. Traffic signs manual. <https://www.gov.uk/government/publications/traffic-signs-manual>.

5.14. Marquage au sol

Description générale

Un marquage au sol (ou marquage routier) est tout type de dispositif ou de matériau utilisé sur la surface d'une route pour fournir des directives et des informations à tous les usagers de la route.

L'objectif essentiel du marquage routier est de guider et de contrôler la circulation sur une autoroute. Ils complètent la fonction des panneaux de signalisation, servent de barrière psychologique et indiquent la délimitation d'une voie de circulation et son dégagement latéral des dangers de la circulation pour une circulation en toute sécurité. Ils sont donc très importants pour assurer la sécurité, la fluidité et l'harmonie du trafic. Cet aspect devrait prendre de l'importance avec les véhicules autonomes qui dépendent d'un marquage routier de bonne qualité pour les directives sur la voie.

Ils peuvent être utilisés pour délimiter les voies de circulation, informer les automobilistes et les piétons, servir de générateurs de bruit (lorsqu'ils sont équipés d'un profil audio tactile en relief) lorsque ceux-ci traversent une route, ou tenter de réveiller un conducteur endormi lorsqu'il est arrêté sur l'accotement de la route. Les marquages au sol peuvent également indiquer les règles de stationnement et d'arrêt. Ils peuvent être longitudinaux (le long de la

chaussée) ou transversaux (de part et d'autre de la chaussée) ou afficher des mots ou des symboles écrits.

L'uniformité des marquages est un facteur important pour minimiser la confusion et l'incertitude quant à leur signification, et des efforts existent pour normaliser ces marquages à travers le monde. Cependant, les pays et les régions classent et spécifient les marquages routiers de différentes manières.

- En général, les pays européens suivent la Convention de Vienne sur les panneaux de signalisation, qui décrit l'aspect des panneaux de signalisation et des marquages routiers. La plupart des pays européens utilisent le blanc pour les marquages habituels des voies de circulation, quels qu'ils soient. Le jaune est utilisé pour signaler les interdictions de stationner, par exemple aux arrêts de bus. En revanche, en Norvège, des marquages jaunes séparent les sens de circulation.
- De nombreux pays utilisent le jaune, l'orange ou le rouge pour indiquer que les voies sont déplacées temporairement pour faire de la place à des projets de construction.
- Dans presque tous les pays d'Amérique du Nord et du Sud, des lignes jaunes continues et intermittentes séparent les sens de circulation.
- Le Chili et l'Argentine ont des lignes blanches intermittentes qui séparent la circulation lorsque le dépassement est autorisé dans les deux sens, et des lignes jaunes continues lorsque le dépassement est interdit dans les deux sens ; lorsque le dépassement est autorisé dans un seul sens, ces pays séparent la circulation par une combinaison de lignes blanches et jaunes.

Les marquages de lignes remplissent une fonction très importante en transmettant aux usagers de la route des informations et des exigences qui ne pourraient pas être transmises par des panneaux verticaux. Ils ont l'avantage d'être souvent visibles lorsqu'un panneau vertical est masqué et peuvent également fournir un message continu.

Ils sont relativement peu coûteux à installer, mais nécessitent un entretien régulier, car un trafic intense peut les effacer rapidement. Les différents types de marquage ont des propriétés de durabilité et de réflectivité différentes (décrites ci-dessous). Le choix du type de marquage au sol doit tenir compte de ces aspects importants de la performance.

Des efforts constants sont déployés pour améliorer le système de marquage routier, et les avancées technologiques comprennent l'ajout de rétro-réflectivité, l'augmentation de la longévité et la réduction des coûts d'installation.

Conséquences pour la sécurité

- Les marquages au sol ont leurs limites.
 - Ils peuvent être complètement cachés par la neige,
 - Ils offrent moins d'adhérence que le revêtement de la route environnante,
 - L'enlèvement et le repositionnement des marquages routiers peuvent laisser un marquage fantôme qui peut dérouter les usagers,
 - Leur visibilité est réduite lorsqu'ils sont mouillés ou sales, et
 - Leur durée de vie effective est réduite s'ils sont soumis à un trafic important.
- Le marquage des dispositifs de ralentissement de la circulation est très important et parfois, en raison de la pluie ou de la qualité de la peinture, le marquage n'est pas visible (figure 5.164).

Figure 5.164: Marques de passage pour piétons défraîchies au Cambodge.



Source : © Blair Turner/GRSF.

- Ils apportent une contribution essentielle à la sécurité, par exemple en définissant clairement la route à suivre en cas de danger, en séparant les mouvements conflictuels et en délimitant le bord de la route sur les routes non éclairées la nuit.

- Ils peuvent également contribuer à améliorer la capacité des croisements et à optimiser l'utilisation de l'espace routier disponible. En particulier, il est souhaitable de généraliser l'utilisation des marquages de voies, car ils encouragent la discipline dans les voies et améliorent la sécurité et l'efficacité de la circulation.
- La fonction de guidage est moins importante (bien que toujours importante) à la lumière du jour ou sur des routes éclairées, car le conducteur dispose de nombreux repères visuels pour juger de la trajectoire et de la position. Sur les routes non éclairées, la nuit, les conditions sont très différentes ; les stimuli visuels au loin et sur les côtés de la route sont largement absents. Les marquages routiers deviennent alors l'aide la plus importante pour permettre au conducteur de suivre la route.
- Des recherches européennes menées en collaboration ont montré que les conducteurs doivent être en mesure de détecter les marquages de guidage à une distance équivalente à un minimum de deux secondes de temps de trajet. Si la visibilité est inférieure à cela, les conducteurs ont tendance à s'adapter trop tard lorsque la route change de direction. Ils roulent trop près de la ligne médiane dans les virages à l'intérieur, ou trop près du bord de la route dans les virages à l'extérieur. Plus la vitesse de circulation est élevée, plus la distance de visibilité nécessaire pour maintenir ce « temps d'anticipation » de deux secondes est importante. Si elle n'est pas présente, les conducteurs ont tendance à manquer le virage ou à procéder à une série d'erreurs.
- Presque toutes les recherches récentes sur les accidents ont été axées sur l'ajout de lignes de démarcation sur les autoroutes. Des études récentes sur les accidents, ainsi que des études datant de plus d'un demi-siècle, ont montré de manière concluante que l'ajout de lignes de démarcation sur les routes rurales à deux voies peut réduire le nombre d'accrochages et d'accidents mortels. Une étude récente a montré que la charge mentale des conducteurs était réduite après l'ajout de lignes de démarcation sur des routes étroites à deux voies.¹²⁶
- La distance de visibilité est affectée par l'éblouissement des véhicules venant en sens inverse, des phares sales ou du pare-vent, et surtout par la pluie ; les billes de verre qui produisent la luminosité nocturne sont noyées dans

l'excès d'eau, ce qui réduit considérablement la luminosité de la ligne.

- Les conducteurs âgés voient également moins bien un marquage que les jeunes conducteurs ; une personne de soixante-dix ans peut voir sa distance de visibilité réduite de plus de 20 % par rapport à un conducteur d'une vingtaine d'années.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- Le marquage au sol doit toujours être examiné en détail au stade de la conception de tout projet.
- Les marquages ont deux fonctions principales :
 - Le premier est symbolique ; le conducteur doit avoir appris, par exemple, qu'un marquage triangulaire vide dont le sommet est dirigé vers le bas signifie « cédez le passage ».
 - La seconde est le guidage : les lignes médianes, les lignes de bordure et les lignes de voie aident les conducteurs à maintenir leur position latérale sur la route. Certains marquages, comme les lignes de danger et les systèmes de double ligne blanche, ont des fonctions à la fois symboliques et de guidage.
- Plusieurs facteurs influencent la distance de visibilité d'un marquage routier. Il augmente lorsqu'une ligne est plus large, que le rapport entre la marque et l'espace est plus élevé ou que le coefficient de luminosité rétro-réfléchi est plus élevé (de jour, contraste plus important avec la surface de la route).
- Les lignes longitudinales doivent être conçues de manière à assurer un alignement fluide, en évitant les changements de direction brusques ou les rétrécissements brusques d'une longueur inadéquate (figure 5.165). Ils peuvent être posés à la machine ou à la main en peinture, en thermoplastique ou en ruban préformé.
- Pour être efficaces, les marquages de lignes doivent être clairement visibles de jour comme de nuit.

¹²⁶Paul J. Carlson, Eun Sug Park et Carl K. Andersen. 2008. The Benefits of Pavement Markings: A Renewed Perspective Based on Recent and Ongoing Research. US Federal Highway Administration.

Figure 5.165: Déviation inattendue du marquage au sol : Inde



Source : Blair Turner/GRSF.

- La plupart des marquages de lignes ayant une fonction de guidage doivent être éclairés par un matériau rétro-réfléchissant (figure 5.166). La rétro-réflexion est obtenue par l'ajout de billes de verre appliquées directement sur la surface du marquage au sol au cours du processus d'application et, dans le cas des thermoplastiques, par la présence de billes de verre incorporées dans le matériau lui-même. Le marquage est donc beaucoup plus lumineux la nuit que les matériaux non réfléchissants.

Pour en savoir plus

- FHWA. 2009. Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). À lire : partie 3, Markings.
- Department for Transport, gouvernement britannique. 2019. Traffic signs manual. À lire : chapitre 5, Road markings, MUTCD.

5.15. Éclairage public

Description générale

Un lampadaire est une source lumineuse surélevée, généralement située au sommet d'un poteau (colonne), d'un lampadaire ou d'une lampe, au bord d'une route ou d'un chemin, ou dans le terre-plein central d'une chaussée divisée. Il peut également être suspendu à des fils au-dessus de la chaussée.

Figure 5.166: Marquage au sol éclairé par un matériau rétro-réfléchissant.



Source : Présentation de formation par John Barrell, © Fabian Marsh.

Il est rarement fourni de manière isolée, mais fait partie d'un réseau plus large afin de créer un niveau d'éclairage cohérent dans une zone plus vaste, généralement urbaine, ou dans un corridor routier.

De plus en plus, l'éclairage urbain est également installé dans des bornes de faible hauteur et au ras de la chaussée afin de réduire la pollution lumineuse.

De nombreuses lampes sont équipées de cellules photoélectriques sensibles à la lumière qui activent automatiquement la lampe en cas de besoin, lorsque la lumière ambiante est faible ou inexistante, par exemple au crépuscule, à l'aube ou lorsque les conditions météorologiques sont sombres. Dans les anciens systèmes d'éclairage, cette fonction pouvait être assurée à l'aide d'un cadran solaire.

De nombreux systèmes d'éclairage public sont raccordés sous terre au lieu d'être câblés d'un poteau électrique à l'autre.

L'éclairage public offre un certain nombre d'avantages importants. Il peut être utilisé pour promouvoir la sécurité dans les zones urbaines et pour améliorer la qualité de vie en prolongeant artificiellement les heures de lumière afin de permettre la réalisation d'activités.

L'éclairage public améliore également la sécurité des conducteurs, des cyclistes et des piétons.

Les lampes à incandescence étaient principalement utilisées pour l'éclairage public jusqu'à l'avènement des lampes à décharge à haute intensité. Ils étaient souvent utilisés dans des circuits en série à haute tension. Les circuits en série étaient populaires, car leur tension plus élevée produisait plus de lumière par watt consommé. En outre, avant l'invention des commandes photoélectriques, un seul interrupteur ou une seule horloge pouvait commander tous les éclairages d'un quartier entier.

Aujourd'hui, l'éclairage public existant utilise généralement des lampes à décharge à haute intensité. Les lampes à vapeur de sodium basse pression (LPS) sont devenues courantes après la Seconde Guerre mondiale en raison de leur faible consommation d'énergie et de leur longue durée de vie. Vers la fin du vingtième siècle, les lampes à sodium haute pression (HPS) ont été préférées. Ces lampes fournissent la plus grande quantité d'éclairage photopique (couleur) pour la plus petite consommation d'électricité.

Les nouvelles technologies d'éclairage public, telles que les DEL ou les lampes à induction, émettent une lumière blanche qui fournit des niveaux élevés de lumens scotopiques (de bas niveau), ce qui permet de remplacer les lampadaires existants par des lampadaires de plus faible puissance et de plus faibles lumens photopiques. Cependant, aucune spécification formelle n'a été rédigée concernant les ajustements photopiques ou scotopiques pour les différents types de sources lumineuses, ce qui incite de nombreuses municipalités et services de voirie à retarder la mise en œuvre de ces nouvelles technologies jusqu'à ce que les normes soient mises à jour.

Conséquences pour la sécurité

- Les principaux avantages de l'éclairage public sont la prévention des accidents et l'amélioration de la sécurité.¹²⁷
- Il a été démontré que les sources de lumière blanche doublent la vision périphérique du conducteur et améliorent son temps de réaction au freinage d'au moins 25 %, qu'elles permettent aux piétons de mieux détecter les risques de trébuchement sur la chaussée et qu'elles facilitent l'évaluation visuelle d'autres personnes associée aux jugements interpersonnels.¹²⁸ Des études comparant les lampes aux halogénures métalliques et les lampes au sodium haute pression ont montré qu'à des niveaux de lumière photopique égaux, une scène de rue éclairée la nuit par un système d'éclairage aux halogénures métalliques était perçue de manière fiable comme plus lumineuse et plus sûre que la même scène éclairée par un système d'éclairage au sodium haute pression.¹²⁹
- L'éclairage public représente un coût d'infrastructure important pour les PRITI, et la fiabilité de la maintenance et de l'alimentation électrique peut rendre leur fourniture moins efficace. Les progrès de l'énergie solaire augmentent la viabilité et l'acceptation de l'éclairage public en tant qu'amélioration sociale et de sécurité dans les communautés.
- Les poteaux des réverbères présentent également des dangers physiques. Les lampadaires constituent un risque de collision pour les automobilistes et les piétons.
- La plupart des informations que les conducteurs utilisent dans la circulation sont visuelles. Les conditions visuelles peuvent donc être très importantes pour la sécurité des déplacements.
- Dans l'obscurité, l'œil perçoit les contrastes, les détails et les mouvements dans une bien moindre mesure qu'à la lumière du jour. C'est l'une des raisons pour lesquelles le risque d'accident est plus élevé dans l'obscurité qu'en plein jour pour tous les usagers de la route.

¹²⁷ Rea, M. S., J. D. Bullough, C. R. Fay, J. A. Brons, J. Van Derlofske et E. T. Donnell. 2009. Review of the Safety Benefits and Other Effects of Roadway Lighting (rapport du National Cooperative Highway Research Program). Washington, DC: Transportation Research Board.

¹²⁸ Fotios S. et Cheal C. 2013. Using obstacle detection to identify appropriate illuminances for lighting in residential roads. *Lighting Research & Technology*, 45(3); 362–376.

¹²⁹ Fotios, S. A., et Cheal, C. 2007. Lighting for subsidiary streets: investigation of lamps of different SPD. Part 2—Brightness, *Lighting Research & Technology*, 39(3); 233–252.

- Des études ont montré que l'obscurité est à l'origine d'un grand nombre d'accidents et de décès, en particulier ceux impliquant des piétons ; les décès de piétons sont de 3 à 6,75 fois plus fréquents dans l'obscurité qu'à la lumière du jour.¹³⁰
- De nombreuses autorités locales (par exemple en Angleterre et au Pays de Galles) ont réduit l'éclairage public la nuit pour économiser de l'argent et réduire les émissions de carbone. Toutefois, les recherches n'ont pas permis d'établir de preuve statistique qu'une stratégie d'adaptation de l'éclairage public était associée à un changement dans les collisions nocturnes.¹³¹
- La perte de la vision nocturne due au réflexe d'accommodation des yeux des conducteurs est le plus grand danger pour les conducteurs en termes de risque de sécurité optique.
- Lorsque les conducteurs sortent d'une zone non éclairée pour entrer dans une zone de lumière provenant d'un lampadaire, leurs pupilles se contractent rapidement pour s'adapter à la lumière plus vive, mais lorsqu'ils quittent la zone de lumière, la dilatation de leurs pupilles pour s'adapter à la lumière plus faible est beaucoup plus lente, de sorte qu'ils conduisent avec une vision déficiente.
- Avec l'âge, la vitesse de récupération de l'œil est plus lente, de sorte que le temps de conduite et la distance à parcourir avec une vision déficiente augmentent.
- Les phares en approche sont plus visibles sur un fond noir que sur un fond gris. Le contraste permet de mieux percevoir le véhicule qui vient en sens inverse. L'éclairage

doit donc mettre en lumière efficacement la silhouette d'un véhicule ou d'un piéton en approche.

- Les vents violents ou l'usure accumulée du métal peuvent également faire basculer les lampadaires s'ils ne sont pas entretenus.
- De même, les lampadaires ne sont efficaces que lorsqu'ils fonctionnent. Un mauvais entretien ou une alimentation électrique insuffisante peuvent les rendre inefficaces et constituer un risque de collision.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- L'éclairage est plus approprié dans les rues urbaines, et les endroits clés comprennent les carrefours et les endroits où les piétons traversent.
- Le niveau d'éclairage doit être constant et l'entretien est primordial.
- L'éclairage doit fournir une surface de route uniformément éclairée sur laquelle les véhicules, les piétons ou d'autres objets sont vus comme des silhouettes (figure 5.167).
- La conception du système d'éclairage doit tenir compte des caractéristiques de réflexion de la surface de la route afin de fournir une qualité et une quantité d'éclairage optimales.
- Les surfaces de couleur claire offrent une meilleure vision des silhouettes que les surfaces sombres.

Figure 5.167: Éclairage d'un village : Inde.



Source : Banque mondiale.

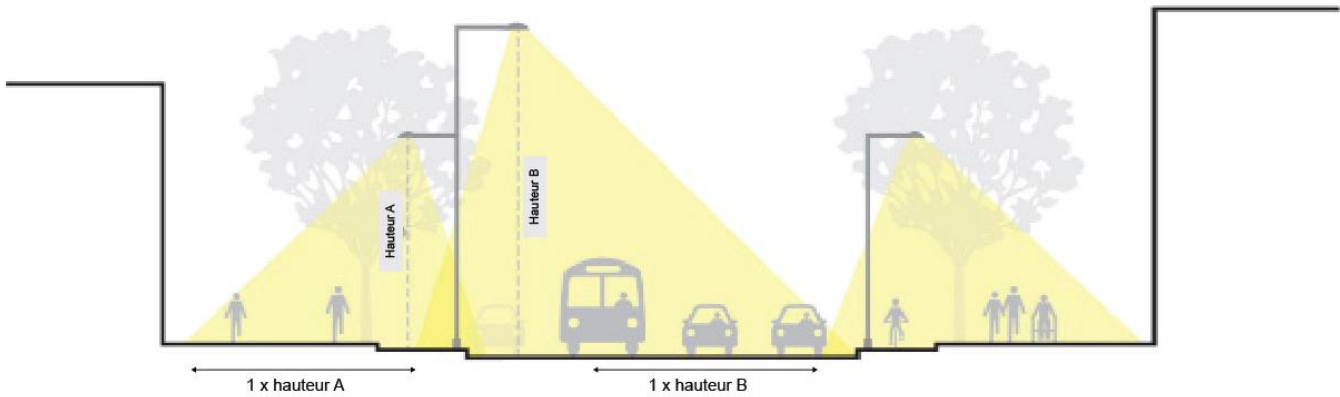
Figure 5.168: Éclairage public à énergie solaire,



Source : Banque mondiale.

¹³⁰ John M. Sullivan et Michael J. Flannagan. 2002. The role of ambient light level in fatal crashes: inferences from daylight saving time transitions. *Accident Analysis & Prevention* Volume 34, Édition 4, juillet 2002, pages 487 à 498.

¹³¹ Steinbach, R., Perkins, C. et Tompson, L. et al. 2015. L'effet de la réduction de l'éclairage public sur les accidents de la route et la criminalité en Angleterre et au Pays de Galles : analyse contrôlée de séries chronologiques interrompues. *J Epidemiol Community Health* 69 :1118-1124.



- Les systèmes d'éclairage peuvent être coûteux à installer et à maintenir. Les interruptions fréquentes de l'alimentation électrique peuvent également réduire l'efficacité. Les récentes avancées technologiques en matière de production d'énergie solaire rendent l'éclairage plus approprié pour les communautés isolées et les PRITI (figure 5.168).
- L'espacement entre les poteaux d'éclairage est généralement de 2,5 fois la hauteur de la source lumineuse. Une seule rangée de lampes peut suffire pour une rue étroite, mais plusieurs sources sont nécessaires pour les rues plus larges.
- Les lampadaires trop éloignés les uns des autres créent des zones d'obscurité et peuvent donner aux utilisateurs un sentiment d'insécurité, tout en affectant la perception de l'ombre et de la silhouette par le conducteur
- Les mâts d'éclairage rigides peuvent être redessinés pour offrir des poteaux et des mâts d'éclairage fragiles (cassables) plus tolérants, c'est-à-dire de type absorbant les chocs ou à base glissante (figures 5.169 et 5.170).



- Le risque de collision peut être réduit en éloignant les colonnes des zones de ruissellement ou en les concevant de manière à ce qu'elles se brisent en cas de choc (supports fragiles ou pliables), en les protégeant par des garde-corps ou en marquant les parties inférieures pour les rendre plus visibles, en particulier pour les piétons

Figure 5.169: Colonne d'éclairage à patins adaptée aux routes à grande vitesse avec peu d'activité piétonne et de stationnement.



Source : CAREC, 2018.

Figure 5.170: Colonnes d'éclairage à absorption d'impact adaptées aux environnements à faible vitesse, à forte activité piétonne et de stationnement.



Source : CAREC, 2018.

Pour en savoir plus

- FHWA. 2012. Lighting Handbook. https://safety.fhwa.dot.gov/roadway_dept/night_visib/lighting_handbook/.
- Queensland Department of Transport and Roads. 2016. Road Planning and Design Manual, 2nd edition, Volume 6—Lighting. <https://www.tmr.qld.gov.au/-/media/busind/techstdpubs/Road-planning-and-design/Road-Planning-and-Design-2nd-edition/RPDM2ndEdVolume6.pdf?la=en>.
- Transport Infrastructure Ireland (TII). 2018. Design of Road Lighting for the National Road Network.
- DN-LHT-03038. <https://www.tiipublications.ie/library/DN-LHT-03038-03.pdf>.
- Texas Department of Transport. 2018. Highway Illumination Manual. <http://onlinemanuals.txdot.gov/txdotmanuals/hwi/hwi.pdf>.

6. CARREFOURS

Un carrefour est un endroit du réseau routier où deux ou plusieurs routes ou rues se rencontrent ou se croisent. Elles peuvent être classées par :

- Nombre de routes qui se croisent (bras d'approche),
- Niveau (séparé ou au sol),
- Forme de contrôle du trafic (non contrôlé, avec ou sans signalisation), ou
- Disposition (en « T », en « Y », carrefour giratoire, surélevé).

Les carrefours à niveau séparé sont parfois appelées « échangeurs ».

Il est souvent difficile de déterminer le meilleur type de carrefour pour un lieu donné, en tenant compte de tous les facteurs pertinents et de plusieurs options possibles. Le choix d'un carrefour implique des considérations de sécurité et de performance opérationnelle, y compris la capacité, la compatibilité avec les traitements des carrefours adjacents, la topographie du site et d'autres facteurs (pour en savoir plus : Guide to Traffic Management, partie 6).

D'une manière générale, on peut s'attendre à ce que les normes de conduite et les comportements de conduite soient différents dans les pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure (PRITI), ce qui peut avoir pour conséquence que certains types de carrefours ne soient pas adaptés à leur utilisation dans ces pays.

Toutefois, du point de vue de la sécurité, certains types de carrefour sont beaucoup plus sûrs que d'autres. Cette section présente quelques principes généraux relatifs à la sécurité des carrefours afin de faciliter la sélection des types de carrefours du point de vue de la sécurité. Des informations plus détaillées sur chaque type de carrefour et d'autres considérations relatives aux carrefours sont fournies dans les sections suivantes.

Conséquences pour la sécurité

- Les besoins de sécurité de tous les usagers de la route, y compris les piétons, les cyclistes, les motocyclistes et les personnes à mobilité réduite, doivent être pris en compte, car ils peuvent constituer un facteur important dans le choix du traitement et du type de contrôle de la circulation adopté.
- La vitesse des véhicules dans un carrefour doit être gérée en toute sécurité. Des vitesses d'impact relatives faibles offrent un environnement plus sûr pour les manœuvres conflictuelles. Lorsque les collisions se produisent à des vitesses inférieures, les conséquences en termes de gravité ont tendance à être moindres. Les vitesses supérieures à 50 km/h pour les véhicules motorisés et à 30 km/h pour les usagers de la route non motorisés entraînent des conséquences de plus en plus graves (voir la section 3.1 sur la vitesse de conception). Des vitesses plus faibles permettent aux conducteurs de s'arrêter plus rapidement en cas de danger, de juger plus facilement de la vitesse des autres véhicules et donc de décider des intervalles appropriés dans le trafic, et d'accepter des intervalles plus petits, ce qui réduit les retards et augmente la capacité.
- Une modification de la pente aux abords du carrefour de plus de 3 % à moins de 3 % semble être associée à une réduction (marginale et significative) du nombre d'accidents corporels de 17 %, mais à une augmentation du nombre d'accidents avec dommages matériels uniquement.¹³²

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

Les principes de base d'une bonne conception des carrefours sont qu'elles doivent permettre le passage d'une route à l'autre ou le mouvement de transit sur la route principale avec un minimum de délai et un maximum de sécurité. Pour ce faire, l'aménagement et le fonctionnement du carrefour doivent être évidents et sans ambiguïté, avec une bonne visibilité entre les

¹³² Conference of European Directors of Roads. 2008. Best Practice for Cost-Effective Road Safety Infrastructure Investments.

- mouvements conflictuels. Ces objectifs doivent être atteints à un coût raisonnable, de sorte qu'il convient d'éviter de proposer des normes inutilement élevées ou inadéquates. Différents types de carrefours seront appropriés dans différentes circonstances, en fonction des flux de trafic, des vitesses et des limitations du site.
- Les carrefours doivent être aussi simples que possible et conçues pour guider les usagers en toute sécurité à travers les points de conflit.
- Les carrefours présentent un niveau de risque élevé en raison du nombre de points de conflit. Une stratégie de réduction des risques consiste à supprimer les carrefours inutiles, bien que cela nécessite l'existence d'options alternatives et sûres pour les usagers de la route.
- Les différents types d'aménagement des carrefours peuvent fournir une hiérarchie d'aménagements alternatifs correspondant à des niveaux croissants de flux de trafic :
 - Les carrefours sans priorité désignée ; c'est-à-dire les carrefours non contrôlés,
 - Carrefour à priorité simple ; contrôle du respect du stop ou du cédez-le-passage,
 - Carrefours prioritaires avec canalisation,
 - Les carrefours giratoires ou les carrefours contrôlés par des signaux, et
 - Les carrefours à niveau séparé.
- La planification du réseau routier doit être bien étudiée afin d'éviter la création de carrefours à bras multiples et de carrefours en biais. Des angles d'approche inappropriés masquent le triangle de vision du conducteur dans la zone de carrefour (figure 6.1). En outre, les angles d'impact doivent être aussi faibles que possible (c'est-à-dire aussi proches que possible du parallèle).
- Le risque de blessures graves dans un carrefour peut également être réduit en diminuant la vitesse, en réduisant le nombre de points de conflit, en séparant les usagers de la route et/ou en réduisant l'angle d'impact du véhicule.
- Les grands carrefours avec peu de canalisation ou de déviation peuvent créer de grands espaces ouverts non réglementés avec de multiples points de conflit et des vitesses élevées. Bien que les solutions soient spécifiques

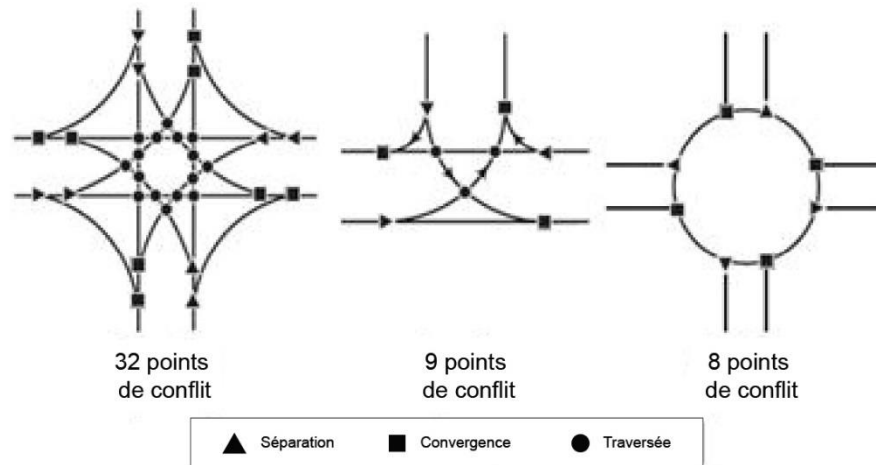
Figure 6.1: Carrefour en Y non contrôlée en Inde.



Source : IIT, 2019.

à chaque emplacement, le principe général de réduction de la vitesse et de gestion des points de conflit devrait être appliqué à toutes les conceptions de carrefours.

- Les points de conflit peuvent être réduits grâce à la conception géométrique, y compris la canalisation et la mise en place de carrefours giratoires, l'ajout de voies de décélération, le réalignement du carrefour, les interdictions de tourner et la réduction des voies de circulation. En général, le nombre de points de conflit dans les carrefours à quatre branches est beaucoup plus élevé que dans les carrefours en T. Cependant, le nombre de voies a également une grande influence sur le nombre de points de conflit. Les carrefours giratoires sont les carrefours à quatre branches qui présentent le moins de points de conflit (figure 6.2).
- La séparation du trafic aux carrefours est un autre moyen efficace d'améliorer la sécurité et peut également produire des avantages en termes de capacité de trafic. Les niveaux séparés (passages souterrains et supérieurs) constituent la forme de séparation la plus importante. Ils réduisent considérablement les risques de conflits entre véhicules, surtout lorsqu'ils sont bien conçus.
- D'autres stratégies visant à réduire les risques liés aux carrefours comprennent l'application de dispositifs de contrôle du trafic tels que les panneaux, les marquages et les feux de signalisation. Ces mesures ont l'avantage de réduire le risque d'accident, mais ne réduisent pas toujours la gravité des accidents. Du point de vue de la sécurité, il est souvent intéressant de combiner ces dispositifs avec d'autres mesures (telles que la réduction de la vitesse) pour obtenir des avantages significatifs en matière de sécurité.
- Le coût et les activités nécessaires pour la maintenance d'un carrefour doivent être pris en compte.

Figure 6.2: Points de conflit entre différents types de carrefours à une voie.

Source : © Union européenne, 2021.

Tableau 6. 1: Avantages et inconvénients des différentes formes de carrefours

Type de carrefour	Caractéristiques du trafic	Caractéristiques de sécurité principales	Prise en charge des mesures de sécurité
Priorité	Faibles débits. Peut entraîner des retards importants pour le trafic routier secondaire. Pas de retard par rapport à la route principale. La route principale a besoin d'une visibilité d'arrêt Distance.	Conflits aux passages à niveau retenus et problèmes de contrôle de la vitesse.	Canalisation Voies d'accès Voies de stockage Mouvements interdits Amélioration de l'adhérence Plate-forme surélevée Marquage anticipé
Carrefour giratoire	Débits faibles ou moyens. C'est une bonne chose pour les tourneurs qui doivent à la fois traverser et se fondre dans les flux de circulation. Retards minimes en cas de faible trafic (c'est-à-dire en dehors des heures de pointe). Ce n'est pas favorable à la sécurité des cyclistes et des autres véhicules lents en l'absence de dispositions adéquates (par exemple, séparation).	Bien que gourmandes en espace, les versions à voie unique sont celles qui se rapprochent le plus de la conformité à un système sûr pour les carrefours au niveau du sol. Supprime tous les conflits liés aux croisements de véhicules motorisés et les réduit à des angles faibles ou à des croisements ou des bifurcations. Environnement à vitesse relativement faible pour tous, bien qu'il y ait des défis pour les utilisateurs non motorisés, à moins que des aménagements hors route ne soient prévus dans des environnements à vitesse modérée ou élevée.	Approche évasée Amélioration de l'adhérence Marquage anticipé Plates-formes surélevées Aménagements hors route pour les cyclistes Points de passage bien définis pour les piétons et les cyclistes sur chaque bras de route
Feux de signalisation	Débits faibles ou moyens. Peut accueillir des flux importants de véhicules tournant en sens inverse en utilisant des signaux de filtrage et des canalisations. Nécessite moins d'espace qu'un carrefour giratoire. Retards relativement importants aux heures creuses. La maintenance et l'alimentation électrique peuvent poser des problèmes dans les PRITI.	Sépare tous les conflits par un contrôle du temps. Nécessite l'application ou le respect des règles par tous les usagers de la route. Principaux risques pour la circulation ou les usagers vulnérables en cas de non-conformité.	Voies d'accès à la canalisation Voies de stockage Mouvements interdits Radars de vitesse ou de feux rouges Amélioration de l'adhérence Panneaux activés par le véhicule Marquage anticipé
Niveaux séparés	Trafic dense. Retards minimes. Nécessite une grande surface. Coûteux.	Supprime tous les conflits liés aux croisements de véhicules et les réduit à des croisements ou des bifurcations.	Éclairage public Marquage anticipé Réduction et limites de vitesse

Pour en savoir plus

- Austroads. 2019. Guide to Traffic Management, partie 6.
- Austroads. 2016. Safe System Assessment Framework (Research Report AP-R509-16).

6.1. Carrefours non contrôlés et sans feux de signalisation (priorité)

Description générale

un carrefour non contrôlé est un carrefour contrôlé uniquement par les règles générales de la route (c'est-à-dire le code de la route), sans aucun dispositif de contrôle de la circulation tel que des panneaux, des marquages au sol, des voies supplémentaires ou des canalisations. Il s'agit de la forme la plus simple de carrefour prévue sur le réseau routier. Par exemple, aux États-Unis, « lorsque deux véhicules approchent ou entrent dans un carrefour depuis des routes différentes à peu près au même moment, le conducteur du véhicule de gauche doit céder le passage au véhicule de droite ». Les carrefours non contrôlés sont généralement limités aux routes à très faible trafic dans les zones rurales ou résidentielles¹³³.

Si des dispositifs de régulation du trafic sont en place, le carrefour peut être qualifié de carrefour sans signalisation ou de carrefour prioritaire. Les carrefours non signalisés peuvent également être subdivisés en deux catégories : celles où l'approche mineure doit céder le passage au trafic de la route principale et celles où le mouvement circulaire contrôle l'entrée du trafic en approche. Cette section ne prend en compte que les carrefours où aucun contrôle de la circulation n'est prévu.

Toutes les mesures de contrôle des conflits potentiels aux carrefours avec cédez-le-passage, y compris celles qui sont prises au moyen de panneaux réglementaires ou de marquages routiers, sont étayées par les règles routières pertinentes. Aux carrefours non contrôlés, seul le code de la route, qui diffère selon les pays et les régions, régit la circulation.

Toutefois, les carrefours avec cédez-le-passage sont encore souvent à l'origine d'une grande partie des retards sur le réseau, des conflits entre les véhicules et des conflits entre les véhicules et les autres usagers de la route (par exemple, les piétons).

Les carrefours avec cédez-le-passage sont adaptées aux

situations où il n'y a pas (ou peu) de problèmes opérationnels, tels que des retards ou des files d'attente excessifs ou des problèmes de sécurité (par exemple, faible trafic et routes à faible vitesse, etc.).

Conséquences pour la sécurité

- Les carrefours droits à quatre branches ont souvent un mauvais bilan en matière de sécurité parce que les véhicules circulant sur les routes secondaires ne s'arrêtent pas pour laisser passer les véhicules circulant sur les routes principales, soit par indiscipline du conducteur, soit parce que le conducteur n'est pas conscient de la présence d'une route principale devant lui.
- Les principaux types d'accidents aux carrefours non contrôlés et aux carrefours avec cédez-le-passage sont dus au fait que les véhicules ne s'arrêtent pas, ce qui implique une visibilité insuffisante ou une mauvaise connaissance du carrefour.
- Les accidents avec des véhicules entrants sur la route suggèrent des lignes de vue inadéquates le long de la route principale ou de la route secondaire.
- Dans la plupart des carrefours non signalisés, les routes secondaires n'offrent pas une distance de visibilité suffisante, principalement en raison d'empiètements.
- Des virages à mal maîtrisés et des mouvements de circulation chaotiques sont fréquemment observés à ces endroits. Ces carrefours mineurs et ces routes d'accès non traitées peuvent entraîner une circulation dangereuse des piétons et des véhicules lorsqu'ils sont présents.
- Lorsque les carrefours ne sont pas contrôlés, le manque de vigilance des conducteurs de la route principale à l'égard des véhicules qui tournent peut entraîner des collisions par l'arrière.
- Si la ligne de cédez-le-passage se trouve dans le creux au bord du dévers de la route principale, elle peut être invisible de loin sur la route secondaire.
- La vitesse des véhicules en approche est également une cause majeure de collision.

¹³³ Uniform Vehicle Code à l'adresse <https://iamtraffic.org/wp-content/uploads/2013/01/UVC2000.pdf>.

- Pour tous les types de carrefours non contrôlés ou avec cédez-le-passage, le problème du retard existe pour le trafic routier mineur. Si les délais sont excessifs, les conducteurs entrants peuvent prendre des risques démesurés pour entrer dans le flux principal ou le traverser.
- Les approches à voies multiples sont plus exigeantes pour le conducteur entrant et tendent à être des endroits plus dangereux.
- Les véhicules lents ou à l'arrêt qui s'engagent sur une route secondaire en traversant le flux de circulation d'une route principale sont souvent à l'origine d'accidents graves, en particulier la nuit.
- Dans les zones urbaines, des problèmes peuvent également être causés par des bordures de trottoir inadéquates qui ne donnent pas une image claire et ne prévoient que peu ou pas de dispositions pour les piétons.

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- En l'absence de dispositifs de contrôle (feux de signalisation et carrefours giratoires), il convient de désigner ou de clarifier les règles de priorité (par exemple, panneaux ou marquages stop ou cédez le passage) afin de donner une indication claire aux conducteurs (figure 6.3). Cela permettra également de séparer les mouvements conflictuels, en plus des règles générales applicables aux carrefours. Ces dispositifs empêchent ou découragent les mouvements de circulation inappropriés au carrefour.

Figure 6.3: Panneaux de cédez-le-passage utilisés pour contrôler les carrefours.



Source : National Cooperative Highway Research Program. 2015. Unsignalized Intersection Improvement Guide.

- Les îlots de circulation (par exemple, les îlots triangulaires de virage à gauche) et les terre-pleins centraux contribuent à délimiter le trafic et à le diriger vers la voie appropriée aux carrefours.
- Bien que le contrôle de la circulation par des agents de police (ou des personnes autorisées) soit souvent utilisé dans des circonstances exceptionnelles (heures de pointe, travaux routiers, incidents), il peut entraîner des retards supplémentaires au carrefour.
- Si aucun traitement de sécurité ne peut être mis en œuvre à un carrefour non contrôlé, il convient d'envisager de rediriger le trafic vers un carrefour de meilleure qualité.
- L'amélioration de la visibilité des carrefours et de la distance de visibilité des conducteurs aux carrefours doit être une priorité pour accroître la sensibilisation et la visibilité.
- Tous les obstacles situés dans les zones de carrefour doivent être éliminés (figure 6.4). Et tous les points de conflit inutiles doivent être éliminés. Par exemple, placer un espace d'attente au centre d'un carrefour est dangereux, car les passagers doivent s'engager dans le carrefour pour atteindre l'espace. De plus, l'espace d'attente sera un obstacle pour la visibilité des autres usagers de la route (figure 6.5).

Figure 6.4: Obstacles au triangle de visibilité sur une route secondaire à un carrefour en T.



Source : IIT, 2019.

Figure 6.5: Obstacle (espace d'attente d'un arrêt de bus) au centre d'un carrefour en Inde.



Source : IIT, 2019.

Figure 6.6: Panneaux d'arrêt avec mesures de ralentissement de la circulation à un carrefour sans feux de signalisation.



Source : PIARC. 2003. *Road Safety Manual*, First edition.

Figure 6.7: Restriction du virage à gauche par des panneaux et un terre-plein central à un carrefour en T sans feux de signalisation.



Source : Palo Alto online. Residents frustrated by repeated traffic violations in north Palo Alto, 5 juillet 2017. <https://www.paloaltoonline.com/news/2017/07/04/residents-frustrated-by-repeated-traffic-violations-in-north-palo-alto>.

Vous trouverez ci-dessous un résumé des traitements pour les carrefours non contrôlés ou non signalisés :

Traitement des voies d'accès et des routes secondaires

- Des panneaux d'avertissement avancés et des marquages routiers aideraient à indiquer l'existence d'un carrefour aux conducteurs.
- La mise en place de panneaux d'arrêt sur la route secondaire à l'approche d'un carrefour peut s'avérer efficace lorsque la distance de visibilité depuis le tronçon secondaire du carrefour est insuffisante et qu'il serait dangereux d'avancer sans s'arrêter. Mais la réaffectation d'une priorité peut ne pas être sûre si elle est placée à l'opposé des attentes du conducteur, et elle ne fonctionne pas en tant que traitement autonome.
- La décision de placer un panneau stop plutôt qu'un panneau cédez-le-passage est basée sur la distance de visibilité dont disposent les conducteurs à l'approche de la route secondaire, c'est-à-dire sur la question de savoir si la distance de visibilité depuis le tronçon secondaire du carrefour est insuffisante et s'il serait dangereux de continuer sans s'arrêter. Il a été constaté que l'utilisation de panneaux stop à des endroits où la distance de visibilité est suffisante n'apporte pas d'avantages supplémentaires en termes de sécurité et peut entraîner une perte de crédibilité, et leur efficacité sera compromise (voir la section 5.13 sur les panneaux).
- La gestion de la vitesse, également appelée « ralentissement de la circulation » (ralentisseurs, carrefours surélevés, etc.), est utilisée conjointement avec les panneaux stop ou cédez-le-passage aux abords des carrefours pour aider à contrôler la vitesse (voir la section 3.2 sur le respect de la vitesse et le ralentissement de la circulation ; la section 6.4 sur les carrefours surélevés ; la figure 6.6).
- La canalisation, une distance de visibilité adéquate ou une amélioration supplémentaire de la visibilité, y compris l'éclairage, devraient être disponibles à tous les carrefours mineurs.
- Prévoir des poteaux flexibles sur les routes principales et secondaires pour séparer le trafic en sens inverse. Cela peut réduire certains types d'accidents.

Mesures d'interdiction de mouvement

- L'interdiction de certains mouvements (par exemple, entrée ou sortie à gauche, pas de virage à gauche ou à droite, à temps plein ou à temps partiel, etc.) peut réduire

Figure 6.8: Panneau d'interdiction de tourner à gauche avec marquage d'arrêt à un carrefour sans feux de signalisation en Dominique.



Source : DAVIBES. 2016. New signs erected to ease traffic congestion, 22 mars. <https://www.dominicavibes.dm/news-196869/>.

certains types d'accidents liés à une distance de visibilité limitée et aux piétons qui impliquent des véhicules tournant à gauche ou à droite. Cette stratégie peut également réduire la fréquence et la gravité des accidents.

- Les interdictions peuvent être mises en œuvre au moyen de canalisations, de marquages et/ou de panneaux (figures 6.7 et 6.8). Les panneaux et/ou les marquages nécessiteront à eux seuls d'autres interventions physiques.
- Les interdictions peuvent être appropriées lorsqu'un virage est considéré comme présentant un risque élevé et que d'autres stratégies sont peu pratiques ou impossibles à mettre en œuvre. Cette stratégie peut être difficile à justifier dans un grand carrefour, à moins que les volumes de virage à gauche soient très faibles. Il est généralement préférable d'accueillir le mouvement de virage de manière plus sûre à l'endroit où le conducteur souhaite tourner plutôt que de déplacer le virage à un autre endroit.
- Une voie auxiliaire offre une séparation pour la manœuvre d'un véhicule et est généralement utilisée dans les zones rurales où la circulation est rapide et peu dense et où le volume et la lenteur de la manœuvre du trafic dans le virage sont suffisants pour créer un conflit avec le trafic suivant.
- Une voie de virage à gauche ou à droite permet au trafic de décélérer et de tourner sans affecter le trafic de transit (figure 6.9). Une voie auxiliaire de virage à droite en conduite à gauche (voie auxiliaire de virage à gauche en

Figure 6.9: Bifurcation séparée à proximité d'un carrefour sans feux de signalisation.



Source : AfDB, 2014.

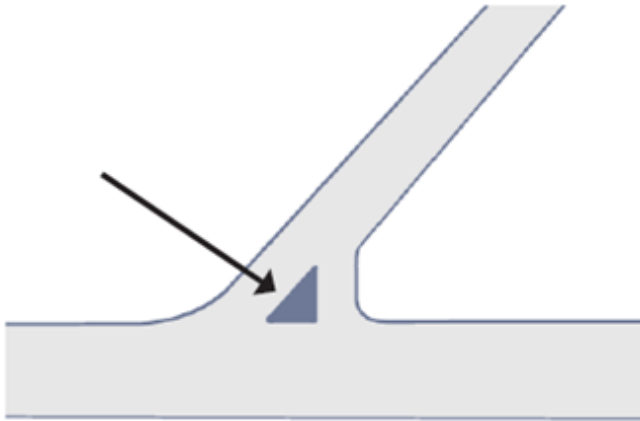
conduite à droite) sans canalisation pourrait ne pas être efficace (voir la section 6.5 sur la voie de virage et la canalisation).

Voici le résumé des traitements pour les carrefours en Y (asymétriques).

- La vitesse des véhicules qui s'approchent du carrefour est influencée par les angles d'approche. Les angles d'approche ont également une incidence sur la distance de croisement (empreinte) des véhicules au carrefour. En outre, des angles d'approche inappropriés peuvent améliorer le triangle de vision du conducteur dans la zone de carrefour. Les angles d'approche doivent être déterminés de manière à respecter les principes suivants :¹³⁴
1. Limiter la vitesse de rotation autour d'un angle obtus. Les carrefours à angle aigu réduisent la visibilité des automobilistes, tandis que les carrefours à angle obtus permettent des virages à grande vitesse. Un traitement à angle droit peut servir de contrôle de la vitesse et améliorer le triangle de visibilité du conducteur (figure 6.11).
 2. Réduire la distance de croisement (empreinte) des véhicules. Les carrefours compacts réduisent l'exposition des piétons, ralentissent le trafic à proximité des points de conflit et augmentent la visibilité pour tous les usagers. Les carrefours à angle aigu ou obtus créent des passages inutilement longs pour les piétons.

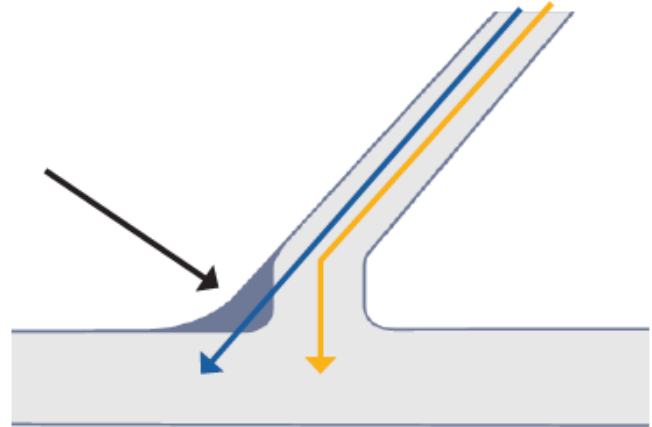
¹³⁴ National Association of City Transportation Officials (NACTO). 2019. Urban Street Design Guide. Accessible à l'adresse <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide>.

Figure 6.10: Îlot séparant la circulation au centre d'une route secondaire.



Source : NACTO

Figure 6.11: Bordure de déviation à l'entrée du carrefour depuis la route secondaire



Source : NACTO

3. Séparer les flux de véhicules pour réduire les conflits (figure 6.10).
- Un angle inférieur à 90 degrés donne le moins d'accidents avec dommages humains et l'inverse semble être le cas pour les accidents avec dommages matériels uniquement. Le réaménagement d'un carrefour dont l'angle est inférieur à 90° en un angle de 90° peut augmenter de 80 % le nombre d'accidents corporels. Au contraire, le réaménagement d'une jonction d'un angle de 90° en un angle de plus de 90° semble entraîner une réduction de 50 % des accidents corporels.¹³⁵
 - Le réaligement d'un carrefour peut avoir une incidence sur la distance de visibilité et/ou l'angle d'impact pour les véhicules impliqués dans des collisions au carrefour. Le réaligement d'un carrefour est souvent trop coûteux. Il est préférable de bien concevoir le carrefour avant de la construire plutôt que de la reconstruire. La reconstruction d'un carrefour doit être mise en œuvre lorsque la distance de visibilité et les contre-mesures adéquates ne sont pas disponibles.

Pour en savoir plus

- FHWA. 2009. Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD). À lire : chapitre 2b, Regulatory signs, barricades, and gates.
- Austroads Guide to Traffic Management Part 10: Traffic Control and Communication Devices (Austroads 2019e).
- Institute of Transportation Engineers (ITE). 2015. Unsignalized Intersection Improvement Guide. <https://toolkits.ite.org/uiig/>.

¹³⁵ Conference of European Directors of Roads. 2008. Best Practice for Cost-Effective Road Safety Infrastructure Investments.

Études de cas/exemples

Figure 6.12: Traitement des routes secondaires ; ralentissement de la circulation et panneaux d'avertissement en Inde du point de vue d'une route secondaire.



Fuente: IIT, 2019.

Figure 6.13: Traitement des routes secondaires ; ralentissement de la circulation et panneaux d'avertissement en Inde du point de vue d'une route principale.



Fuente: IIT, 2019.

Figure 6.14: Mise en place de mesures d'interdiction de circuler et de protection des piétons en Colombie.

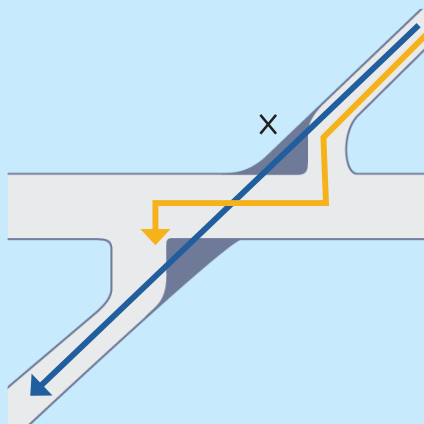


Source : IRAP.

Encadré 6.1 : Carrefours décalés

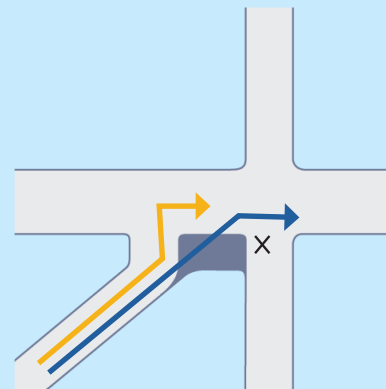
4. Le décalage des carrefours (conversion en deux mini-carrefours) permet de réduire le nombre de points de conflit. Ce traitement peut être appliqué aux carrefours à plus de cinq bras et aux carrefours à quatre bras, dont les distances de visibilité sont obscures ou qui ont fait l'objet d'accidents (figures 6.15 et 6.16). Le décalage doit être suffisamment éloigné pour fonctionner comme deux, ou suffisamment proche pour fonctionner comme un seul.
5. Les carrefours décalés peuvent entraîner une réduction de 33 % des accidents corporels lorsque le trafic sur la route secondaire est normal ou intense. L'effet de décalage des carrefours dépend fortement de la proportion du trafic initial sur la route secondaire.
6. Une étude australienne indique que les carrefours en T décalés devraient présenter les caractéristiques suivantes :
 - i. Faibles volumes de trafic sur les routes principales (moins de 2 000 véhicules par jour),
 - ii. Aucune courbure significative des abords de la route secondaire,
 - iii. Type de décalage gauche-droite (conduite à gauche de la route), distance de décalage supérieure à 15 mètres,
 - iv. Panneaux d'avertissement sur la route principale, et
 - v. Non mis en œuvre à l'exploitation à pleine capacité ou proche de la capacité au cours de sa durée de vie théorique.

Figure 6.15: Conversion d'un carrefour à quatre branches en deux carrefours en T (carrefours décalés droite-gauche). Source : NACTO.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Figure 6.16: Conversion de carrefours en T décalés en un carrefour à quatre branches + trois branches (réalignement des approches du carrefour pour réduire ou éliminer l'obliquité). Source : NACTO.



Source : © Alina F. Burlacu/GRSF/Banque mondiale.

Les carrefours décalés droite-gauche (avec conduite à gauche dans le véhicule) induisent des temps de parcours plus courts que les carrefours décalés gauche-droite et les carrefours à quatre branches, dans la mesure où les conducteurs venant de la route secondaire ne doivent céder le passage qu'à un seul flux de circulation, c'est-à-dire lorsqu'ils tournent à droite sur la route principale puis à gauche sur la route secondaire. Toutefois, ce traitement peut être préjudiciable au fonctionnement du trafic lorsque le décalage entre les deux carrefours en T est insuffisant pour permettre au trafic de la route principale de réagir face aux véhicules plus lents.

6.2. Carrefours à feux de signalisation

Description générale

un carrefour contrôlé par des feux de signalisation limite les mouvements de circulation conflictuels dans le temps ou dans l'espace en n'autorisant que les mouvements non conflictuels à traverser le carrefour en même temps. Elle contrôle la circulation des véhicules et des piétons et attribue le droit de passage aux différents mouvements de circulation pour une durée donnée, ce qui affecte profondément la fluidité du trafic.

Les feux de signalisation (figure 6.17) fonctionnent sur la base de phases et d'étapes. Une phase de signalisation est un flux de mouvement unique auquel est attribué un signal vert pour circuler ou un signal rouge pour s'arrêter. Plusieurs phases peuvent être combinées pour créer une seule étape de signal. Une fois que toutes les phases ont été autorisées, un cycle complet de circulation dans le carrefour est achevé.

Remarque : dans certains pays (comme l'Australie et la Nouvelle-Zélande), la terminologie est différente : une « phase » est une période pendant laquelle un ensemble de mouvements de circulation reçoit un signal vert. Cela équivaut au concept d' « étape » au Royaume-Uni et aux États-Unis. Une sortie électrique du contrôleur de feux de signalisation est appelée « groupe de signaux », ce qui est similaire au concept britannique et américain d' « étape ».

Le signal orange est utilisé pour avertir les conducteurs de l'approche d'un changement de statut entre l'arrêt et l'autorisation de passer. La période orange est nécessaire pour permettre aux conducteurs de réagir et de dégager les mouvements conflictuels dans le carrefour. Les points de conflit potentiels varient en fonction de l'approche et de la taille du carrefour.

La séquence standard des changements de signaux est la suivante :

Rouge : arrêt

Rouge et orange : se préparer à partir (utilisé seulement dans un petit nombre de pays, y compris le Royaume-Uni)

Vert : démarrer

Orange : se préparer à s'arrêter

Rouge : arrêt

Figure 6.17: Feu de signalisation pour les véhicules en Inde.



Source : *Times of India*. 2016. Cops want 19 more road signals in city. 20 juillet 2016. <https://timesofindia.indiatimes.com/city/nashik/Cops-want-19-more-road-signals-in-city/articleshow/53296116.cms>.

Les feux de signalisation servent principalement à contrôler le trafic motorisé, mais ils peuvent inclure des phases spécifiques pour les déplacements des piétons et des cyclistes. Le temps accordé à chaque flux de mouvement pour avancer pendant le cycle de signalisation est déterminé par la connaissance du volume de trafic qui doit négocier le carrefour au cours d'une période donnée. Des heures différentes peuvent être données pour différents moments de la journée ou jours de la semaine. Les signaux peuvent fonctionner selon une durée fixe pour chaque phase, étape ou cycle ou selon un « actionnement par le véhicule » où les durées minimales et maximales pour chaque phase peuvent être modifiées en fonction du nombre de véhicules devant négocier le carrefour. Ce système fonctionne généralement en période de faible débit, les plans à heures fixes étant utilisés lors des périodes de forte demande. Les paramètres opérationnels des signaux sont revus et mis à jour (si nécessaire) régulièrement (lorsque l'ingénierie détermine que des changements significatifs sont intervenus dans le flux de trafic et/ou l'utilisation des sols) afin de maximiser la capacité du signal de contrôle du trafic à satisfaire les demandes de trafic actuelles.

Lorsqu'un corridor routier comprend deux ou plusieurs carrefours à feux de signalisation, celles-ci peuvent être coordonnées afin d'obtenir des gains d'efficacité plus importants. Dans certains pays, ce principe peut être utilisé pour créer une « vague verte » afin de donner la priorité à un mouvement particulier.

Conséquences pour la sécurité

- Des séquences appropriées de contrôle des phases peuvent réduire la fréquence et la gravité de certains types d'accidents, en particulier les collisions à angle droit, en les séparant des autres mouvements conflictuels, y compris les piétons.
- La pratique courante qui consiste à autoriser les virages à gauche dans un carrefour contrôlé par des feux peut néanmoins entraîner un risque de collision important pour les piétons qui traversent le carrefour.
- Les feux de signalisation sont parfois installés à des endroits où ils ne sont pas nécessaires, ce qui nuit à la sécurité et à l'efficacité de la circulation des véhicules, des bicyclettes et des piétons. La décision de mettre en place des feux de signalisation à un carrefour doit être prise après avoir examiné les autres solutions possibles (par exemple, installation d'un signal lumineux pour piétons, d'un carrefour giratoire, etc.). (Voir la section 6 sur la sélection des carrefours.)

L'utilisation inappropriée ou injustifiée du contrôle des feux de signalisation peut avoir pour conséquence :

- i. Retard excessif,
 - ii. Désobéissance aux indications des feux,
 - iii. Utilisation accrue d'itinéraires inadéquats pour éviter les feux de signalisation, et
 - iv. Augmentation de la fréquence des collisions (par exemple, collisions par l'arrière).
- En outre, la possibilité d'une augmentation des retards, du bruit et des émissions doit être prise en compte.
 - Il est important de comprendre que l'installation de feux de contrôle de la circulation n'est pas un « remède universel » et qu'il peut subsister plusieurs risques (par exemple, en cas de non-conformité, de manque d'entretien, d'accidents résiduels, etc.).
 - Les obstructions visuelles des feux de signalisation et autres dispositifs de contrôle de la circulation doivent être supprimées. Les feux de signalisation sont souvent cachés par les branches d'un arbre ou d'autres obstacles. Cela rend les déplacements en ville particulièrement difficiles et potentiellement mortels.

- Figure 6.18 : Feu de signalisation caché par les branches d'un arbre à Gurudwara, Inde ; l'arbre/les branches doivent être enlevés ou le feu doit être remplacé.
- Source : Hindustan Times.¹³⁶
- L'utilisation du sol, le trafic et d'autres changements peuvent rendre obsolètes ou inefficaces les feux de contrôle du trafic existants. Les exemples sont l'invisibilité nuisible et les branches d'arbres qui recouvrent les feux de signalisation (figure 6.18).
- Le mauvais état des feux rend leur détection plus difficile pour les usagers de la route et peut induire en erreur. Le dysfonctionnement des feux en cas de catastrophe ou de difficultés techniques peut entraîner des problèmes (par exemple, des pannes d'électricité), car les feux ont besoin d'électricité.

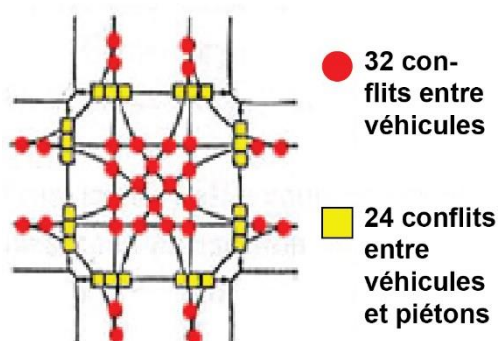
Figure 6.18: Feu de signalisation caché par les branches d'un arbre à Gurudwara, Inde ; l'arbre/les branches doivent être enlevés ou le feu doit être remplacé.



Source : *Hindustan Times*. 2019. Blocked vision, technical glitches of traffic lights in Gurugram fixed, 5 avril 2019. <https://www.hindustantimes.com/gurgaon/blocked-vision-technical-glitches-of-traffic-lights-in-gurugram-fixed/story-3RV1I9hYpCjho4LCxXqO7I.html>

¹³⁶ Hindustan Times. 2019. Blocked vision, technical glitches of traffic lights in Gurugram fixed, 5 avril 2019. <https://www.hindustantimes.com/gurgaon/blocked-vision-technical-glitches-of-traffic-lights-in-gurugram-fixed/story-3RV1I9hYpCjho4LCxXqO7I.html>.

Figure 6.19: Tous les points de conflit à un carrefour à quatre branches.



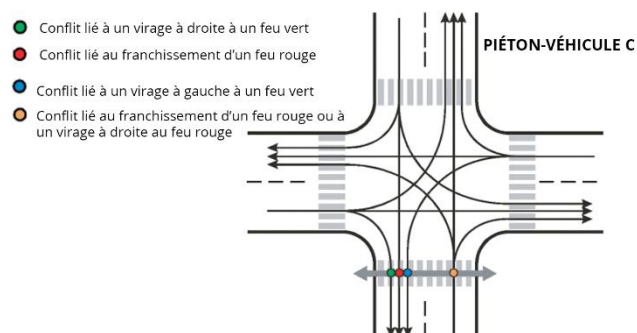
Source : Eugene R. 2019. *Operational Performance of Kansas Roundabouts: Phase II*. https://www.researchgate.net/figure/ Figure-Showing-the-Reduction-of-Conflict-Points-in-a-Roundabout-When-Compared-to-a_fig5_267548567.

- La réduction des points de conflit entre véhicules et entre véhicules et piétons peut réduire certains types d'accidents. Par exemple, il y a 32 points de conflit entre véhicules et 24 points de conflit entre véhicules et piétons dans un carrefour typique à quatre branches (figure 6.19). Pendant une phase de feu vert pour les piétons et les véhicules venant de la même direction, le nombre de points de conflit entre véhicules et piétons peut être réduit à un seul si le feu rouge pour le virage du côté le plus proche est autorisé (figure 6.20). Sans cela, TOUS les conflits peuvent être éliminés.
- La mise en place de feux de signalisation aux carrefours non signalisés a permis de réduire de 30 % le nombre d'accidents corporels, selon une étude récente menée dans plusieurs pays.¹³⁷

Bonnes pratiques de conception/traitements/solutions

- Les carrefours à feux simplifient la prise de décision des conducteurs en évitant les mouvements conflictuels, comme l'illustre la figure 6.21. La possibilité d'une mauvaise appréciation de la sécurité de l'entrée ou de la traversée d'un carrefour par les véhicules circulant dans une rue secondaire et par les piétons traversant la rue peut être réduite.

Figure 6.20: Exemple de points de conflit en phase spécifique à un carrefour à quatre branches.



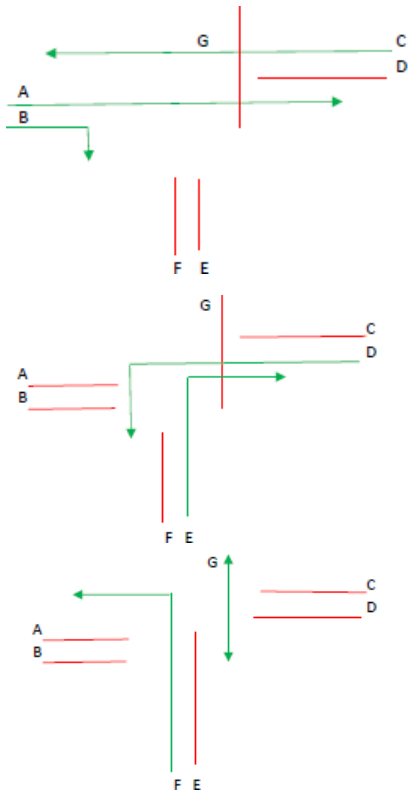
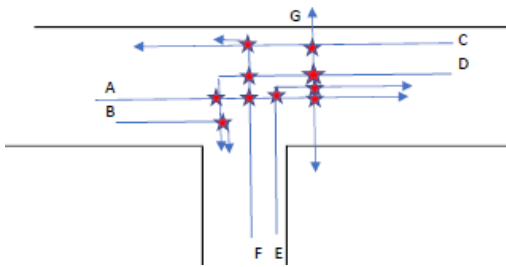
Source : National Cooperative Highway Research Program. 2010. Report 672 Roundabouts: An Informational Guide, Second edition.

- L'implantation des feux de signalisation doit tenir compte de la visibilité des signaux pour les usagers de la route. Le triangle de vision du conducteur et la hauteur des feux doivent également être pris en compte.
- La tête du signal doit également être visible à un endroit du passage pour piétons qui permet au piéton d'avoir une vue dégagée avant et pendant la traversée.
- Les piétons doivent avoir suffisamment de temps pour se rendre (à une vitesse de 3,5 pieds/s, soit 0,9 m/s) au centre de la voie la plus éloignée avant que les véhicules qui traversent ne passent au vert.¹³⁸
- La maintenance périodique et la cohérence de l'alimentation électrique des signaux de contrôle du trafic sont un problème récurrent dans les PRITI (figures 6.22 et 6.23). Lorsque les feux de signalisation ne fonctionnent pas, leurs avantages sont moins efficaces, même si les véhicules ont tendance à emprunter ces carrefours avec plus de prudence en raison de l'absence de certitude. L'introduction de l'énergie solaire offre une option réaliste et abordable à une alimentation électrique fixe.
- Les usagers de la route doivent faire l'objet d'une attention particulière en cas de dysfonctionnement ou d'occultation des feux.
- Une autre disposition des feux peut réduire tous les conflits potentiels, mais il faut veiller à maintenir des temps de cycle qui n'entraînent pas l'impatience des usagers. Des temps de cycle compris entre 90 secondes et 2 minutes sont préférables.

¹³⁷ Turner, B., Steinmetz, L., Lim, A et Walsh, K. 2012. Effectiveness of Road Safety Engineering Treatments. APR422-12. Projet Austroads n° : ST1571.

¹³⁸ FHWA. 2019. The Manual on Uniform Traffic Control Devices.

Figure 6.21: Cycle de feu de signalisation typique pour les étapes ci-dessus.



- Un simple carrefour non contrôlé à trois branches avec un passage pour piétons sur la voie de sortie comporte 10 points de passage potentiels.
- Tous ces problèmes peuvent être résolus par des contrôles de la signalisation en empêchant les mouvements conflictuels de fonctionner ensemble.
- En identifiant chaque flux de circulation séparément, il est possible d'envisager d'autres étapes, en fonction des volumes de trafic

Première étape

- Le vert indique les flux de mouvement en cours, et le rouge indique les flux de mouvement stationnaires.
- La période orange entre les phases 1 et 2 est nécessaire pour permettre aux phases A à D de franchir le point de conflit, étant donné qu'il s'agit de la plus longue.

Deuxième étape

- Le vert indique les flux de mouvement en cours, et le rouge indique les flux de mouvement qui sont stationnaires.
- La période orange entre les phases 2 et 3 est nécessaire pour permettre aux phases D à F de franchir le point de conflit.

Troisième étape

- Le vert indique les flux de mouvement en cours, et le rouge indique les flux de mouvement qui sont stationnaires.
- La période orange entre les phases 2 et 3 est nécessaire pour permettre aux phases A à G de franchir le point de conflit.



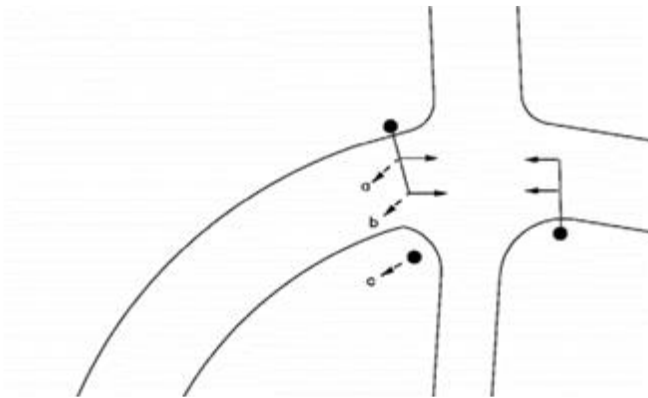
Remarque : la phase piétonne G nécessite la fermeture de la période verte avant la phase F pour permettre aux piétons de dégager la chaussée avant le début de la phase conflictuelle A.

Figure 6.22: Carrefour aux feux non fonctionnels en Inde



Source : Hindustan Times. 2016. Des feux de signalisation défectueux menacent les usagers de la ville, le 4 décembre 2016. <https://www.hindustantimes.com/noida/faulty-traffic-signals-pose-threat-to-city-commuters/story-ldSjGgtFlx-ievzSZ0MCp9M.html>.

Figure 6.24: Feu de signalisation supplémentaire dans les courbes horizontales.



Source : FHWA, 2019.

Panneaux et marquages

- Des feux de signalisation supplémentaires montés sur poteau peuvent être placés du côté proche des carrefours, en particulier lorsque la distance de visibilité pose problème, par exemple aux abords des carrefours dans les courbes (figures 6.24 et 6.25).
- Dans les PRITI, les automobilistes peuvent s'agglutiner et s'arrêter trop près des passages pour piétons. Les lignes d'arrêt avancées aux feux de signalisation permettent d'améliorer la visibilité des piétons pour les automobilistes. Les automobilistes peuvent ignorer la ligne si elle est placée trop en amont des passages pour piétons (figure 6.26).

Figure 6.23: Feu de signalisation dysfonctionnel à Dwarka, Inde.



Source : Times of India. 2019. Hidden traffic signals dangerous for drivers, 25 avril 2019. <https://timesofindia.indiatimes.com/citizen-reporter/stories/hiddentrafficsignalsdangerousfordrivers/articleshow/69034168.cms>.

Figure 6.25: Feu de signalisation supplémentaire pour un carrefour au milieu de la courbe inversée.



Source : Institute of Transportation Engineers. 2003. Making Intersections Safer: A Toolbox of Engineering Countermeasures to Reduce Red-Light Running.

- Aux carrefours à feux de signalisation, les lignes d'arrêt avancées en retrait du passage pour piétons aux feux de signalisation doivent être placées loin du passage pour piétons afin de permettre aux piétons et aux conducteurs de se voir clairement et d'avoir plus de temps pour évaluer leurs intentions respectives.¹³⁹
- Aux grands carrefours à feux de signalisation avec plusieurs voies de virage, le maintien du marquage des voies à travers le carrefour peut fournir des directives supplémentaires aux automobilistes et réduire l'occurrence des collisions latérales.

¹³⁹ Pedestrian Safety Guide and Countermeasure Selection System. 2019. <http://www.pedbikesafe.org/pedsafe/index.cfm>.

Figure 6.26: Pratique dangereuse à la ligne d'arrêt (franchissement de la ligne d'arrêt).



Source : © Bahnfreund.

Dispositifs alternatifs

- Il existe plusieurs autres types de dispositifs de contrôle de la circulation qui sont similaires aux feux de signalisation contrôlant les carrefours. Une balise pour piétons (hybride) en est un exemple (figure 6.27). Les balises pour piétons se distinguent des signaux pour piétons par le fait qu'elles restent dans l'obscurité au-dessus des voies de circulation, à moins qu'un piéton n'appuie sur le bouton de passage, mais elles permettent d'obtenir un taux de conformité plus élevé en ce qui concerne l'arrêt de la circulation, de sorte que les piétons peuvent traverser de manière beaucoup plus sûre. Les premières études ont montré que les conducteurs respectaient le dispositif jusqu'à 97 %, ce qui est un meilleur taux de respect par les conducteurs que d'autres dispositifs aux passages pour piétons.²⁴²
- Une nouvelle innovation a été proposée : des signaux sur un passage pour piétons (figure 6.28). Cette nouvelle forme de feu de signalisation est adaptée à la largeur de la route juste avant le passage zébré. Les feux sont encastrés dans la route comme des panneaux routiers réfléchissants et sont étanches. Ce signal fonctionne comme un signal complémentaire des feux traditionnels au carrefour lorsque la visibilité des feux de signalisation traditionnels est obstruée par de gros véhicules, les conditions météorologiques, etc. L'efficacité de ce nouveau type de feux de signalisation a été étudiée à New

Figure 6.27: Balise pour piétons (hybride) aux États-Unis.



Source : Federal Highway Administration. 2014. Pedestrian Hybrid Beacon Guide—Recommendations and Case Study. https://safety.fhwa.dot.gov/pedbike/tools_solve/fhwasa14014/.

Figure 6.28: Dispositifs d'aide à la traversée des piétons (feux sur le passage piétons) à Hyderabad, Inde.



Source : Anjani Kumar @CPHydCity/Hyderabad

York, et l'équipe chargée de l'étude a conclu que les feux de signalisation sur la chaussée impliquent qu'ils sont plus perceptibles, mais pas impossibles à manquer.¹⁴⁰

Stratégie de phasage des feux et de gestion des voies

- La répartition des phases de mouvement au cours du cycle de signalisation est déterminée par l'analyse des différents flux de demande des usagers de la route à travers le carrefour à différents moments de la journée. L'attribution des phases aux différentes étapes est ensuite déterminée pour minimiser le retard global et maximiser

¹⁴⁰ John F. 2003. Evaluation of In-Pavement, Flashing Warning Lights on Pedestrian Crosswalk Safety.

Études de cas/exemples

Figure 6.29: Flux de trafic à un carrefour sans feux de signalisation et sans passage piétons à Phnom Penh, Cambodge.



Source : © Google Earth.

la sécurité de fonctionnement. Les horaires de ces étapes sont ensuite développés par le biais de diverses simulations afin de déterminer les horaires optimaux pour un schéma de circulation donné.

- Des stratégies de phasage des feux de signalisation peuvent être adoptées. Le nombre de phases de régulation du trafic, leur type et leur durée sont des facteurs importants pour la sécurité routière dans les carrefours à feux de signalisation. Les phases doivent être définies en se référant aux consultations et aux manuels appropriés (par exemple, FHWA, MUTCD)
- Des feux pour les bus, les trams et les cyclistes peuvent également être envisagés pour la sécurité des usagers de la route.
- Les phases se déroulant séparément sur la même voie d'accès nécessitent une tête de signal distincte pour contrôler le mouvement et une gestion appropriée de la voie.

Figure 6.30: Flux de trafic ordonné à un carrefour à feux avec réduction des points de conflit.



Source : © Google Earth.

- La gestion des voies est assurée par l'utilisation de dispositifs de contrôle du trafic qui peuvent inclure des dispositifs physiques, des panneaux statiques et des marquages routiers, des panneaux et des marquages électroniques, ou des chaussées colorées. La partie 10 du Guide à la gestion du trafic (Austroads 2019) et le MUTCD fournissent des conseils sur les dispositifs de contrôle du trafic et leur utilisation.

Les figures 6.29 et 6.30 illustrent les points de conflit entre véhicules et piétons dans les carrefours sans feux de signalisation et les carrefours à feux de signalisation.

Pour en savoir plus

- FHWA. 2019. The Manual on Uniform Traffic Control Devices.
- FHWA. 2013. Signalized Intersections Informational Guide, Second edition. <https://safety.fhwa.dot.gov/carrefour/signal/fhwasa13027.pdf>.
- Austroads. 2019. Guide to Traffic Management Part 6: Intersections, Interchanges and Crossings.

6.3. Carrefours giratoires

Description générale

- Un carrefour giratoire est une forme de canalisation de carrefour dans laquelle le trafic circule dans une seule direction autour d'un îlot central circulaire, et tout le trafic entrant doit céder le passage au trafic circulant sur le carrefour giratoire.
- Les avantages sont notamment la réduction des points de conflit et donc de la charge de travail des conducteurs associée aux carrefours perpendiculaires et, en fonction des flux de trafic, la réduction des files d'attente associées aux feux de signalisation.
- Ils permettent de faire demi-tour dans le flux normal du trafic, ce qui n'est souvent pas possible dans d'autres types de carrefours.
- Lors de l'entrée, les véhicules ne doivent céder le passage qu'à des vitesses relativement faibles et ne s'arrêtent pas toujours complètement. Par conséquent, en conservant une partie de leur élan, le carrefour fonctionne plus efficacement du point de vue de la fluidité du trafic. En outre, les moteurs nécessiteront moins d'efforts pour retrouver leur vitesse initiale, ce qui se traduira par une réduction des émissions. Des recherches ont également montré que le trafic lent dans les carrefours giratoires fait moins de bruit que le trafic qui doit s'arrêter et démarrer, accélérer et freiner.
- À l'origine, les carrefours giratoires (parfois appelés giratoires) étaient conçus avec des approches à la fois évasées et tangentielles. Cela a favorisé des manœuvres de fabrication à grande vitesse et parfois complexes.
- Les carrefours giratoires modernes ont été normalisés pour la première fois au milieu des années 1960, avec des îlots centraux de plus petit diamètre, des espaces de circulation et des approches plus lentes. Ils se sont révélés être une amélioration significative par rapport aux anciens giratoires.
- Étant donné que les vitesses d'entrée dans les carrefours giratoires doivent être faibles, ces derniers sont physiquement conçus pour gérer les vitesses du trafic approchant et entrant dans le carrefour, afin d'améliorer la sécurité. Les approches sont conçues de manière à ce

que les véhicules qui s'engagent sur la chaussée circulante avec un rayon de passage limité ralentissent naturellement.¹⁴¹

- Les carrefours giratoires peuvent être utilisés de manière satisfaisante dans un large éventail de sites de carrefour, y compris :
 - i. Routes urbaines locales et collectrices ;
 - ii. Routes principales dans les zones urbaines ;
 - iii. Routes rurales ;
 - iv. Bretelles d'accès aux autoroutes ; et
 - v. En tant que traitement de séparation de niveau dans un échangeur.

Conséquences pour la sécurité

- Les carrefours giratoires offrent un aménagement physique très lisible et cohérent des carrefours, qui limite de manière prévisible et constante les risques de conflits liés à la vitesse et à l'angle d'impact.
- La transformation de la méthode de contrôle d'un arrêt à double sens ou d'un signal de contrôle de la circulation en un carrefour giratoire à une ou deux voies est efficace pour réduire le pourcentage de morts et de blessés aux carrefours.
- Pour les carrefours giratoires à une voie bien conçus, en particulier, le taux d'accidents entre les piétons et les véhicules peut être réduit de manière significative.
- En limitant la courbe de la voie d'insertion et en introduisant ainsi une déflexion horizontale aux abords, les vitesses d'entrée des véhicules peuvent être réduites, ce qui donne aux conducteurs plus de temps pour réagir aux conflits potentiels et réduit la gravité des accidents.
- Il y a moins de points de conflit entre véhicules et moins de risques de conflits graves, tels que les accidents avec angle droit, les virages à gauche et les collisions frontales, en raison de la conception du carrefour giratoire et du fait que tous les conducteurs vont dans la même direction.
- En général, la différence de vitesse entre les véhicules qui traversent le carrefour est réduite, ce qui diminue la gravité de l'accident.

¹⁴¹ Austroads Guide to Road Design Part 4B. 2015. section 4.5.

- Ils sont efficaces en cas de coupure de courant. Contrairement aux carrefours à feux traditionnels, qui doivent être traités comme des arrêts à sens unique ou qui nécessitent l'intervention de la police pour diriger la circulation, les carrefours giratoires continuent à fonctionner normalement.
- En ce qui concerne les risques de sécurité restants, les facteurs suivants peuvent être pris en compte ; cependant, en raison de l'environnement à faible vitesse, la gravité des blessures causées par les accidents dans les carrefours giratoires, même pour les usagers vulnérables, tend à être faible :

1. **Incompréhension des règles et tous les conducteurs ne connaissent pas les règles des carrefours giratoires.** Dans certains pays/régions où les carrefours giratoires sont nouveaux, les gens n'ont jamais appris les règles (céder le passage et sens de la conduite) des carrefours giratoires. Ils peuvent se tromper de direction et ne pas céder le passage à d'autres véhicules ;¹⁴²
2. **Mauvaise appréciation des intervalles** par les conducteurs qui s'engagent dans un flux de circulation à grande vitesse, en particulier lorsqu'il y a plusieurs voies ;
3. **Les collisions par l'arrière** entre les véhicules qui attendent de rejoindre le carrefour giratoire peuvent augmenter (bien qu'elles soient de loin préférables aux collisions à grande vitesse observées dans d'autres types de carrefours) ;
4. **Collision latérale** lors d'un changement de voie ou d'une entrée/sortie du carrefour giratoire central ;
5. **Collision entre piétons et cyclistes** en ne cédant pas le passage aux piétons et aux cyclistes ; et
6. **Les îlots peints (ou de faible hauteur) deviennent moins visibles et négligeables pour les conducteurs.** Les conducteurs peuvent ne pas comprendre ce qui ressemble à des cercles peints sur des carrefours censés être des carrefours giratoires.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Les carrefours giratoires bien conçus permettent de contrôler l'angle d'entrée du trafic dans le carrefour et la vitesse des véhicules qui y pénètrent et le traversent en

créant une courbure géométrique avec des îlots centraux et des îlots de séparation. Cette caractéristique permet de créer des carrefours plus sûrs que les autres carrefours à niveau, où les véhicules peuvent s'engager dans le carrefour sans ralentir leur vitesse.

- Les conceptions les plus récentes peuvent également inclure des plates-formes surélevées ou des ralentisseurs à l'approche, qui ont été utilisés avec succès pour ralentir la vitesse d'approche des véhicules, réduire la nécessité d'une courbure géométrique, et parfois réduire de manière significative les coûts de construction.
- L'espace de circulation à l'intérieur du carrefour giratoire est souvent limité à une seule voie ; cependant, plusieurs voies peuvent être utilisées à condition qu'elles soient suffisamment larges pour permettre au flux de circulation intérieur de manœuvrer vers la voie extérieure pour sortir. Toutefois, il convient de noter qu'à mesure que la largeur des voies de circulation augmente, la capacité à contrôler la vitesse à l'entrée et à la sortie du giratoire devient moins prévisible.
- L'un des éléments clés de la sécurité d'un carrefour giratoire est de s'assurer que l'îlot central ou les îlots séparateurs offrent une déviation suffisante par rapport au mouvement en ligne droite pour permettre aux véhicules de traverser le carrefour à faible vitesse (voir la figure 6.31 pour un exemple d'un carrefour giratoire mal conçu). Lorsqu'une déflexion suffisante n'est pas possible (par exemple en raison de restrictions de l'espace routier), des plates-formes surélevées ont été utilisées avec succès.

Figure 6.31: Conception dangereuse d'un carrefour giratoire en Roumanie, où la route principale n'a pas de déviation.



Source : Google Street View.

¹⁴² Bhutanese. <https://thebhutanese.bt/virtual-roundabouts-remain-ignored-by-motorists/>. Consulté le 13/11/2019.

Figure 6.32: Véhicule ignorant un carrefour giratoire plat en Croatie



Source : Novilist.hr

Figure 6.34: Carrefour giratoire avec un îlot central trop petit en Inde.



Source : © Google Earth.

- Avec les îlots séparateurs, les piétons ne doivent traverser qu'un seul sens de circulation à la fois au niveau d'un carrefour giratoire et doivent faire face à des véhicules plus lents en raison des îlots séparateurs.
- Les îlots plats/de faible hauteur (c'est-à-dire le marquage) peuvent ne pas fonctionner (figure 6.32). Les îlots centraux et les îlots de séparation doivent être physiquement surélevés pour assurer la lisibilité.
- La décoration et la végétation des îlots centraux et des îlots séparateurs ne doivent pas obstruer la distance de visibilité du conducteur sur le trafic en approche ou en circulation (figure 6.33). Toutefois, elle doit être suffisamment haute pour obstruer la vue directe de la route et concentrer l'attention des conducteurs sur le carrefour giratoire.
- L'îlot central et les îlots séparateurs doivent être suffisamment grands pour obliger les véhicules en approche à réduire leur vitesse pour s'engager dans le

Figure 6.33: Au Bhoutan, un carrefour giratoire décoré masque la vue des conducteurs



Source : The Travel Magazine.

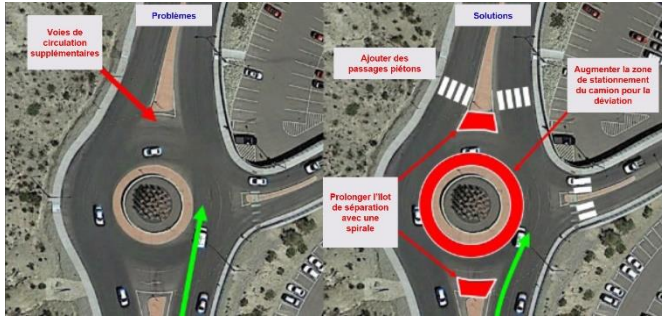
Figure 6.35: Emplacement et taille inappropriés des carrefours giratoires au Bhoutan.



Source : Kuensel.

- 'carrefour. Les îlots centraux et les îlots séparateurs trop petits ne permettent pas de réduire la vitesse des véhicules qui s'approchent en traversant le carrefour, car il n'est pas nécessaire de tourner le long de l'îlot central (figures 6.34 et 6.35). Cela va à l'encontre de l'objectif d'un carrefour giratoire.
- Un facteur clé pour déterminer la taille d'un carrefour giratoire, à la fois l'îlot central et la largeur de la chaussée circulante, est la négociation en toute sécurité du véhicule de conception pour tous les mouvements. Par exemple, lors de la conception pour le passage en toute sécurité d'un semi-remorque, lorsque le rayon de l'îlot central diminue, la largeur de circulation doit augmenter pour permettre au véhicule de contourner l'îlot. Cet effet dépend des dimensions du véhicule et du point d'articulation. Comme cela peut entraîner une déflexion moindre et donc des vitesses de négociation plus élevées, il peut être préférable d'aménager un parking légèrement surélevé ou une zone de roulement sur l'îlot central. Avec

Figure 6.36: Ajustement du diamètre et de la longueur des îlots dans un carrefour giratoire.



Source : Gus S. 2018. Are Multilane Roundabouts a Safe and Effective Intersection Treatment, 2018 ITE Joint Western & Texas District Annual Meeting.

https://www.westernite.org/annualmeetings/18_Keystone/Presentations/3B/3B.Randy%20Johnson.Multi-lane%20Roundabouts_Johnson-Berger-Sanchez.pdf. Consulté le 14/11/2019.

Figure 6.37: Parking de camions correctement conçu pour être utilisé uniquement par des camions à carrosserie circulaire étroite en Afrique du Sud.



Source : Southern African Transport Conference 2017.

Figure 6.38: Le parking de camions ne répond pas à l'objectif de la conception en Afrique du Sud (parking trop haut pour les gros camions et trop bas pour empêcher les voitures de circuler).



Source : Southern African Transport Conference 2017.

un bord vertical bas (50 mm), cette caractéristique permet aux grands véhicules de négocier en toute sécurité tout en fournissant une « cible » plus étroite pour les petits véhicules et en maintenant la prévisibilité.

- Une aire de stationnement pour camions peut être aménagée dans les carrefours giratoires pour accueillir les gros véhicules tout en minimisant les autres dimensions du carrefour (voir les figures 6.36 à 6.38). Une aire de stationnement pour camions fournit une zone pavée supplémentaire pour permettre le dépassement des grands semi-remorques sur l'îlot central sans compromettre la déflexion pour les véhicules plus petits. Aux carrefours giratoires qui ne disposent pas d'aires de stationnement pour les camions, les voies de circulation deviennent trop larges pour accueillir des véhicules de plus grande taille. Cela peut entraîner une utilisation inappropriée des voies. Ces carrefours giratoires sont

caractérisés par une vitesse plus élevée des véhicules dans le carrefour.

- Les ralentisseurs et les plates-formes peuvent être utilisés pour réduire la vitesse, en particulier lorsque la déviation à l'approche n'est pas suffisante.
- Des aménagements pour les piétons et les cyclistes peuvent être inclus dans la conception du carrefour (voir les chapitres précédents à ce sujet).
- Une éducation peut être nécessaire pour s'assurer que les usagers de la route savent comment conduire dans les carrefours giratoires, en particulier lors de leur mise en service, et pour assurer le respect de la réglementation. Un petit îlot central et un manque de longueur des îlots séparateurs formeront également des voies de circulation supplémentaires

Figure 6.39: Carrefour giratoire (rotatif) dont l'alignement et la largeur des voies ne sont pas corrects, créant ainsi des voies supplémentaires en Serbie.



Source : The Miner (CC BY-SA 3.0).

Figure 6.41: Mini-carrefour giratoire avec poteau d'affichage à Zagreb, en Croatie.



Source : © Admiral Norton.

- Les voies de circulation doivent avoir une largeur appropriée. Parfois, les lignes des voies des carrefours giratoires sont absentes (figure 6.39). Les véhicules qui s'approchent ne suivent pas les trajectoires qu'ils devraient emprunter dans le carrefour, ce qui provoque des collisions entre véhicules. Les limites des voies doivent être définies en fonction des routes en approche. Cela peut également inciter les véhicules à tourner le long de l'îlot central de manière appropriée et à réduire leur vitesse.
- Dans les environnements urbains contraignants où la vitesse est faible, les mini-carrefours giratoires ; qui ne comportent pas d'îlot physique et seulement un marquage routier circulaire peint : peuvent être efficaces si le trafic est réduit et la vitesse bien contrôlée. La

Figure 6.40: Mini-carrefour giratoire (Wetherby, Angleterre).



Source : © John Barrell

déviation au carrefour est assurée par les règles de circulation et les alignements d'approche qui exigent que le marquage central soit passé du côté opposé.

- Les mini-carrefours giratoires (figures 6.40 et 6.41) peuvent constituer une solution optimale à un problème de sécurité ou d'exploitation dans un carrefour existant avec arrêt ou signalisation, lorsque l'emprise n'est pas suffisante pour installer un carrefour giratoire standard. Les mini-carrefours giratoires se caractérisent par un petit diamètre et des îlots (îlots centraux et îlots séparateurs) principalement traversables (cercle peint ou dôme bas) et offrent la plupart des avantages des carrefours giratoires normaux avec l'avantage supplémentaire d'une empreinte au sol plus petite.¹⁴³ Les mini-carrefours giratoires ne devraient être installés que sur les routes à faible vitesse et à faible trafic, car ils n'ont pas de fonction coercitive physique pour ralentir et courber les véhicules qui traversent le carrefour.
- Il est très important de mettre en place une signalisation claire et cohérente sur l'ensemble du réseau pour indiquer la présence d'un carrefour giratoire. Les différences dans l'utilisation des panneaux et marquages (figure 6.42) reflètent soit le manque de connaissances, soit le manque d'attention aux détails, soit l'absence de directives claires pour la mise en œuvre des panneaux de signalisation routiers. De même, la variation des marquages routiers est également à l'origine des mauvais comportements des conducteurs.
- Les performances de certains carrefours giratoires

¹⁴³ FHWA. 2010. Mini-carrefours giratoires.

Figure 6.42: Panneau de bonne qualité pour les carrefours giratoires, mais la variation du panneau dans le même pays perturbe les conducteurs en Afrique du Sud.



Source : Southern African Transport Conference 2017.

encombrés peuvent être améliorées par la régulation des feux de signalisation en équilibrant les flux d'entrée et/ou en assurant un flux continu de trafic sur la chaussée circulante afin d'éviter les longues files d'attente qui entraînent des retards importants et qui bloquent le retour aux carrefours précédents. Les feux sont capables de maintenir un flux de circulation fluide et donc d'équilibrer et d'améliorer la capacité du carrefour giratoire.¹⁴⁴

- Le nombre de piétons (et de cyclistes) peut augmenter les risques d'accident et les retards parce que le trafic est régi par le principe du cédez-le-passage dans un carrefour giratoire, en particulier aux carrefours où le nombre de

piétons est faible. L'aménagement de points de passage et d'itinéraires spécifiques autour du carrefour, séparés du trafic motorisé, peut améliorer la sécurité des piétons et des cyclistes dans les carrefours giratoires (voir la section 4 sur les usagers vulnérables).

- Les règles de circulation et la conception des carrefours giratoires doivent être coordonnées avec les autres modes de transport afin d'éviter d'augmenter les risques d'accident sur les artères dotées de bandes cyclables et de voies réservées aux transports publics (voir la section 4.5 sur les transports publics).

¹⁴⁴ Department of Transport UL. 2009. Carrefours giratoires contrôlés par des feux.

Études de cas/exemples

Les figures 6.43 à 6.47 montrent des exemples de carrefours giratoires dans différents contextes.

Figure 6.43: Carrefour giratoire permettant aux véhicules de plus grande taille de monter sur une partie de l'îlot central (les mêmes conditions que pour les mini-carrefours giratoires s'appliquent).



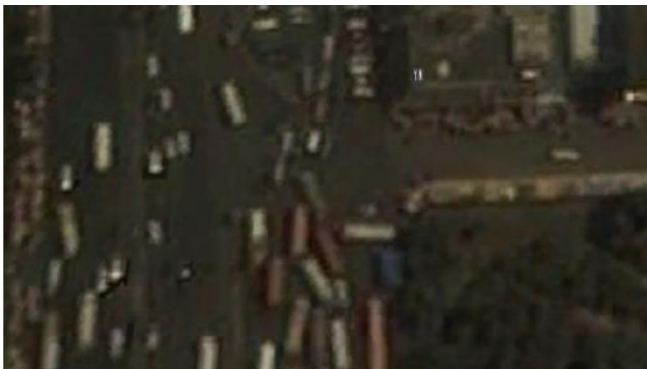
Source : Imagic (CC BY-SA 2.0).

Figure 6.44: Carrefour giratoire avec rails de tramway en Pologne.



Source : © Google Earth.

Figure 6.45: Transformation d'un carrefour incontrôlé en carrefour giratoire aux Philippines.



Source : © Google Earth, Top Gear Philippines.



Figure 6.46: Exemple de carrefour giratoire à faible coût en Argentine



Source : Municipalité de Chivilcoy @MuniChivilcoy

Pour en savoir plus

7. FHWA. 2009. *The Manual on Uniform Traffic Control Devices*. À lire : chapitre 2B, Regulatory signs, barricades, and gates ; chapitre 3C, Roundabout markings.
8. FHWA. 2010. *Carrefours giratoires : An Informational Guide, Second Edition* (NCHRP Report 672). https://www.virginiadot.org/business/resources/NCHRP_Report_672_Roundabout_Informational_Guide_2nd_Edition2010.pdf.
- Tomaž T. 2016. Comparative Analysis of Four New Alternative Types of Roundabouts: "Turbo," "Flower," "Target," and "Four-Flyover" Roundabout, 60(1), pp. 51–60.
- Austrods. 2018. *Towards Safe System Infrastructure A Compendium of Current Knowledge*, rapport de recherche AP-R560-18. À lire : chapitre 5, Harm minimization at intersections.
- FHWA. 2007. Roundabouts in the United States (Rapport NCHRP 572). <https://nacto.org/docs/usdg/nchrprpt572.pdf>.
- Conférence des directeurs européens des routes. 2008. *Meilleures pratiques pour des investissements rentables dans les infrastructures de sécurité routière*. À lire : chapitre 3, Review of road safety investment et chapitre 5, In-depth analysis of most promising road safety investments.

Figure 6.47: Exemple de mini-carrefour giratoire avec réflexion en Italie.



Source : © Mad Vinyl.

- FHWA. 2010. Mini-Roundabouts. <https://www.fhwa.dot.gov/publications/research/safety/00067/00067.pdf>.
- Department of Transport UL. 2009. Signal Controlled Roundabouts. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/876622/ltm-1-09_Signal_controlled_roundabouts.pdf.
- FHWA. 2010. *Highway Capacity Manual 2010 (HCM2010)*. À lire : chapitre 4, Unsignalized intersection.
- FHWA. 2014. *Kansas Roundabout Guide, Second Edition (A Companion to NCHRP Report 672)*. https://www.ksdot.org/Assets/wwwksdotorg/bureaus/burtrafficeng/Roundabouts/Roundabout_Guide/KansasRoundaboutGuideSecondEdition.pdf.
- Abishai P. 2005. *Evaluation of Roundabouts versus Signalized and Unsignalized Intersections in Delaware*. <https://cpb-us-w2.wpmucdn.com/sites.udel.edu/dist/1/1139/files/2013/10/Rpt.-179-Roundabouts-Final-11329b7.pdf>.
- NCHRP. 2020. Rapport 672 sur les carrefours giratoires : un guide informel, deuxième édition. <http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/webinars/RoundaboutsPresentations.pdf>

6.4. Carrefours surélevés

Description générale

Un carrefour surélevé est un traitement de gestion de la vitesse et est conçu pour réduire ou renforcer la vitesse des véhicules approchant d'un carrefour en surélevant l'ensemble du carrefour au niveau du trottoir ou à un niveau similaire. Les zones plates surélevées couvrent l'ensemble des carrefours, avec des rampes sur tous les abords et souvent des briques ou d'autres matériaux texturés sur la section plate et les rampes. Les véhicules qui traversent un carrefour surélevé doivent monter à l'approche et descendre à la sortie du carrefour.

Elles sont parfois appelées carrefours surélevés, ralentisseurs de carrefour ou plateaux et sont similaires aux ralentisseurs et autres éléments verticaux de contrôle de la vitesse. Elles incitent à ralentir et encouragent les automobilistes à céder le passage aux piétons au niveau du passage pour piétons. Comme la chaussée est élevée au niveau du trottoir, il n'est généralement pas nécessaire d'identifier des emplacements spécifiques pour les passages pour piétons, et ces aménagements conviennent aux routes à faible vitesse et à faible débit.

Conséquences pour la sécurité

- Les recherches ont montré que les mesures de ralentissement de la circulation les plus efficaces impliquent des changements verticaux de la chaussée, tels que les ralentisseurs, les coussins berlinois et les tables de vitesse (traitement des passerelles).¹⁴⁵
- Comme les ralentisseurs, les carrefours surélevés permettent de créer un passage sûr à vitesse réduite et encouragent les véhicules à céder le passage aux piétons au niveau du passage pour piétons (voir la section 3.2 sur le respect de la vitesse et le ralentissement de la circulation).
- Les carrefours surélevés peuvent généralement réduire la vitesse des véhicules en approche de moins de 10 %.¹⁴⁶ Ils sont donc plus fiables pour souligner ou renforcer une limite que pour réduire la vitesse.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Les carrefours surélevés (voir figures 6.48 à 6.51) sont plus appropriés pour les chaussées non séparées, les sites à faible emprise au sol, où l'on s'attend à des mouvements piétonniers importants, ou lorsque les piétons ont une plus grande priorité. Toutefois, il n'est pas recommandé d'installer des plates-formes d'approche ou des ralentisseurs sur une chaussée à voies séparées, car les conducteurs risquent de se rabattre sur la voie opposée pour les éviter, à moins qu'ils ne s'étendent sur toute la largeur de la chaussée.
- Les carrefours surélevés ont été mis en place dans la plupart des carrefours mineurs, mais n'ont pas été largement mis en œuvre sur les artères ou aux carrefours où la vitesse est plus élevée.
- La construction de carrefours surélevés doit être évitée sur les sites présentant des courbes horizontales ou verticales notables susceptibles d'entraver la visibilité des carrefours surélevés et de la signalisation associée, ainsi qu'en cas de restriction de la hauteur libre.
- Les rampes surélevées doivent être orientées perpendiculairement au sens de la circulation afin que les deux roues avant d'un véhicule commencent à s'élever ou à s'abaisser simultanément sur les rampes. Dans le cas contraire, les véhicules peuvent franchir les rampes avec des roues situées à des niveaux différents, ce qui peut entraîner une instabilité et affecter la capacité du conducteur à conduire le véhicule en toute sécurité. Ce problème est particulièrement préoccupant pour les véhicules à deux roues qui tournent dans les virages
- Les carrefours surélevés doivent adopter un profil plat et leurs rampes d'accès et de sortie doivent également être plates et avoir la même inclinaison.
- La section plate (c'est-à-dire le plateau) d'un carrefour surélevé doit avoir un minimum de 6 mètres de largeur de chaussée pour permettre le stationnement d'un véhicule de tourisme standard, y compris lorsqu'il est utilisé comme passage pour piétons. Lorsqu'il s'agit de rehausser un carrefour entier, cette largeur s'étend jusqu'à l'empreinte du carrefour.
- .

¹⁴⁵ FHWA. 1998. Synthesis of Safety Research Related to Speed and Speed Management.

¹⁴⁶ Institute of Transport Engineering. 2019. Traffic calming measures. <https://www.ite.org/technical-resources/traffic-calming/traffic-calming-measures/>.

Figure 6.48: Carrefour surélevé à Bogota pour donner la priorité aux piétons sur une artère.



Source : © Ben Welle/WRI.

Figure 6.50: Carrefour surélevé avec différents types de chaussée.



Source : Université Northeastern

- La hauteur souhaitable de la plate-forme d'un carrefour surélevé est de 100 mm, mais une hauteur de 75 mm peut être envisagée lorsque les contraintes du site et la composition du trafic suggèrent qu'un profil de hauteur inférieure est approprié (par exemple, routes à fort trafic de camions ou d'autobus). Les rampes d'une hauteur inférieure à 75 mm sont beaucoup moins efficaces pour réduire les vitesses et ne doivent pas être envisagées. Pour les environnements à faible vitesse (inférieure à 50 km/h) et à faible volume de trafic, une hauteur de 150 mm peut être utilisée ; toutefois, les plates-formes d'une hauteur supérieure à 100 mm peuvent endommager les véhicules à plancher bas et ne sont pas recommandées sur les routes artérielles¹⁴⁷ (voir la section 5.5 sur le tracé vertical).

Figure 6.49: Carrefour surélevé avec chaussée colorée.



Source : NACTO.

Figure 6.51: Séparer les points de conflit par étapes.



Source : Université Northeastern

- Les rampes de départ doivent être conçues comme une sortie en douceur d'un carrefour surélevé. Sur la base des essais réalisés à Victoria, une pente de 1:35 est considérée comme appropriée pour la rampe de départ. Des pentes plus douces peuvent également être envisagées.
- L'inclinaison de la rampe doit être ajustée pour obtenir un changement de niveau équivalent lors de la construction de rampes de carrefour surélevé sur une pente ascendante ou descendante.
- Outre les coûts de construction, les impacts potentiels sur les services et le drainage doivent être pris en compte (voir section 5.11 sur le drainage).

¹⁴⁷ Vicroads. 2019. Road design notes: Raised Safety Platforms (RSPs).

- Les rampes surélevées ne doivent pas être placées dans des endroits où il est nécessaire ou fréquent de changer de voie (par exemple, au niveau ou au-delà des panneaux de signalisation). Lorsqu'elles sont installées sur des voies de virage, les rampes surélevées doivent être placées à un endroit qui permette d'amorcer ou de terminer un virage avant de franchir la rampe.
 1. Pour éviter que les conducteurs n'interprètent mal l'endroit où ils doivent s'arrêter avant d'entrer dans un carrefour surélevé, les lignes d'arrêt doivent être situées soit :
 2. Avant le début de la rampe de carrefour surélevé (de préférence), ou
- Sur le quai, avant le début de la rampe de départ (pour les quais) ou du passage pour piétons (pour les carrefours surélevés). Une distance minimale de 7 mètres est requise entre le début du plateau de la plate-forme ou la base de la pente de la plate-forme et la ligne d'arrêt, afin de garantir qu'un véhicule de tourisme standard puisse être stocké confortablement avant la ligne d'arrêt. De même, lorsque le pourcentage de véhicules lourds empruntant la route est élevé, il faut envisager de placer les rampes d'accès à une longueur équivalente à celle du véhicule à stabilité critique avant le point de virage.

Véhicules plus grands

Les points suivants sont à prendre en considération pour les véhicules de plus grande taille, y compris les autobus, les véhicules d'urgence, etc. :

- Emplacement et orientation des rampes d'approche et de départ afin d'éviter l'instabilité critique des véhicules ;
- Hauteur maximale du carrefour surélevé pour éviter l'instabilité critique des véhicules ;
- Des déficiences opérationnelles et des retards potentiels dus à l'accélération et à la décélération plus faibles des véhicules lourds ; et

Les conséquences potentielles de l'utilisation par les conducteurs de gros véhicules d'itinéraires alternatifs (par exemple, les rues locales) pour éviter le carrefour surélevé.

Marquage et signalisation

- Tous les carrefours surélevés doivent comporter des panneaux d'avertissement (figures 6.52 et 6.53) indiquant la vitesse recommandée en fonction de la vitesse de sécurité (figure 6.54).
- En cas de problèmes de stabilité du véhicule, il convient d'envisager l'installation de panneaux d'avertissement indiquant une vitesse conseillée de basculement pour les camions (figure 6.55).
- L'introduction de carrefours surélevés peut atténuer la différence entre l'espace routier et l'espace piétonnier, en particulier lorsque les plates-formes proposées sont au même niveau que les terrains adjacents. Une délimitation supplémentaire, telle qu'un marquage de la chaussée de couleur contrastée et/ou un marquage blanc en bordure de trottoir, peut être envisagée pour améliorer la visibilité du carrefour surélevé (figures 6.56 à 6.58). Ces améliorations visuelles des carrefours peuvent également aider les conducteurs à reconnaître les carrefours.

Figure 6.52: Carrefour surélevé avec un panneau stop.



Source : © Ville d'Albuquerque.

Figure 6.53: Carrefour surélevé avec un panneau indiquant un passage pour piétons.



Source : © Ville d'Albuquerque.

Figure 6.54: Panneaux d'avertissement indiquant la vitesse recommandée.



Source : Vicroads.

Figure 6.55: Panneaux d'avertissement de basculement de camion avec vitesse conseillée.



Source : Vicroads.

Figure 6.57: Carrefour surélevé et colorée avec marquage au sol.



Source : Vicroads.

Mesures pour les routes à grande vitesse

Pour obtenir une réduction appropriée de la vitesse des véhicules approchant d'un carrefour sur une route à grande vitesse (supérieur ou égale à 80 km/h), il n'est pas pratique d'utiliser uniquement des carrefours surélevés. Par conséquent, il convient d'envisager l'adoption de traitements de soutien tels que, mais sans s'y limiter, les suivants :

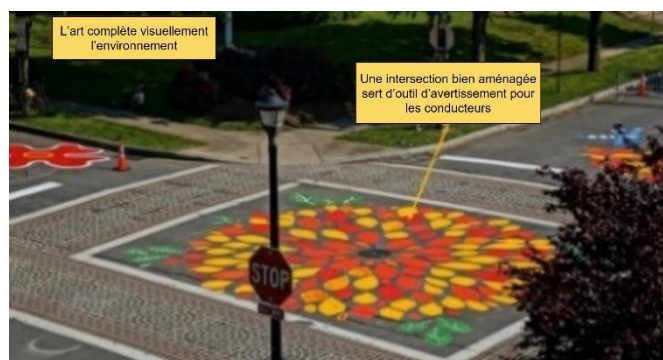
- Réduction de la vitesse par étapes (par exemple, plusieurs plates-formes avec des profils de rampe appropriés) ;
- Réduction permanente de la limite de vitesse (soutenue par d'autres traitements, notamment des plates-formes et des radars, le cas échéant) ;
- Panneaux d'avertissement supplémentaires (par exemple, panneaux d'avertissement clignotants) ;

Figure 6.56: Carrefour marqué à faible coût.



Source : NACTO.

Figure 6.58: Carrefour marqué par un dessin artistique pour attirer l'attention des conducteurs.



Source : Université Northeastern.

- Marquage au sol pour le ralentissement de la vitesse ;
- Des bandes rugueuses transversales ; et
- Points de passage.

Pour en savoir plus

- Austroads. 2019. Guide to Traffic Management, partie 6.
- NACTO. 2019. Urban Street Design Guide. <https://nacto.org/publication/urban-street-design-guide/>.
- FHWA. 2017. Traffic Calming ePrimer. https://safety.fhwa.dot.gov/speedmgt/traffic_calm.cfm.
- Vicroads. 2019. Road Design Note: Raised Safety Platforms. <https://www.vicroads.vic.gov.au/-/media/files/technical-documents-new/road-design-notes/road-design-note-0307--raised-safety-platforms-rsp-version-c2.ashx>

6.5. Canalisation (y compris voies de virage et bretelles)

Description générale

La canalisation est la mise en place de voies de circulation réservées à différents mouvements aux carrefours. Elle vise à améliorer les performances et la sécurité des carrefours en séparant les flux de circulation (soit par un marquage routier, soit par des îlots physiques) et en rendant transparents les schémas de conduite et les règles de priorité. Une telle canalisation peut réduire la zone de conflit et améliorer les angles de carrefour. Elle peut également être ajoutée pour augmenter la capacité, améliorer la visibilité des dispositifs de contrôle du trafic et réduire les accidents. Il peut être inclus dans tous les types de carrefours, indépendamment de la configuration ou du contrôle.

La canalisation peut être incluse à la fois sur les routes secondaires et les routes principales. La séparation des mouvements peut se faire au moyen d'îlots de circulation, de terre-pleins centraux ou de marquages au sol, ainsi que de voies auxiliaires ou de voies réservées à des mouvements spécifiques tels que le virage à gauche, le virage à droite ou le demi-tour.

Ces voies peuvent également être appelées voies de stockage ou voies d'accès. Dans certains pays, les voies de virage font référence à la voie de stockage canalisée qui offre une zone d'attente aux véhicules qui tournent pendant qu'ils attendent un espace approprié dans le trafic opposé. Les voies d'accès à la voie de virage la plus proche constituent un dispositif de décélération dédié qui permet d'isoler le trafic ralenti du trafic de transit. Celles-ci peuvent être à écoulement libre ou obligées de céder le passage à d'autres véhicules une fois que la route secondaire est atteinte.

Figure 6.59: Effets d'ombre (obstruction visuelle dynamique) : un grand véhicule sur la voie de garage cache un véhicule sur la voie de transit.



La zone effilée de ces voies aux abords des carrefours sert de voies de stockage pour les véhicules qui tournent. Les voies auxiliaires associées peuvent également servir d'accotement utilisable en cas d'urgence et pour accueillir les véhicules à l'arrêt. Normalement, ces voies doivent être installées comme des voies séparées (et non comme des voies de dépassement) du trafic qui va tout droit à un carrefour, afin que ce trafic puisse dépasser les véhicules qui attendent de tourner.

La canalisation à grande échelle n'est pas une solution à tous les problèmes. Une canalisation inadéquate ou excessive peut réduire la sécurité et la capacité. Souvent, l'ajout d'une voie de virage, d'un terre-plein central ou d'un îlot suffit à réaliser les améliorations souhaitées. Avec le conflit supplémentaire que représente le trafic ferroviaire, il faut veiller à ce que la canalisation serve de directive et de contrôle, et non de source de confusion.

Des voies de virage canalisées mal conçues peuvent n'augmenter que très peu la capacité et rendre la traversée difficile pour les cyclistes et les piétons. Une voie latérale canalisée (voie de décélération) vise principalement à améliorer l'efficacité. Du point de vue de la sécurité, il est contraire aux principes d'un système sûr s'il permet au trafic de transit d'augmenter sa vitesse dans le carrefour et crée des voies d'accès à grande vitesse et à grand rayon, au lieu que le trafic de transit ralentisse derrière le véhicule qui ralentit et qui tourne. En outre, si la voie de décélération n'est pas correctement séparée du trafic de transit, le risque est grand que les véhicules utilisant cette voie masquent ou cachent les véhicules circulant sur la voie de transit. Ce phénomène est parfois appelé « effet d'ombre » ou « obstruction visuelle dynamique » et représente une augmentation significative du risque pour un véhicule sortant de la route secondaire (figure 6.59).

Source : Woolley, J., Stokes, C., Turner, B. et Jurewicz, C. 2018. *Vers une infrastructure de système sûr : un recueil des connaissances actuelles* (numéro AP-R560-18)

Conséquences pour la sécurité

- L'un des principaux objectifs de la conception des carrefours est de limiter et/ou de réduire la gravité des conflits potentiels entre les usagers de la route.
 - La FHWA précise que les principes de base de la canalisation des carrefours qui peuvent réduire les conflits sont les suivants :
1. **Séparer les points de conflit.** La séparation des points de conflit peut faciliter la conduite tout en améliorant la capacité et la sécurité d'un carrefour. Les voies de stockage exclusives, les virages à droite canalisés (pour ceux qui roulent à droite) et les terre-pleins centraux surélevés dans le cadre d'une stratégie de contrôle d'accès sont autant de moyens efficaces de séparer les conflits entre véhicules. (Consultez la section 6.6 Entrée à gauche sortie à gauche/entrée à droite sortie à droite.)
 2. **Définir les trajets souhaitables pour les véhicules.** Le tracé de l'approche d'un carrefour ainsi que le carrefour lui-même doivent offrir à l'usager de la route une définition claire de la trajectoire appropriée du véhicule dans les endroits à risque présentant une géométrie ou des schémas de circulation complexes, tels que les carrefours très inclinés, les carrefours à plusieurs branches, les carrefours en T décalés et les carrefours présentant des volumes de virage très élevés. Une définition claire des trajectoires des véhicules permet de réduire les changements de voie et d'éviter de « piéger » les véhicules dans la mauvaise voie.
 3. **Décourager les mouvements indésirables.** Les concepteurs peuvent utiliser les rayons d'angle, les terre-pleins centraux surélevés ou les îlots de circulation pour empêcher les mouvements indésirables ou à contresens, notamment en limitant les virages et en concevant l'alignement des voies d'accès de manière à faciliter les mouvements intuitifs.
 4. **Encourager les vitesses prudentes.** Sur les routes à faible vitesse où circulent des piétons, les vitesses de giration doivent être réduites par des rayons de giration plus petits, des voies plus étroites et/ou des dispositifs de canalisation (figure 6.60). Sur les routes à grande vitesse où il n'y a pas de piétons, la vitesse des véhicules qui tournent doit être comparable à celle des véhicules qui circulent en ligne droite, afin d'écartier les véhicules qui tournent du flux de la circulation de transit aussi rapidement et sûrement que possible. Cela peut être réalisé avec des cônes plus longs et plus lisses et avec une longueur de décélération associée pour prendre un virage à une vitesse plus lente.
 5. **Faciliter la circulation des flux de trafic hautement prioritaires.** La prise en compte des mouvements prioritaires aux carrefours répond à la fois aux attentes des conducteurs et à la capacité des carrefours. Les volumes de mouvements les plus élevés à un carrefour définissent les mouvements les plus prioritaires, bien qu'il faille parfois tenir compte de la désignation des routes et de la classification fonctionnelle des routes de carrefour. Dans les zones suburbaines et rurales à faible densité, il peut être judicieux de donner la priorité aux mouvements des véhicules à moteur ; cependant, dans certaines zones urbaines, les piétons et les cyclistes peuvent parfois être les usagers les plus prioritaires du réseau routier. La séparation des mouvements par la canalisation peut réduire la largeur des passages pour les piétons et leur donner la possibilité de traverser des routes très fréquentées.

Figure 6.60: Angle de la voie d'accès transformé de large (image de gauche) à serré (image de droite)



6. **Faciliter la mise en place du système de contrôle du trafic souhaité.** La visibilité des panneaux et marquages aux carrefours peut être maintenue par la canalisation. Les autres équipements situés au carrefour ne doivent pas obstruer la distance de visibilité et doivent faciliter l'entretien préventif par le personnel de terrain. L'aménagement du carrefour doit être conçu pour les mouvements simultanés de virage à gauche et les éventuels demi-tours. Les impacts opérationnels et la conception des aménagements pour les piétons doivent être pris en compte lors de la conception du carrefour.
7. **Accueillir les véhicules en décélération, lents ou à l'arrêt en dehors des voies de circulation à plus grande vitesse.** Les différences de vitesse entre les véhicules dans le flux de circulation sont l'une des principales causes d'accidents. Les différences de vitesse aux carrefours sont inhérentes au fait que les véhicules décélèrent pour faciliter l'entrée dans les virages. L'aménagement de voies de stockage pour les véhicules tournant à gauche et à droite peut améliorer la sécurité en séparant les véhicules tournant plus lentement du flux de circulation de transit à plus grande vitesse et en réduisant les risques de conflits par l'arrière. En outre, les mouvements de transit peuvent connaître des retards moins importants et moins de files d'attente. Toutefois, il faut veiller à ne pas induire des vitesses plus élevées pour le trafic de transit et de virage et à ne pas obscurcir la vue pour le trafic sur les routes secondaires
8. **Fournir des lieux et des itinéraires sûrs pour les cyclistes et les piétons.** La canalisation des carrefours peut offrir un refuge et/ou réduire la distance d'exposition des piétons et des cyclistes à l'intérieur d'un carrefour sans limiter la circulation des véhicules.
- La canalisation séparant les voies de passage et les voies de virage peut constituer un danger en raison de son emplacement lorsqu'un traitement surélevé est appliqué, en particulier sur les routes à grande vitesse.¹⁴⁸
 - Les voies de stockage orientées à gauche canalisées peuvent ralentir la vitesse aux abords des carrefours par rapport aux voies de stockage orientées à gauche non canalisées.¹⁴⁹
 - Plusieurs études réalisées dans des pays à revenu élevé confirment que l'aménagement de voies de virage permet de réduire les taux d'accidents.^{150,151,152}
- Certaines études ont prouvé l'efficacité de la canalisation.
- La mise en place de terre-pleins centraux à l'approche d'un carrefour peut aider les conducteurs à identifier l'emplacement du carrefour et les rendre plus vigilants pour choisir leur trajectoire à travers le carrefour. Les terre-plein centraux offrent une certaine protection aux véhicules qui tournent lorsqu'une voie de virage est aménagée pour sortir le véhicule qui tourne de la voie de transit. Ce traitement peut permettre de réduire de 20 % les accidents de type collision frontale, collision par l'arrière et lors de virages à droite. Si le terre-plein central est placé à l'intérieur du carrefour, supprimant ainsi le mouvement transversal, les accidents de type collision frontale, virage à droite et à angle droit peuvent être éliminés.
 - Pour les terre-pleins centraux plus larges (généralement plus de 5,4 mètres [18 pieds]), le décalage de la voie de stockage offre les avantages suivants en termes de sécurité :
 1. Meilleure visibilité du trafic de transit opposé ;
 2. Diminution du risque de conflit entre les mouvements de virage à gauche opposés au sein du carrefour ; et
 3. Un plus grand nombre de véhicules tournant à gauche sont desservis dans un laps de temps donné, en particulier dans un carrefour à feux.¹⁵³
 - La mise en place de voies de stockage en retrait avec des

¹⁴⁸ Vicroads. 2019. Road design notes: Raised Safety Platforms (RSPs).

¹⁴⁹ FHWA. 2014. Handbook for Designing Roadways for the Aging Population: Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/older_users/handbook/.

¹⁵⁰ Staplin, et al. 1997. National Highway Traffic Safety Administration.

¹⁵¹ Gluck, J., H. S. Levinson et V. Stover. 1999. National Cooperative Highway Research Program Report 420: Impacts of Access Management Techniques. NCHRP, Transportation Research Board, Washington, DC.

¹⁵² Elvik, R., Høy, A., Vaa, T. et Sørensen, M. 2009. The Handbook of Road Safety Measures, Second edition. Emerald Group Publishing Limited. ISBN 978-1-84855-250-0.

¹⁵³ Harwood, D. W., M. T. Pietrucha, M. D. Wooldridge, R. E. Brydla et K. Fitzpatrick. 1995. Rapport 375 du National Cooperative Highway Research Program : Median Intersection Design. NCHRP, Transportation Research Board, Washington, DC.

panneaux peints l'aménagement de voies de virage en retrait avec des îlots peints permet de réduire de 20 % le nombre d'accidents liés à des virages en sens inverse et à des collisions par l'arrière ; avec un terre-plein central, il est possible de réduire de 40 % les collisions par l'arrière, de 30 % les virages en sens inverse et de 20 % les collisions par perte de contrôle.¹⁵⁴

- Une méta-analyse australienne montre une réduction de 22 à 36 % des accidents. Cette réduction concerne la canalisation lorsqu'il n'est pas clair s'il s'agit d'un séparateur, d'un terre-plein central ou des deux. Cinq études sur les îlots séparateurs ont à nouveau montré une réduction globale d'environ 30 % ; deux études sur les réductions dues aux terre-pleins centraux ont montré une réduction d'environ 20 %. Ces avantages peuvent être pris en compte dans le cadre d'autres attributs, tels que l'aménagement et la délimitation des voies de stockage.
- Les accidents dans les carrefours à feux de signalisation où une voie de stockage à droite (pour les véhicules circulant à droite) a été ajoutée, en combinaison ou non avec une phase de signalisation séparée pour le virage à droite, ont été réduits de 36 % et de 15 %, respectivement. Dans les carrefours sans feux de signalisation où une canalisation marquée sépare la voie de stockage à droite de la voie de transit, les accidents ont été réduits de 50, 30 et 15 %, respectivement, dans les zones rurales, suburbaines et urbaines. Lorsque des dispositifs de canalisation surélevée ont été utilisés, la réduction des accidents a été de 60, 65 et 70 % dans les zones rurales, suburbaines et urbaines, respectivement. Des résultats cohérents ont été rapportés par Hagenauer et al. (1982),¹²¹ McFarland et al. (1979),¹²² et FHWA (2014). Handbook for Designing Roadways for the Aging Population. Accessible à l'adresse https://safety.fhwa.dot.gov/older_users/handbook/.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- La canalisation surélevée avec des bordures inclinées est recommandée par rapport à la canalisation réalisée par le seul marquage de la chaussée (affleurant) pour les voies de stockage à gauche et à droite aux carrefours sur toutes les routes dont la vitesse de circulation est inférieure à 20 km/h. (AASHTO 2009. *Highway Safety Manual*).
- Les îlots surélevés doivent être des bordures de trottoir semi-montables. Les bordures barrières et autres profils ne sont pas recommandés pour les îlots. Les îlots en creux peuvent également être délimités à l'aide de bordures, à condition qu'une définition et une délimitation adéquates de l'îlot puissent être obtenues par d'autres moyens (par exemple, une berme derrière la bordure).
- Les virages interdits doivent être bloqués par des îlots de canalisation, dans la mesure du possible.
- Les îlots ou terre-pleins centraux doivent être bien visibles pour les conducteurs qui s'approchent. Les sites ruraux présentant peu de contraintes auront des îlots relativement grands (par exemple, ≥ 100 m² pour un îlot séparateur sur une approche importante d'une route artérielle), alors qu'un carrefour urbain sans signalisation peut avoir un petit îlot (Austroads 2017. *Guide to Road Design Part 4 A Unsignalised and Signalised Intersections*).
- Les nez d'îlots doivent être décalés par rapport au bord de la voie de circulation adjacente afin d'offrir un espace supplémentaire par rapport à la bordure du trottoir, de manière à améliorer le confort des conducteurs qui s'approchent et à éviter qu'ils aient tendance à s'éloigner de la bordure du trottoir
- En règle générale, le nez de l'îlot doit être décalé de 0,2 m par 10 km/h de vitesse d'approche, mais cette règle n'est pas appliquée par toutes les juridictions. Sur les îlots étroits où un décalage du nez d'approche n'est pas réalisable, il est possible de prévoir un nez entièrement montable, qui nécessite un décalage et un rayon de nez plus faibles qu'une bordure. Toutefois, lorsque cela n'est pas possible en raison de la visibilité limitée des carrefours situés sur des crêtes ou dans des courbes relativement serrées, des terre-pleins centraux surélevés sur la route principale peuvent être utilisés pour améliorer la perception du carrefour par le conducteur. Dans ce cas, le nez de l'îlot doit être conçu de manière à passer au-dessus de la crête ou à contourner la courbe jusqu'à un point où il peut être facilement vu (voir la section sur les terre-pleins centraux).
- Les îlots au bord du trottoir sont parfois difficiles à voir la nuit en raison de l'éblouissement provoqué par les phares des véhicules venant en sens inverse ou par des luminaires éloignés ou des entreprises situées en bordure de route. Les îlots au bord du trottoir ne doivent

¹⁵⁴ Austroads. 2012. Efficacité des traitements techniques de sécurité routière, AP-R422-12.

généralement pas être utilisés dans les zones rurales et dans les endroits isolés, à moins que le carrefour ne soit éclairé et que les bordures ne soient délimitées, par exemple par des réflecteurs placés sur le bord de la chaussée.

- La canalisation à moindre coût consiste à placer des îlots peints ou des terre-pleins centraux pour rétrécir les voies et réduire les vitesses d'approche. Ce dispositif est complété par des bandes rugueuses à l'intérieur de ce terre-plein central et le long des lignes de rive de la chaussée (voir la section 3.2 sur le respect de la vitesse et le ralentissement de la circulation).
- Une voie auxiliaire doit être suffisamment large (y compris les accotements adjacents aux voies auxiliaires) et longue pour permettre à un conducteur de manœuvrer correctement son véhicule et, une fois engagé, de réduire sa vitesse pour tourner au carrefour.
- La longueur de la voie de stockage doit être suffisante pour éviter que les véhicules qui tournent ne s'arrêtent sur les voies de transit en attendant un changement de signal ou un espace libre dans le flux de circulation opposé. Une voie plus longue doit être envisagée dans les cas où le nombre de camions qui tournent est élevé, où il y a une pente ou une vitesse de conception élevée. L'impossibilité pour les véhicules qui tournent d'accéder aux voies de stockage peut nuire à la capacité d'un carrefour et entraîner l'empiètement des véhicules sur les terre-pleins centraux et des problèmes d'entretien.
- Toutefois, la longueur du cône ne doit pas être trop importante pour que le début de la voie auxiliaire soit bien défini et que les conducteurs ne s'engagent pas par inadvertance sur la voie en cas de mauvais temps ou dans une courbe horizontale.
- La conception devrait permettre à un gros camion de tourner occasionnellement en s'écartant et en empiétant sur les autres voies de circulation sans perturber le trafic de manière significative.
- Lorsque des bordures sont utilisées à côté de la voie auxiliaire, un décalage approprié doit être prévu pour permettre aux véhicules de circuler.
- Le stationnement doit être limité sur une certaine distance avant le rayon de braquage à droite, du côté le plus proche, afin d'éviter d'empiéter sur les espaces adjacents des voies de virage.
- Pour la conception des rues artérielles, les rayons adéquats pour la circulation des véhicules doivent être mis en balance avec les besoins des piétons et la difficulté

d'acquérir une vision supplémentaire ou des marges de recul aux angles. Le rayon d'angle étant souvent un compromis, il convient d'examiner son effet sur les mouvements des piétons et des véhicules.

Les figures 6.61 à 6.65 montrent de bons et de mauvais exemples de délimitation des mouvements de virage.

Pour la sécurité des usagers vulnérables de la route :

- Installer un îlot surélevé de taille adéquate pour servir de refuge aux endroits où des passages pour piétons sont prévus (figure 6.66). Les îlots utilisés pour la canalisation ne doivent pas interférer avec les bandes cyclables aux carrefours ni les obstruer.
- Les conducteurs ne doivent pas être soudainement confrontés à une zone inutilisable sur la trajectoire normale du véhicule. Les îlots abordés pour la première fois par la circulation devraient être signalés par un élargissement progressif et un marquage ou une bande rugueuse de chaque côté.
- Placer le passage pour piétons au centre de la chaussée tournante (plus loin de l'angle du carrefour), perpendiculairement au sens de la circulation (sans en faire un détour gênant pour les piétons), et utiliser des aménagements paysagers, etc., pour empêcher les piétons de traverser ailleurs (figures 6.67 et 6.68). En outre, le passage pour piétons et la rampe d'accès doivent être situés à une distance équivalente à une ou deux longueurs de voiture (généralement 6 mètres ou 12 mètres) de la ligne d'attente, de manière à ce que le passage coïncide avec un espace entre les voitures en file d'attente, ce qui permettra aux conducteurs en approche de repérer les piétons et de leur céder le passage avant d'atteindre la chaussée du carrefour et de scruter les intervalles de circulation.

Les piétons doivent bénéficier d'une distance de visibilité d'arrêt suffisante, en particulier aux traversées des voies d'accès où les vitesses sont plus élevées qu'aux endroits où les rayons de courbure sont plus faibles. D'autres situations nécessitent une prise en compte particulière des cyclistes et des traitements pour faciliter l'accès et la sécurité, notamment dans les approches où l'inclinaison d'un carrefour nécessite la mise en place d'une voie d'accès à l'angle d'un carrefour giratoire (par exemple, des bandes cyclables marquées). Le conducteur peut ne pas

Figure 6.61: Pas de marquage de la voie d'accès en Tanzanie.



Source : Banque mondiale.

Figure 6.62: Voie d'accès mal délimitée au Ghana.



Source : Graphic Online.
<https://www.graphic.com.gh/news/general-news/accra-chokes-heavy-traffic-slows-business-field-day-for-okada-operators.html>.

Figure 6.63: Bande d'arrêt d'urgence avec marquage de chaussée en zigzag à Singapour.



Source : Google Street View.

Figure 6.64: Grand carrefour urbain avec marquage de la chaussée pour les mouvements de virage.



Source : © Google Earth.

Figure 6.65: Traitement des routes secondaires avec des poteaux souples.



Source : Indian Institute of Technology, Kharagpur. 2019. Report on Road Safety Audit of SH-11 During Operation Stage, India.

Figure 6.66: Traitement des routes secondaires avec des poteaux souples.



Source : FHWA

Figure 6.67: Voie d'accès à angle large avec des passages pour piétons mal alignés et l'absence de passage pour piétons.



Source : Un-Habitat.

Figure 6.68: Une voie d'accès bien conçue pour le virage à droite à un carrefour complexe.



Source : Designing for Pedestrian Safety.

voir (cognitivement et physiquement) les cyclistes qui traversent la route dans laquelle il veut tourner (potentiellement en raison d'une distraction du conducteur ou d'une mauvaise évaluation de la vitesse des cyclistes).

- Dans la mesure du possible, les poteaux de signalisation et d'autres services publics ainsi que les panneaux doivent être placés en dehors des allées piétonnes pavées et des zones d'atterrissage. Il convient de veiller à ce que ces objets n'entrent pas en conflit avec les futures installations
- L'aménagement d'un espace tampon lors de la construction de trottoirs permet de séparer les piétons de la voie de circulation.
- Des aménagements cyclables appropriés, notamment un marquage au sol et des panneaux invitant les conducteurs empruntant la voie d'accès à faire attention aux cyclistes, peuvent être nécessaires à proximité de l'îlot formant les voies d'accès.
- La priorité aux passages piétons doit être claire pour tous les usagers de la route (c'est-à-dire qu'il faut savoir si les automobilistes, les piétons ou les cyclistes ont la priorité).
- Aux carrefours avec canalisation, des systèmes d'éclairage devraient être installés pour éclairer les îlots, les points de déviation et de fusion, les chaussées tournantes et les passages pour piétons.
- Un îlot de refuge pour les piétons situé à proximité d'un passage pour piétons ou d'un couloir cyclable, qui aide et protège les piétons et les cyclistes qui traversent la chaussée, doit être prévu avec des voies de bretelle et de stockage.
- Les îlots d'angle à bordure surélevée et les îlots centraux de canalisation ou de division peuvent être utilisés comme zones de refuge. Les îlots de refuge (pour les piétons et les cyclistes qui traversent une rue large, pour l'embarquement ou le débarquement des usagers des

Figure 6.69: Passage piéton surélevé sur la voie d'accès avec marquage d'îlots fantômes et panneaux de signalisation de passage piéton.



Source : État du Queensland.

transports en commun, ou pour les rampes d'accès pour les fauteuils roulants) sont principalement utilisés dans les zones urbaines.

- Lorsque les piétons et les cyclistes doivent traverser une bretelle d'accès ou une voie de stockage, il convient d'encourager les véhicules à circuler à faible vitesse au point de passage.
- L'utilisation de dispositifs physiques (par exemple, un ralentisseur routier ou un marquage spécial [tel qu'un wombat]) pour traverser les voies d'accès et de stockage peut réduire la vitesse des véhicules et améliorer la visibilité des passages pour piétons (figure 6.69).
- Ces dernières années, dans certains pays comme les États-Unis et l'Australie, des bretelles d'accès mal conçues ont été transformées en espace pour les piétons ou les cyclistes, car ces bretelles peuvent nuire à la sécurité (figures 6.70 à 6.72). Par exemple, une courte voie de dégagement (sans dispositifs de sécurité pour les piétons sur les passages pour piétons) qui découpe le trottoir uniquement pour permettre aux conducteurs de tourner plus rapidement est dangereuse. De nombreuses villes se sont converties en places piétonnes.

Figure 6.70: Transformation en mini place aux États-Unis.



Source : LADOT people St (CC BY-ND 2.0).

Figure 6.71: Transformation d'une bande cyclable en rue aux États-Unis.



Source : Google Street View.

Figure 6.72: Transformation des voies piétonnes aux États-Unis.



Source : John Greenfield/Streetsblogusa.

Pour en savoir plus

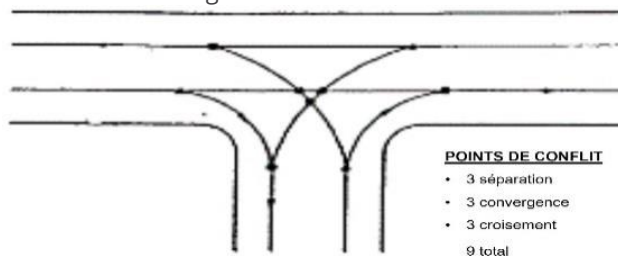
- AASHTO. 2018. Green Book (GDHS-7). À lire : chapitre 2, Design controls and criteria ; chapitre 5, Local roads and streets ; chapitre 6, Collectors in urban areas ; chapitre 7, Arterial road.
- FHWA. 2014. A Report on the Development of Guidelines for Applying Right-Turn Slip Lanes. À lire : chapitre 2, Literature review.
- Austroads. 2017. Guide to Road Design. À lire : partie 4A, Unsignalised and Signalised Intersections.
- Austroads. 2015. Road Geometry Study for Improved Rural Safety. À lire : chapitre 6, Design elements for improved rural road safety.
- Rune Elvik. 2009. The Handbook of Road Safety Measures, Second edition. À lire : partie II, Road Safety Measure.

6.6. Entrée à gauche sortie à gauche/entrée à droite sortie à droite

Description générale

Les notions d'entrée et de sortie à gauche (LILO) et à droite (RIRO) désignent un type de carrefour routier à trois voies où les mouvements de rotation des véhicules sont limités. RIRO est typique lorsque les

Figure 6.73: Croquis de la modification des points de conflit avec l'arrangement RIRO



Source : Oregon Department of Transportation, 1998.

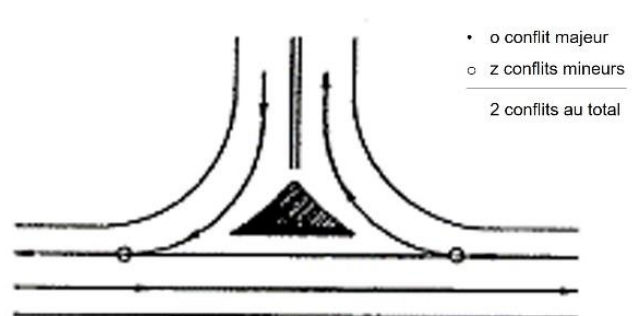
Carrefour à trois voies avant restriction

véhicules roulent à droite, et LILO est typique lorsque les véhicules roulent à gauche. En effet, les routes secondaires sont généralement reliées à l'extérieur des routes à double sens.

Un LILO n'autorise que les virages à gauche et un RIRO que les virages à droite. Les termes « entrée à droite » et « entrée à gauche » désignent les virages d'une route principale vers un carrefour (ou une allée ou une parcelle) ; les termes « sortie à droite » et « sortie à gauche » désignent les virages d'un carrefour (ou d'une allée ou d'une parcelle) vers une route principale. Ils sont mis en place pour empêcher les manœuvres de virage sur les voies de circulation opposées.

Conséquences pour la sécurité

- Les configurations RIRO et LILO améliorent généralement la sécurité et l'efficacité du trafic routier en réduisant le nombre de points de conflit entre les véhicules (figure 6.73). En particulier, ils éliminent les risques graves liés au trafic de virage par rapport au trafic de transit. Les restrictions de virage sont un type de stratégie de gestion de l'accès utilisé pour améliorer la sécurité des carrefours et des voies d'accès contrôlées par des arrêts. Les mouvements de virage restreints et interdits réduisent le nombre de points de conflit aux carrefours, ce qui est généralement connu pour réduire le risque d'accident.¹⁵⁵
- D'après la littérature, 74 % des accidents d'entrée dans les allées impliquent des manœuvres de virage en dehors de



Carrefour RIRO

¹⁵⁵ Simodines, T., Welch, T. et Kuntmeyer, M. 2000. Effects of Reducing Conflict Points on Reducing Accidents (abstract), Third National Access Management Conference, p. 141, Federal Highway Administration, Washington, DC.

Figure 6.74: Carrefour RIRO avec virage à droite trop rapproché en Ukraine.



Source : © Google Earth.

Figure 6.75: LILO urbain au Brunei avec un espace insuffisant pour un changement de voie en toute sécurité vers un virage à droite en dehors de la voie.



Source : © John Barrell.

l'axe de circulation les véhicules émergents doivent traverser des voies de circulation opposées.¹⁵⁶

- RIRO et LILO ne sont efficaces que lorsque cette manœuvre de virage est effectivement empêchée, généralement par un obstacle physique ou un îlot surélevé. Les restrictions légales concernant les manœuvres de virage (celles qui ne sont pas assorties de restrictions physiques) sont beaucoup moins efficaces et peuvent donner lieu à des abus. Par conséquent, elles sont

plus fréquentes sur les routes à chaussées séparées, sans terre-plein central.

- Il est prouvé que les RIRO qui n'interdisent pas physiquement les mouvements de virage à gauche peuvent donner lieu à des taux d'accidents plus élevés que ceux qui comportent une interdiction physique.¹⁵⁷
- Une configuration RIRO et LILO peut améliorer la sécurité et les opérations à un carrefour tout en les détériorant à un autre carrefour en amont ou en aval.
- La migration des collisions est un problème potentiel lié à la restriction des mouvements de virage à un point d'accès donné. Cela se produit lorsque les accidents survenus sur un site traité se déplacent vers un autre site. Si les opérations RIRO et LILO éliminent les virages en sens inverse à l'endroit considéré, les mouvements de demi-tour et les accidents qui en découlent risquent d'augmenter au prochain carrefour en aval qui autorise les demi-tours.
- Elles introduisent également d'autres types de collisions lorsque les véhicules tentent de traverser les voies de circulation principales et de se fondre dans le trafic en sens inverse (figures 6.74 et 6.75). Ainsi, à un carrefour avec des feux à mouvement complet dans un corridor, il

¹⁵⁶ National Highway Institute. 1992. Access Management, Location and Design: Participant Notebook, NHI Course No. 15255, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Washington, DC.

¹⁵⁷ Sarath Chandra Gorthy. 2017. Analysis of Right-in, Right-out Commercial Driveway Safety, Operations and Use of Channelization as Compliance Countermeasure. MSc Thesis, Clemson University.

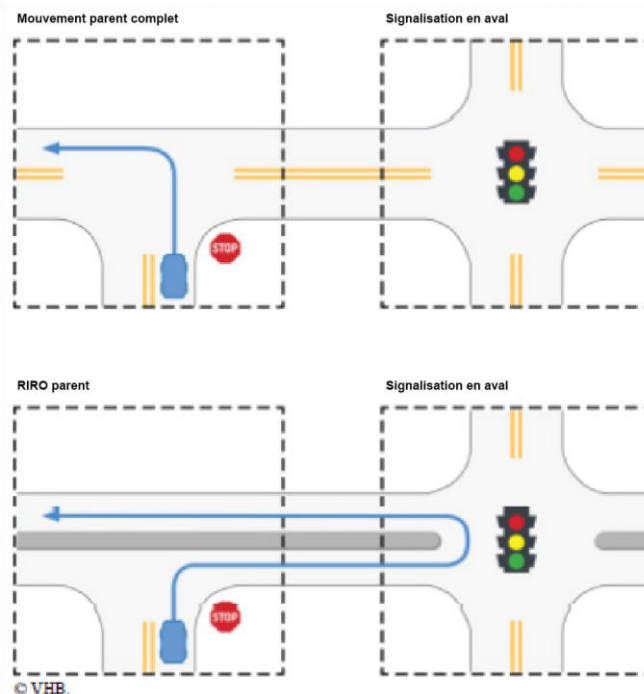
pourrait y avoir une augmentation des mouvements de demi-tour dans les deux directions le long de la ligne principale si les carrefours à contrôle d'arrêt sont convertis en RIRO le long du corridor.

- Carrefour RIRO avec virage à droite décalé trop proche et longueur d'entrecroisement insuffisante entre les mouvements (intègre également un passage pour piétons et un arrêt de transport public). Les besoins en matière de virage et de stockage pour accueillir tous les véhicules, y compris les poids lourds.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Les carrefours RIRO et LILO devraient être conçus avec un terre-plein central physique dans l'embouchure du carrefour qui empêche efficacement les virages non autorisés.
- Les approches à voie unique sont les plus efficaces pour empêcher ce type de virage non autorisé.
- Lorsque l'autoroute principale est à chaussée unique, un obstacle physique est également nécessaire sur celle-ci.
- Lorsque l'autoroute principale est à deux voies, le carrefour doit être conçu comme si la voie de décélération était une bretelle de sortie et la voie d'accélération une bretelle d'entrée, avec une séparation physique entre le trafic qui décélère et celui qui accélère, ce qui met l'accent sur le carrefour et transforme le mouvement de changement de direction en une fusion. Cette philosophie est similaire aux exemples présentés dans la section suivante.
- La possibilité d'effectuer la manœuvre interdite aux carrefours RIRO et LILO doit être possible aux prochains carrefours disponibles. Comme il s'agit en fait de demi-tours dans le sens inverse du flux de circulation opposé, ils doivent être effectués dans des conditions contrôlées avec des installations de virage de meilleure qualité ; soit un signal de contrôle, soit un carrefour giratoire (figure 6.76).
- L'utilisation d'une traversée centrale décalée ne fait que transférer le problème de la fusion à un autre endroit.

Figure 6.76: Illustration du mouvement de rotation remplacé au carrefour en aval.



Source : FHWA, 2012.

- Lorsque ce virage est autorisé, il doit se situer à une distance suffisante du RIRO ou LILO pour permettre au trafic émergent de traverser en toute sécurité les voies de circulation principales et aux véhicules en approche d'anticiper les véhicules ralentissant en vue du virage à contresens.

Pour en savoir plus

Ahmet Aksan, Robert Layton. 1998. Document de discussion n° 13, Right-In Right-Out Channelization, préparé pour l'Oregon Department of Transportation et présenté lors de la troisième conférence nationale de l'Access Management Transportation Research Board à Fort Lauderdale, en Floride, 4-7 octobre 1998.

FHWA. 2012. Safety Evaluation of Turning Movement Restrictions at Stop-Controlled Intersections. Publication FHWA n°FHWA-HRT-17-065.

Manuel de gestion des accès du Mn/DOT. 2008. À lire : chapitre 3, Guidelines and Public Street and Driveway Connections.

6.7. Voies d'accélération et de décélération

Description générale

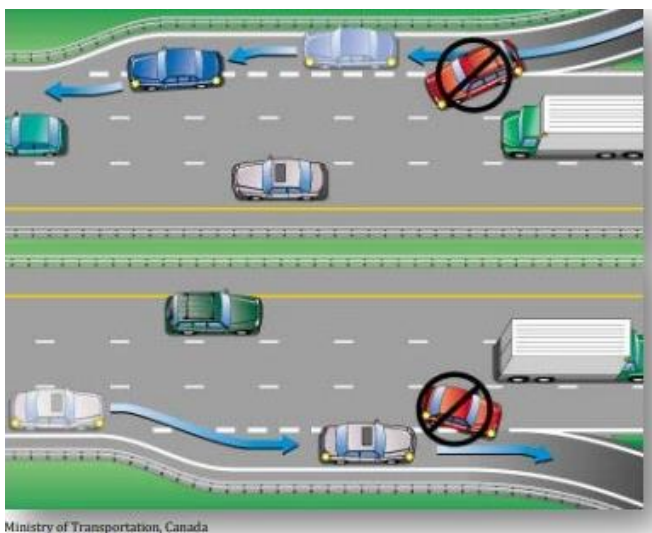
Les voies d'accélération et de décélération (également appelées voies de changement de vitesse) permettent aux conducteurs d'accélérer ou de ralentir dans un espace qui n'est pas utilisé par le trafic de transit à grande vitesse (figure 6.77).

La fusion peut se produire aux bretelles d'accès aux autoroutes ou aux routes à plusieurs voies, ou lorsque deux installations importantes se rejoignent pour former un seul flux de circulation.

Les véhicules qui fusionnent changent souvent de voie pour s'aligner sur les voies correspondant à leur mouvement souhaité.

Il y a divergence lorsqu'un flux de trafic se divise pour former deux flux de trafic distincts. Ce phénomène se produit aux sorties des autoroutes et des routes à plusieurs voies, mais il peut également se produire lorsqu'une grande route se divise pour former deux routes distinctes. Là encore, les véhicules qui divergent doivent s'aligner correctement sur les voies appropriées, indiquant ainsi qu'ils changent de voie ; les véhicules qui ne divergent pas changent également de voie pour éviter les turbulences créées par les manœuvres de divergence.

Figure 6.77: Illustration des voies d'accélération et de décélération.



Ministry of Transportation, Canada

Figure 6.78: Voie de décélération à l'approche d'une sortie à faible rayon au Brunei.



Source : © John Barrell.

Figure 6.79: Voie d'accélération bien définie au Brunei.



Source : © John Barrell.

Sur les autoroutes et dans certaines grandes rues, le changement de vitesse entre les voies principales et les rues adjacentes peut être important et provoquer des arrêts et des ralentissements ainsi qu'un plus grand nombre de collisions pour le flux principal de véhicules.

Bien que ces voies de changement de vitesse soient le plus souvent associées aux routes à grande vitesse, elles peuvent être incluses dans les carrefours RIRO et LILO où la capacité exige que le trafic des routes secondaires pénètre sur les routes à grand débit.

Les voies d'accélération dédiées permettent aux véhicules qui ont tourné sur la route principale d'accélérer pour s'adapter au flux de circulation. Les voies de décélération permettent aux véhicules qui quittent la route principale à grande vitesse de ralentir pour s'adapter au trafic de la route secondaire ou de négocier un alignement routier plus serré à la sortie.

Figure 6.80: Voie de déviation en dehors de la chaussée au Brunei: terre-plein central étroit et voie nécessitant un espace supplémentaire au-delà du virage.



Source : © John Barrell.

Conséquences pour la sécurité

- Les voies d'accélération et de décélération peuvent être bloquées par des véhicules en stationnement ou à l'arrêt.
- Les conducteurs qui utilisent les voies d'accélération ont un angle de vision étroit avec le flux routier principal.
- Les conducteurs qui s'insèrent dans un flux de véhicules peuvent avoir du mal à surveiller à la fois les véhicules qui se trouvent sur le flux principal et ceux qui s'insèrent.
- Les personnes souhaitant quitter l'autoroute à plusieurs voies pour emprunter une voie de changement de vitesse doivent être averties suffisamment à l'avance pour pouvoir s'engager en toute sécurité sur la voie la plus proche et s'engager au début de la voie.
- La congestion, si le nombre de véhicules dépasse la capacité, peut augmenter le risque de collision, car les véhicules ralentissent ou s'arrêtent inopinément.
- Si les voies n'ont pas une capacité suffisante pour tous les véhicules, les files d'attente peuvent s'écouler sur la chaussée principale et provoquer des collisions par l'arrière supplémentaires.
- Lorsque des voies de changement de vitesse sont aménagées sur des autoroutes à plusieurs voies, le changement de voie des véhicules à l'intérieur des flux principaux peut réduire la capacité de circulation.
- L'entrée tardive et la sortie précoce d'une voie de changement de vitesse peuvent augmenter le risque de collision.

Figure 6.81: Barrière supplémentaire à la déviation du côté opposé au Brunei : pour contrôler l'entrée et la zone de virage au-delà de la chaussée la plus éloignée pour TOUS les véhicules, en ajoutant une déviation supplémentaire après avoir traversé le trafic oppo



Source : © John Barrell.

- L'espacement entre les voies de changement de vitesse de fusion et de divergence peut perturber le flux principal et entraîner un nombre excessif de collisions latérales et par l'arrière.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Une bonne visibilité doit être maintenue pour les véhicules qui arrivent et ceux qui s'approchent.
- Une signalisation et un marquage clairs des voies sont essentiels à la sécurité.
- La visibilité dans la nuit peut être améliorée par l'utilisation de plots routiers réfléchissants de différentes couleurs.
- Dans le cas d'une approche perpendiculaire à des voies convergentes, la ligne de vue doit être dégagée du mobilier urbain, des obstacles et des panneaux de signalisation.
- Pour éviter d'obstruer les voies, des restrictions de stationnement doivent être mises en place et strictement respectées.
- Les voies de changement de vitesse doivent rester libres en cas de congestion. Par conséquent, la capacité de la route principale et le volume du trafic entrant doivent être calculés pour permettre une circulation libre en toutes circonstances. Lorsque des files d'attente se forment, la longueur effective de la voie est réduite.

- De même, la capacité en amont de la route principale est un élément important à prendre en compte lorsque de grandes quantités de véhicules doivent emprunter la voie de décélération d'une autoroute à plusieurs voies et que les vitesses relatives et les changements de voie posent problème.
- La longueur des voies doit être suffisante pour accueillir l'ensemble du trafic si le volume de trafic est très élevé sur l'axe principal. Lorsque les carrefours avec des voies de changement de vitesse sont proches les uns des autres, il est nécessaire d'avoir une longueur d'entrecroisement suffisante pour maintenir des conditions de flux stables entre les carrefours.

Pour en savoir plus

- G. T. Wall et N. B. Hounsell. 2004. A Critical Review of the Standards and Design Processes for Motorway. À lire : chapitre 2, Evolution of standards for motorway diverges ; chapitre 3, Introduction to the diverging flow-region diagram ; chapitre 6, Critical review of the diverging flow-region diagram.
- Divergences à l'école britannique de génie civil et d'environnement de l'Université de Southampton, à Southampton, au Royaume-Uni.
- Markos Alito Atamo. 2012. Safety Assessment of Freeway Merging and Diverging Influence Areas Based on Conflict Analysis of Simulated Traffic. Thèse de doctorat, Université du Colorado. Chapitre 2, Literature review.

6.8. Niveau séparé et rampes

Description générale

La plupart des accidents se produisent aux carrefours. La meilleure façon de mettre fin aux mouvements conflictuels aux carrefours est de placer les routes qui se croisent à des niveaux différents, ou de les séparer par une dénivellation. Cela peut se faire au moyen de passages supérieurs ou d'échangeurs.

Un passage supérieur est une simple séparation au niveau du sol de deux routes, sans qu'il y ait de lien réel entre elles et donc sans échange de trafic (figure 6.82). Les passages supérieurs sont généralement utilisés lorsqu'une route secondaire croise une route principale et lorsqu'une ligne de chemin de fer croise une route.

Les échangeurs sont des carrefours à niveau séparé où le trafic d'une route principale est relié à une autre route principale par des routes de liaison à écoulement libre.

Figure 6.82: Un simple passage supérieur sans connexion entre les deux routes en Éthiopie.



Source : © John Barrell.

Un échangeur permet au trafic de circuler entre deux ou plusieurs routes à niveaux séparés. Les échangeurs peuvent être simples, avec des rampes et des carrefours au niveau de la route secondaire, ou complexes, lorsque deux autoroutes ou plus (grandes routes ou autoroutes) se rejoignent.

Les passages supérieurs et les échangeurs sont très coûteux et sont généralement construits dans le cadre d'un système d'autoroutes lorsque des flux de trafic importants en justifient le coût. Parfois, des échangeurs et des passages supérieurs sont construits sur des autoroutes urbaines très fréquentées lorsque la sécurité routière et l'amélioration de la fluidité du trafic le justifient.

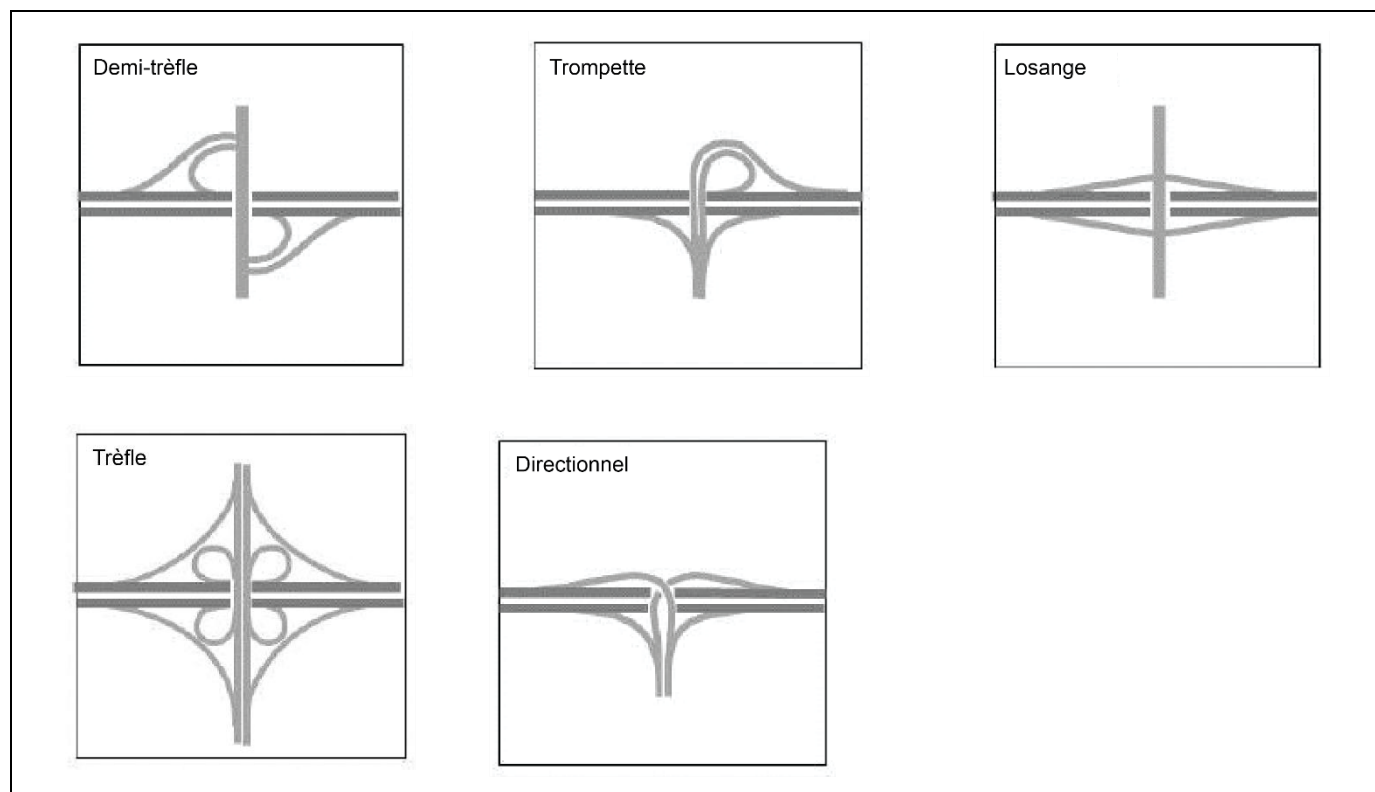
Dans les échangeurs à niveau séparé complet, avec des voies séparées pour tous les flux de circulation, tous les mouvements qui nécessitent de traverser d'autres flux de circulation sont supprimés et réduits à un changement de voie de circulation.

Différentes formes d'échangeurs ont été développées, telles que les échangeurs en forme de diamant, les échangeurs en forme de trompette et les échangeurs en forme de trèfle, complet ou partiel (figure 6.83). Ces échangeurs diffèrent en ce qui concerne les types de rampes qui sont construites pour le trafic de retournement.

Les carrefours à niveau partiellement séparé (figure 6.84) sont celles où il n'y a pas de liaison au niveau du sol entre deux routes principales, mais où les liaisons entre les bretelles et les routes principales sont au niveau du sol (au lieu de voies d'accélération ou de décélération).

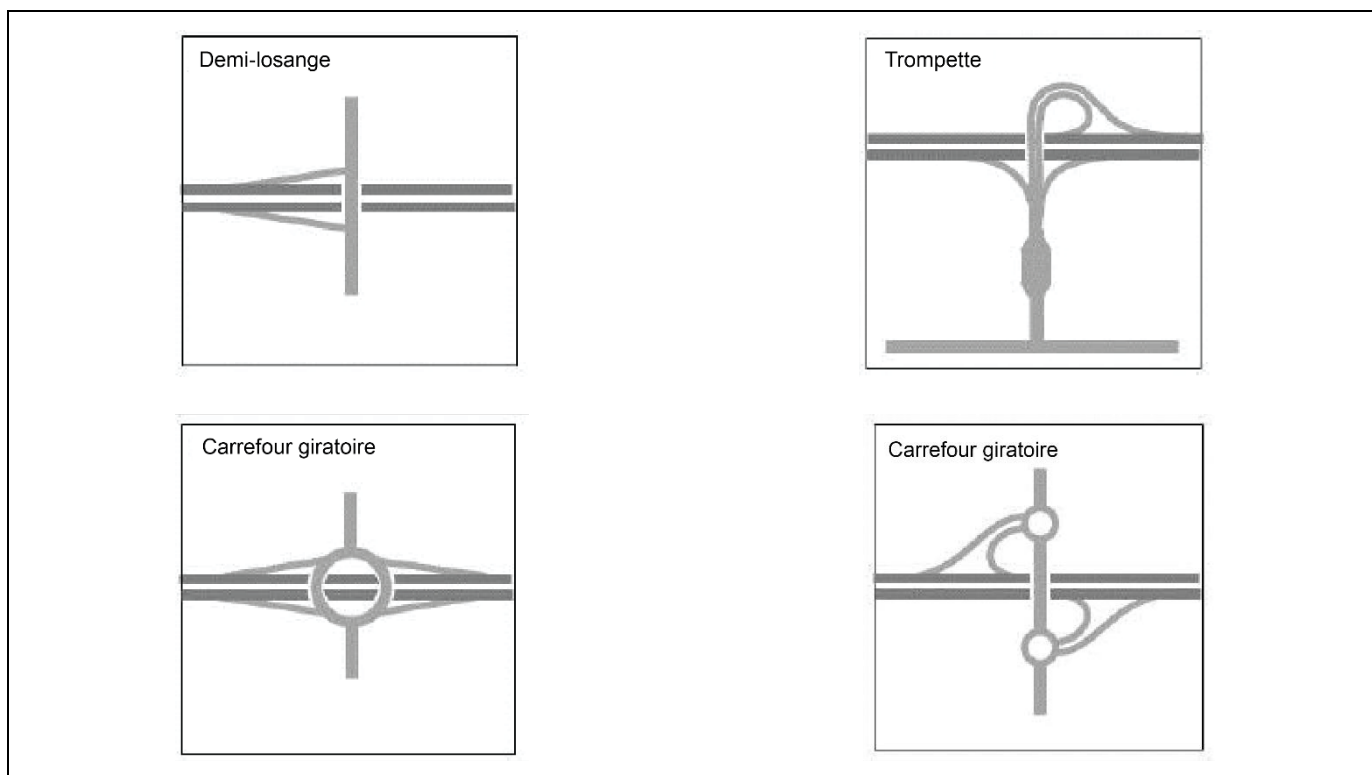
Les bretelles qui rejoignent l'une des voies de carrefour peuvent prendre la forme d'un carrefour à niveau, tel qu'un carrefour à priorités, un carrefour à feux ou un carrefour giratoire.

Figure 6.83: Aménagement typique d'un échangeur à niveau séparé complet.



Source : © John Barrell.

Figure 6.84: Aménagement typique d'un échangeur à niveau partiellement séparé.



Source : © John Barrell.

Conséquences pour la sécurité

- D'après les recherches,¹⁵⁸ le taux d'accidents est plus faible aux carrefours à niveau séparé qu'aux carrefours au niveau du sol. Les différences les plus importantes ont été constatées dans les carrefours à quatre voies. Dans ces cas, la réduction du nombre d'accidents avec dommages corporels est plus importante que la réduction du nombre d'accidents avec dommages matériels uniquement.
- Les accidents aux abords des carrefours à niveau séparé comprennent les accidents sur les rampes, mais pas les accidents sur des tronçons routiers comparables immédiatement avant et après les carrefours au niveau du sol. Si ces accidents avaient été inclus dans le calcul des effets sur les accidents, des réductions encore plus importantes du nombre d'accidents aux carrefours à niveau séparé auraient probablement été constatées. Cependant, les rampes constituent un nouvel élément routier lorsque des carrefours à niveau séparé sont construits, et leurs effets sur la sécurité devraient être inclus dans les effets des carrefours à niveau séparé.
- Les carrefours à niveau partiellement séparé se sont révélés moins sûrs que les carrefours à niveau séparé, mais plus sûrs que les carrefours à quatre voies au niveau du sol. Lorsque les carrefours à quatre voies au niveau du sol sont équipés de radars, ils sont plus sûrs que les carrefours à niveau partiellement séparé dépourvus de radars. Aucune différence significative n'a été constatée entre les carrefours à niveau partiellement séparé et les carrefours munis d'une signalisation.
- Les échangeurs en forme de diamant (simples et complets, avec des rampes droites et des routes secondaires passant au-dessus de la route principale) semblent être la forme la plus sûre d'échangeurs à niveau séparé.
- Les échangeurs en forme de diamant ont des taux d'accidents plus faibles que la plupart des autres types

¹⁵⁸ Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., et Sørensen, M. 2009. Le manuel des mesures de sécurité routière, deuxième édition, Emerald Group, Royaume-Uni.

d'échangeurs. La plupart des différences sont minimales et non significatives. Les échangeurs en forme de diamant sont plus favorables que les échangeurs en forme de trompette et les jonctions avec des rampes d'accès direct. Plusieurs facteurs rendent les échangeurs en forme de diamant relativement sûrs : la configuration est relativement simple, ce qui réduit la confusion ou les erreurs chez les conducteurs. Les rampes des échangeurs en forme de diamant sont droites, et les taux d'accidents sont plus faibles sur les rampes droites que sur les rampes courbes ou les boucles.

- Les études ont montré qu'il y a plus d'accidents dans les courbes à faible rayon que dans les courbes à grand rayon.¹⁵⁹
- Il est possible que les vitesses plus élevées sur les autoroutes à l'approche des boucles soient un facteur contribuant aux accidents, en particulier sur les boucles de déviation.
- Les poids lourds sont particulièrement exposés aux incidents de renversement sur les rampes courbes ou les boucles en raison du rayon étroit et de la vitesse potentielle élevée.
- Un espacement court ou fréquent entre les carrefours peut entraîner des longueurs d'entrecroisement réduites entre les voies de fusion, de déviation et de changement de vitesse associées.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Plusieurs caractéristiques et problèmes sont communs à tous les types d'échangeurs. Ces éléments sont importants à prendre en compte dans tous les contextes.
- Les éléments communs comprennent :
 1. Des lignes de vue dégagées (verticales et horizontales),
 2. Une forme de l'échangeur adaptée aux types et aux schémas de circulation,
 3. Une géométrie horizontale et verticale appropriée,
 4. Une vitesse suffisante pour changer de voie,
 5. Attente du conducteur ou des directives positives : distances de perception et de réaction adéquates

pour les manœuvres typiques et toutes les sorties ou entrées à droite du trafic de transit,

6. Conception d'un véhicule hors piste,
 7. Un stockage adéquat pour les files d'attente de véhicules, et
 8. Des aménagements adéquats pour la signalisation.
- Les échangeurs doivent être situés de manière à ce que les zones de fusion et de divergence soient situées sur un alignement droit ou presque droit avec des pentes douces.
 - Dans la mesure du possible, il est préférable d'aménager des bretelles de sortie en montée pour faciliter la décélération et, inversement, des bretelles d'entrée en descente pour faciliter l'accélération. Ainsi, il n'est généralement pas conseillé de placer les carrefours à niveau séparé au sommet d'une colline en raison des pentes défavorables. Les conducteurs sont également plus susceptibles d'être affectés par l'éblouissement dû au soleil brillant à l'approche
 - Les carrefours à niveau séparé doivent être relativement simples, avec un nombre minimum de points de décision bien espacés les uns des autres. Elles doivent permettre à tous les conducteurs d'identifier facilement la direction à suivre, sans avoir à changer de voie. Lorsque des connexions routières plus complexes sont inévitables, notamment à l'intérieur des villes et à leur périphérie, tous les efforts doivent être faits pour simplifier le tracé et fournir une signalisation directionnelle adéquate et bien conçue.
 - Les rampes ont généralement des vitesses théoriques inférieures à celles de la ligne principale, mais la différence ne doit pas être excessive. Il est important que le passage à une vitesse théorique inférieure soit prévisible et évident pour les conducteurs, et que la distance de décélération soit suffisante.
 - Les boucles sont des rampes qui tournent à plus de 120 degrés sur une courbe de faible rayon. Elles sont typiques des carrefours à niveau séparé en forme de trompette ou de trèfle. Les boucles ne doivent pas comporter plus d'une voie par sens.
 - Il est nécessaire de prendre des mesures pour maintenir la sécurité, et les mesures à envisager sont les suivantes :
 1. Mise en place et maintien d'une bonne visibilité sur l'ensemble de la boucle aux abords, en particulier au-delà d'un pont inférieur ou d'une autre structure,
 2. Limites de vitesse conseillées et/ou panneaux de

¹⁵⁹ Rune Elvik, Handbook of Road Safety Measures, p. 236.

virage et panneaux d'avertissement en « chevron »,

3. Élargissement des voies sur les boucles, le cas échéant, pour réduire les rayons,
 4. La mise en place de dispositifs de retenue des véhicules à l'extérieur des virages,
 5. Séparation physique des flux de circulation opposés,
 6. Éclairage, et
 7. Revêtement hautement résistant au dérapage.
- Les mouvements des cyclistes et des piétons doivent être pris en compte dans les échangeurs, même dans les zones rurales. Dans les zones urbaines ou suburbaines où des trottoirs sont en place, les aménagements existants peuvent ne pas être adaptés aux besoins actuels. Il est tout aussi important de concevoir des aménagements pour les vélos et les piétons que pour les véhicules. Certaines configurations d'échangeurs (comme le point unique ou la forme de diamant divergent) nécessitent des traversées en plusieurs étapes et des îlots de refuge. Il est parfois nécessaire de prévoir des installations séparées à travers des échangeurs complexes.
 - Les échangeurs à niveau séparé sont des éléments routiers complexes, et toutes les disciplines impliquées dans la conception (géométrie, trafic, structure) doivent se coordonner pour s'assurer que les besoins des différents usagers sont satisfaits.

Pour en savoir plus

- Oregon Department of Transport Highway Design Manual. 2012. À lire : chapitre 9.
- Transport Infrastructure Ireland (TII) Layout of Graded Separated Junctions DN-GEO-0303 2009. À lire : chapitre 4, Geometric standards, et chapitre 5, Layout options.

6.9. Passages à niveau

Description générale

Les réseaux ferroviaires sont des corridors définis où les véhicules circulent sur des rails définis et inamovibles. Ils sont généralement situés dans des couloirs réservés et n'ont qu'une interaction limitée et contrôlée avec les autres formes de transport terrestre (voitures, camionnettes, motos, cyclistes et piétons) sur le réseau routier.

Au cours des siècles précédents, le transport ferroviaire était également courant dans les rues des grandes villes sous la forme de tramways. Dans de nombreuses villes qui avaient abandonné ces systèmes, ils sont aujourd'hui réintroduits, soit dans les rues, soit dans des couloirs dédiés distincts.

Ils ont tous en commun l'obligation ; à des degrés divers ; de traverser positivement la chaussée de la circulation générale. Qu'il s'agisse de systèmes ferroviaires lourds conventionnels ou de systèmes urbains de tramway ou de métro léger, ces systèmes comprennent tous, à des degrés divers, des passages à niveau.

Toutes ces interactions doivent être réalisées dans des conditions contrôlées.

Les passages à niveau sont des carrefours où une route croise une voie ferrée au niveau du sol et constituent le carrefour physique de deux surfaces et zones de transport de véhicules très différentes à l'approche du carrefour physique. À l'intérieur de la zone de croisement, les caractéristiques physiques de chaque structure, c'est-à-dire le rail et la route, peuvent devoir être spécifiquement ajustées pour permettre à l'autre mode de transport de circuler en douceur et en toute sécurité.

Certaines règles internationales ont contribué à harmoniser les passages à niveau, par exemple la convention de Vienne de 1968 qui exige des panneaux et des lignes d'avertissement standard, ainsi que des barrières potentielles. Cette mesure a été mise en œuvre dans de nombreux pays, y compris dans des pays qui ne sont pas signataires de la Convention de Vienne.

Les premiers passages à niveau disposaient d'un signaleur dans une cabine située à proximité qui, à l'approche d'un train, agitait un drapeau rouge ou une lanterne pour arrêter tout le trafic et dégager les voies.

Les passages à niveau clôturés sont devenus monnaie courante dans de nombreuses régions, car ils protégeaient la voie ferrée contre les intrusions de personnes et de bétail, et protégeaient les usagers du passage à niveau lorsqu'il était fermé par l'aiguilleur ou le portier.

Dans le deuxième quart du vingtième siècle, on a commencé à introduire des barrières manuelles ou électriques qui barraient la chaussée et qui étaient destinées à constituer un obstacle complet contre l'intrusion de tout trafic routier sur le chemin de fer.

Les passages à niveau automatiques sont désormais monnaie courante, bien que chacun des systèmes décrits ci-dessus soit encore utilisé dans certains PRITI. Les passages à niveau avec barrière complète, semi-barrière ou sans barrière ont remplacé les passages à niveau avec barrière, bien que l'on trouve encore par endroits des passages à niveau d'un type plus ancien.

Dans les régions rurales à faible trafic, le type de passage à niveau le moins coûteux à exploiter est celui qui ne comporte ni signaleurs ni barrières, mais seulement un panneau d'avertissement. Ce type de passage à niveau est répandu en Amérique du Nord et dans de nombreux pays en développement.

Conséquences pour la sécurité

- Les passages à niveau constituent un problème de sécurité important au niveau international. En moyenne, chaque année, environ 400 personnes dans l'Union européenne et plus de 300 aux États-Unis sont tuées dans des accidents survenus à des passages à niveau.
- Les collisions peuvent concerner aussi bien les véhicules que les piétons ; les collisions avec les piétons sont plus susceptibles d'entraîner un décès.¹⁶⁰ Parmi les piétons, les jeunes (5 à 19 ans), les personnes âgées (60 ans et plus) et les hommes sont considérés comme étant à haut risque¹⁶¹ en raison de leur attitude face au risque ou de leur manque de sensibilisation générale.
- Les passages à niveau peuvent être dangereux si :
 1. La distance de visibilité d'un feu ou d'un train en approche est insuffisante,
 2. Le contrôle du trafic est inadéquat,

3. Les véhicules traversent les voies en file d'attente en raison de la congestion ou des carrefours voisins,
 4. Il y a un manque d'installations pour les piétons,
 5. Les chaussées routières et ferroviaires ne sont pas entretenues,
 6. Les équipements de signalisation sont situés trop près de la route, ce qui peut entraîner des dommages inutiles par les véhicules qui passent, et
 7. Le profil vertical de la route au-dessus du passage à niveau entraîne la fixation au sol des véhicules routiers.
- Les carrefours munis d'une signalisation situées au niveau ou à proximité de passages à niveau posent des problèmes supplémentaires par rapport aux carrefours contrôlés par des stops. Si les feux de signalisation ne sont pas correctement coordonnés avec les opérations ferroviaires, des accidents graves peuvent se produire.
 - Lorsqu'un passage à niveau est situé à proximité d'un carrefour muni d'une signalisation, il est possible que les files d'attente du carrefour se prolongent sur le passage à niveau et que les véhicules à l'arrêt restent bloqués sur les voies.
 - Des situations similaires peuvent se produire aux carrefours non contrôlés proches des passages à niveau, où les véhicules longs peuvent bloquer le passage à niveau.
 - Lorsqu'un véhicule à empattement long ou à faible garde au sol emprunte une route à profil vertical élevé, comme un passage à niveau entre une autoroute et une voie ferrée, un terre-plein ou une entrée de garage, le véhicule peut se coincer ou se bloquer sur la « bosse ». Un cas assez courant est celui où une voie ferrée se trouve sur un talus et où un véhicule à faible garde au sol se trouvant sur la chaussée du passage à niveau se retrouve bloqué sur la voie ferrée et est ensuite heurté par un train.

¹⁶⁰ Australian Transport Safety Bureau. 2004. « Level crossing accident fatalities ».

¹⁶¹ Lloyd's Register Rail. 2007. « Study of pedestrian behaviour at public railway crossings ». Public Transport Safety Victoria.

Bonnes pratiques de conception/ traitements/solutions

- Les trains ont une masse beaucoup plus importante par rapport à leur capacité de freinage, et donc une distance de freinage beaucoup plus longue que les véhicules routiers. À de rares exceptions près, les trains ne s'arrêtent pas aux passages à niveau et comptent sur les véhicules et les piétons pour dégager les voies à l'avance.
- Les passages à niveau (figures 6.85 à 6.88) sont contrôlés par des systèmes passifs ou actifs. Les systèmes de contrôle passifs émettent des avertissements par le biais de panneaux et de marquages au sol. Ils ne réagissent pas à la présence d'un train en approche. Les systèmes de contrôle actifs du trafic avertissent les usagers de la route de l'approche d'un train.

Figure 6.85: Passage à niveau au



Source : Archant. Hunt Post. <https://www.huntspost.co.uk/news/final-plan-for-offord-cluney-s-new-rail-crossing-to-5013974>.

Figure 6.87: Passage à niveau rural au Zimbabwe (passif).



Source : © John Barrell.

- L'adéquation de la distance de visibilité est essentielle pour les passages à niveau passifs ; cependant, même lorsque des dispositifs actifs sont présents ou seront mis en place, la distance de visibilité est bénéfique pour confirmer la capacité à traverser les voies.
- Le manuel américain sur les dispositifs de contrôle du trafic (deuxième édition)¹⁶² indique trois zones à l'approche d'un passage à niveau où les conducteurs prennent des décisions concernant leurs mouvements par rapport au passage à niveau. Il identifie trois zones de visibilité ainsi que la distance de visibilité respective associée à chacune d'entre elles, et la MTCD fait référence à la « distance minimale de dégagement de la voie » au

Figure 6.86: Passage à niveau contrôlé par signal automatique ; tramway de Dubaï.



Source : © John Barrell.

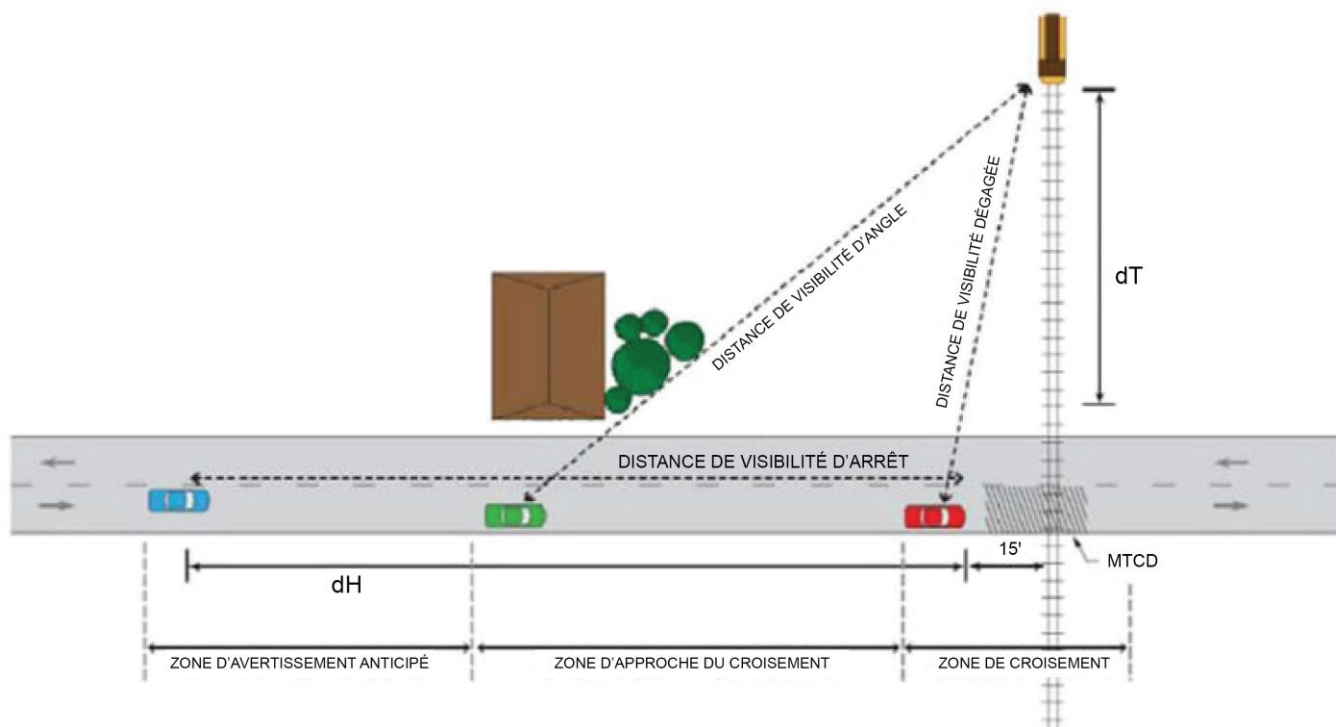
Figure 6.88: Passage à niveau rural en Australie (actif).



Source : Department of Transport and Main Roads, gouvernement du Queensland.

¹⁶² Seyfried, R. K. et P. E., PTOE. 2013. Traffic Control Devices Handbook (2nd edition). Washington, DC: ITE.

Figure 6.89: Zones de visibilité à l'approche d'un passage à niveau à contrôle passif.



Source : FHWA, 2019. Ogden, B. D. et Cooper, C. 2019. Highway-rail crossing handbook (n° FHWA-SA-18-040). États-Unis. Federal Highway Administration.

passage à niveau, qui doit être libre de tout véhicule à l'approche d'un train. Il indique également pour chaque zone la réaction souhaitée de l'utilisateur de la route, selon qu'un train est visible ou non (figure 6.89).

- Les avertissements aux passages à niveau contrôlés actifs consistent en des feux clignotants et des sons (combinés à des contrôles statiques tels que des panneaux et des marquages de chaussée) qui sont déclenchés par un train.
- Comme pour les passages à niveau passifs, les usagers de la route qui s'approchent doivent avoir une bonne visibilité de ces dispositifs.
- Un autre niveau de contrôle actif est obtenu en plaçant une barrière entre les véhicules ou les piétons et les trains. Pour ce faire, des dispositifs électromécaniques tels que des barrières pour piétons et des barrières levantes pour véhicules sont utilisés en combinaison avec d'autres contrôles actifs et passifs.
- Les carrefours situés à proximité des passages à niveau nécessitent une attention particulière afin de coordonner les mouvements des véhicules, des trains et des piétons.
- Pour éviter que les files d'attente d'un carrefour ne bloquent un passage à niveau, les feux de signalisation situés à proximité des passages à niveau doivent être

synchronisés à l'approche des trains afin de dégager les véhicules des voies avant l'arrivée du train. Cette synchronisation est normalement assurée par un circuit

- d'interconnexion électrique entre le système d'avertissement de passage à niveau et l'ensemble de contrôle des feux de signalisation. La conception géométrique de tout carrefour muni d'une signalisation située à proximité d'un passage à niveau autoroute-rail-route doit tenir compte de l'interconnexion et de la synchronisation.
- Un espace suffisant est nécessaire pour que les véhicules en attente puissent patienter en toute sécurité avant de libérer un passage à niveau.
- L'approche des passages à niveau doit donc être aussi plate ou droite que possible pour permettre aux véhicules à empattement long de passer.
- Il convient d'étudier les possibilités de fermer les passages à niveau peu fréquentés lorsqu'il existe une alternative viable.
- Plusieurs outils d'évaluation existent pour déterminer les risques aux passages à niveau (par exemple, ALCRM au Royaume-Uni et ALCAM en Australie et en Nouvelle-Zélande).

Pour en savoir plus

- Texas Department of Transportation. 2000. Design Guidelines for At-Grade Intersections Near Highway-Railroad Grade Crossings. À lire : chapitre 3, Interconnection.
- Manual of Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD) 2nd edition. 2009, avec des mises à jour en 2012. US Department of Transport Federal Highways Administration. À lire : partie 8, Traffic Control for Railroad and Light Rail Transit Grade Crossings.

7. OUTILS DE CONCEPTION POUR DES RÉSULTATS SÛRS

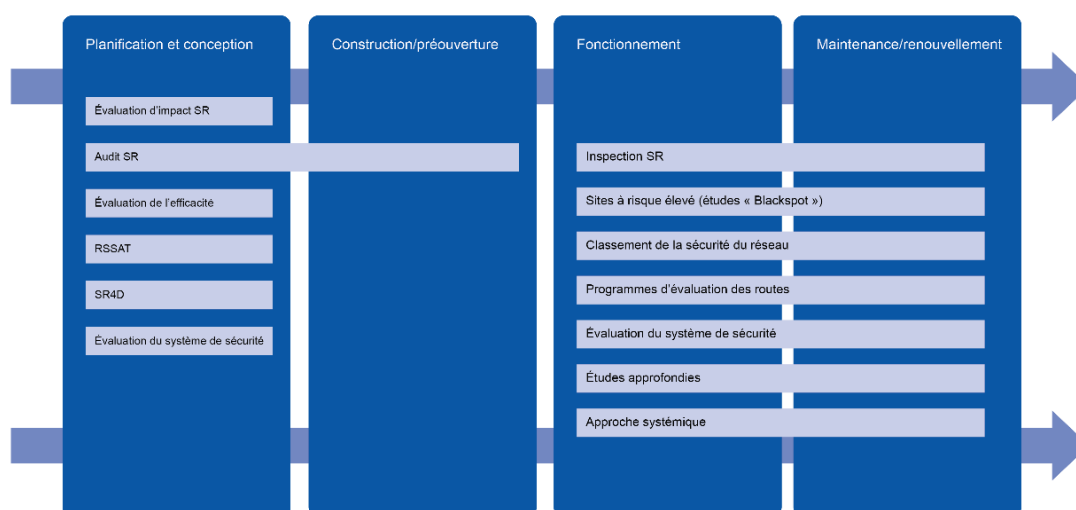
7.1. Introduction

Comme indiqué dans la section 1.3, les guides de conception routière existants sont généralement techniquement valables et essentiels pour le processus de conception, mais ils ne permettront pas aux concepteurs d'obtenir des résultats en matière de sécurité par eux-mêmes. Même une conception strictement conforme aux guides existants aboutira à des conceptions susceptibles d'entraîner des décès et des blessures graves. Il est donc très important d'utiliser des outils et des processus supplémentaires pour s'assurer que les objectifs de sécurité routière sont atteints tout au long du cycle de vie d'une route ou d'un réseau. En réponse aux connaissances sur cette question, diverses approches ont été développées au fil du temps pour aider à garantir que la sécurité est prise en compte de manière adéquate tout au long du cycle de vie d'une route.

L'approche globale de la sécurité de la conception, du fonctionnement, de l'entretien et de l'utilisation des routes est généralement appelée gestion de la sécurité des infrastructures routières. Ceci est décrit dans la norme européenne, la directive européenne 2008/96/CE,¹⁶³ ainsi que dans le PIARC Road Safety Manual,¹⁶⁴ entre autres sources. L'objectif de la gestion de la sécurité routière est d'intégrer toutes les activités de sécurité routière dans la conception et le fonctionnement d'une route ou d'un réseau de manière à adopter une approche systématique pour réduire le nombre de morts et de blessés graves.

Des exemples de techniques de sécurité utilisées à chaque étape du cycle de vie de la route sont présentés dans la figure 7.1, tandis que des détails sur ces techniques sont fournis dans la section 7.3.

Figure 7.1: Techniques de sécurité routière pour les différentes étapes du cycle de vie de la route.



Source : Adapté de Elvik 2010. Elvik R. 2010. Assessment and applicability of road safety management evaluation tools: Current practice and state-of-the-art in Europe, Institute of Transport Economics (TØI), Oslo, Norvège.

¹⁶³ Directive européenne 2008/96/CE Directive du Parlement européen et du Conseil du 19 novembre 2008 concernant la gestion de la sécurité des infrastructures routières.

¹⁶⁴ <https://roadsafety.piarc.org/en/planning-design-operation/infrastructure-management>.

Les stratégies mises en œuvre dans le cadre de la gestion de la sécurité routière peuvent inclure des approches réactives et proactives.

- Une approche réactive de la sécurité routière est associée à l'identification des lieux présentant des problèmes de sécurité (sélection), à la définition du problème (diagnostic) et à l'identification et à la mise en œuvre de contre-mesures (traitement) à partir d'un examen détaillé des données relatives aux accidents. Les améliorations de la sécurité routière sont proposées en réponse à des problèmes de sécurité identifiés, mis en évidence par des accidents survenus après la conception, la construction et l'ouverture de la route au public.
- Une approche proactive de la sécurité routière est associée à la prévention des problèmes de sécurité avant qu'ils ne se manifestent sous la forme d'un schéma d'accidents, en se concentrant sur ce que l'on sait de l'impact des différentes situations, des caractéristiques de la route et des traitements sur les résultats des blessures ou des accidents en matière de sécurité routière. L'approche proactive applique ces connaissances aux éléments de conception des routes ou aux plans d'amélioration des routes existantes afin de réduire la probabilité et la gravité des accidents.

Des années d'expérience dans l'analyse des accidents et le traitement des lieux d'accident ont permis de mieux comprendre les éléments de la route et du bord de route qui contribuent le plus au risque d'accident, ainsi que la part de chacun de ces éléments dans ce risque, ce qui rend l'approche proactive plus généralement applicable. Les approches réactives et proactives sont souvent utilisées en combinaison, l'accent passant de l'une à l'autre, en fonction de la maturité des processus globaux de gestion de la sécurité dans une organisation ou un pays, voire dans des environnements routiers différents.

Par exemple, pour un itinéraire rural présentant un nombre élevé d'accidents en sortie de route, il est souhaitable que tous les lieux potentiels de gravité élevée soient traités, que des accidents s'y soient produits ou non (l'approche basée sur l'itinéraire est décrite dans les sections ultérieures de ce guide). Contrairement à une analyse basée sur les accidents, qui ne s'intéresse qu'aux lieux sur la route où des accidents se sont déjà produits. Les endroits tout aussi risqués (en termes de routes et de bords de route) ne doivent pas être ignorés.

Quelle que soit l'approche utilisée, il est nécessaire d'identifier les déficiences en matière de sécurité qui doivent être examinées afin de diagnostiquer les problèmes de sécurité, puis d'identifier et de mettre en œuvre des contre-mesures ou des améliorations de la conception pour remédier aux déficiences avant qu'elles ne causent de graves dommages aux usagers de la route.

Afin de remédier efficacement à ces lacunes dans le cadre du processus de conception, il faut disposer d'une certaine forme de mesure de l'efficacité de la conception pour obtenir des résultats en matière de sécurité, de la même manière que les indicateurs clés de performance (KPI) sont appliqués à d'autres aspects de la conception.

7.2. Indicateurs de performance en matière de sécurité des infrastructures routières

Les indicateurs de performance en matière de sécurité des infrastructures routières (SPI) sont des mesures ayant un lien de causalité avec les accidents ou les blessures, et peuvent être utilisés en plus des chiffres concernant les accidents ou les blessures afin d'indiquer les performances en matière de sécurité ou de comprendre le processus qui conduit aux accidents. Les SPI relatifs aux infrastructures routières visent à évaluer les risques de sécurité liés à l'agencement et à la conception des infrastructures (par exemple, le pourcentage du réseau routier qui ne répond pas aux normes de sécurité).

L'inclusion d'indicateurs de performance est une pratique courante dans les grands projets d'infrastructure. Ils sont des mesures quantifiables de la performance dans le temps et fournissent des objectifs aux équipes, des jalons pour évaluer les progrès et des informations pour aider les organisations à prendre de meilleures décisions.

« Ce qui est mesuré est fait ».

La gestion à l'aide d'indicateurs de performance comprend la fixation d'objectifs (le niveau de performance souhaité) et le suivi des progrès réalisés par rapport à ces objectifs. Historiquement, les indicateurs de performance spécifiques reflétant les résultats en matière de sécurité ont rarement été appliqués à la conception routière. Dans le meilleur des cas, des expressions telles que « amélioration des résultats en matière de sécurité » sont utilisées lors de

la définition des objectifs du projet, mais ces résultats ne sont pas mesurés de manière tangible. Avec le développement de meilleures techniques d'évaluation de la sécurité dans la conception, et même la quantification de l'impact des décisions de conception sur la sécurité, il est désormais possible de mieux spécifier les résultats en matière de sécurité dans la conception.

Une étude récente de l'Association mondiale de la route (PIARC)¹⁶⁵ a montré qu'il existe quatre catégories d'indicateurs de performance généralement utilisés pour améliorer la sécurité des projets d'infrastructure routière. Ce sont les suivants :

- Le nombre ou le pourcentage du réseau qui a fait l'objet d'un audit ou d'une inspection de la sécurité routière (par exemple, l'Afrique du Sud a un objectif basé sur l'étendue du réseau évalué).
- Les objectifs du programme international d'évaluation des routes (iRAP) (par exemple, le pourcentage de déplacements sur des routes trois étoiles ou mieux ; voir ci-dessous pour des informations sur les objectifs 3 et 4 des objectifs volontaires de sécurité routière relatifs à l'infrastructure routière).
- Objectifs relatifs à la fourniture d'infrastructures sûres supplémentaires par longueur de route (par exemple, l'Estonie a des objectifs en termes de kilomètres d'infrastructures installées pour les glissières centrales, les glissières de sécurité et les bandes rugueuses sur la ligne médiane).
- Mise en place d'infrastructures sûres supplémentaires en pourcentage du réseau (par exemple, la Norvège a fixé des objectifs pour 2018 en ce qui concerne le pourcentage de véhicules à moteur circulant sur les routes nationales dont la vitesse est égale ou supérieure à 70 km/h et qui sont équipés de glissières centrales).

Depuis de nombreuses années, la réalisation d'un audit de sécurité routière fait partie intégrante du processus de conception routière dans de nombreux pays, afin d'évaluer la sécurité routière d'un projet du point de vue de tous les usagers de la route. C'est particulièrement le cas pour les projets de grande envergure. Ce processus oblige les concepteurs à envisager des améliorations de la sécurité sans objectif quantifiable. Cependant, avec l'avènement de modèles qui quantifient les résultats en matière de sécurité, y compris au niveau de la conception, il est désormais possible de spécifier les résultats en matière de sécurité d'une manière plus objective. Les modèles (dont certains

sont décrits plus loin dans cette section) peuvent fournir des comptes rendus raisonnablement précis des résultats probables en termes de sécurité pour ce qui est des blessures graves et mortelles (les principaux types d'accidents qui doivent être éliminés dans le cadre de l'approche pour un système sûr). Ces modèles peuvent également être utilisés pour fixer un seuil en ce qui concerne les risques d'accident. En théorie, il est possible de spécifier que la conception ne doit pas entraîner la mort ou des blessures graves.

Ces dernières années, un grand nombre de modèles ont été développés pour aider à évaluer l'impact des conceptions sur les résultats en matière de sécurité routière. Certains d'entre eux ont été développés pour des pays ou des environnements spécifiques, tandis que d'autres ont une application plus générale. Certains ont été conçus pour une application spécifique dans les pays à revenu intermédiaire, tranche inférieure (PRITI) ou peuvent être adaptés ou facilement utilisés dans ces pays. Plus ces outils peuvent être utilisés tôt dans le processus de conception, mieux c'est. Les modifications apportées à la conception seront probablement plus réalisables et généralement moins coûteuses si elles sont incorporées avant que la conception ne soit achevée.

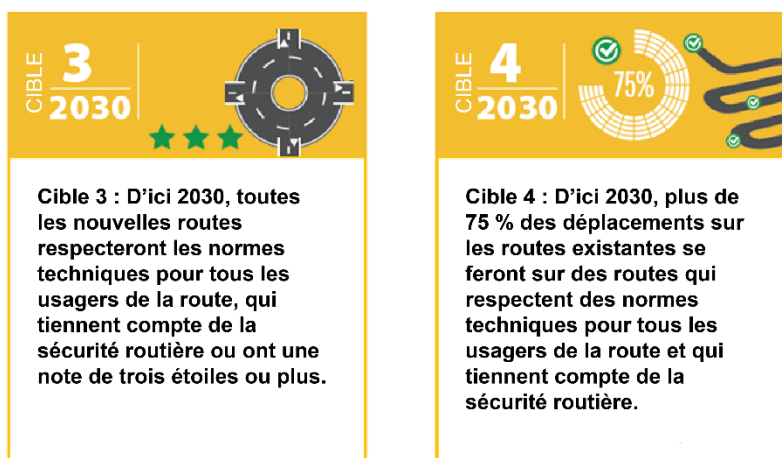
En 2016, le Laboratoire de recherche sur les transports (TRL) du Royaume-Uni a identifié et passé en revue 21 modèles de ce type utilisés au niveau international pour identifier des solutions techniques abordables et appropriées afin d'améliorer la sécurité routière sur les réseaux routiers ruraux,¹⁶⁶ tandis que certains des modèles les plus récents sont inclus dans les descriptions qui suivent.

Il est également possible de spécifier (ou de compléter) les types de dispositions de sécurité à inclure dans la conception des différents types de routes. Par exemple, sur les routes à grande vitesse et à fort trafic, les véhicules circulant dans des directions différentes doivent être séparés par un système de barrières centrales approprié. Certains pays développent désormais des sections transversales sûres pour les nouvelles routes, et dans le cadre d'améliorations qui intègrent ce type de réflexion, afin d'obtenir des résultats sûrs en matière d'infrastructures. Ces types d'indicateurs de performance (qu'ils soient basés sur les résultats des accidents, les caractéristiques des infrastructures ou des stéréotypes définis) sont généralement définis au niveau national, régional ou

¹⁶⁵ PIARC. 2019. Implementation of National Safe System Policies: A Challenge. World Road Association, Paris, France.

¹⁶⁶ Fletcher, B. Mitchell, J. Bedingfeld et K. Kolody Silverman. 2016. TRL PPR770 Road Safety Models.

Figure 7.2: Les classements par étoiles (mentionnés dans la cible 3) peuvent être obtenus à l'aide des processus décrits par le programme international d'évaluation des routes.



Source : IRAP : consultez www.irap.org.

étatique et devraient idéalement être liés à la stratégie de sécurité routière et à la capacité de financement.

Des mesures de performance pertinentes basées sur les infrastructures ont été établies à l'échelle mondiale. De nombreux gouvernements ont inclus des objectifs de sécurité routière pour soutenir les objectifs de développement durable (ODD), qui ont été adoptés par tous les États membres des Nations unies en 2015. Cela a conduit à l'élaboration d'objectifs volontaires de performance en matière de sécurité routière au niveau mondial.¹⁶⁷ Deux de ces objectifs concernent spécifiquement la sécurité des infrastructures routières (figure 7.2). La cible 3 stipule que « d'ici à 2030, toutes les nouvelles routes respecteront des normes techniques pour tous les usagers de la route qui tiennent compte de la sécurité routière ou qui sont classés trois étoiles ou plus ». La cible 4 déclare que « d'ici à 2030, plus de 75 % des déplacements sur les routes existantes se font sur des routes qui répondent à des normes techniques pour tous les usagers de la route et qui tiennent compte de la sécurité routière ».

L'utilisation d'un ou plusieurs de ces types d'indicateurs de performance est fortement recommandée dans le cadre des politiques nationales de transport ainsi qu'au niveau des projets lors de leur conception. Une étude récente a montré que l'application de mesures de sécurité dans le cadre du processus de conception peut doubler les bénéfices en matière de sécurité (ou réduire de moitié le nombre de décès et de blessures graves), souvent à un coût

supplémentaire faible ou nul.¹⁶⁸

7.3. Outils et techniques d'infrastructure

Cette section contient des informations introductives sur certains outils et techniques d'infrastructure de sécurité routière qui peuvent être utilisés pour évaluer les risques et identifier des solutions. En général, plus ces outils peuvent être utilisés tôt dans le processus de conception, mieux c'est. Des modifications précoces de la conception sont susceptibles d'être plus faciles à mettre en œuvre et sont généralement moins coûteuses. Les outils inclus sont ceux qui sont les plus susceptibles d'être utilisés par les concepteurs de routes. Des exemples des outils les plus courants sont inclus, ainsi que des informations sur certains outils émergents prometteurs. Ils sont présentés dans le même ordre que celui de la figure 7.1.

Évaluation de l'impact sur la sécurité routière

Il est essentiel de pouvoir estimer explicitement l'impact sur la sécurité routière de la construction de nouvelles routes ou de modifications substantielles de l'infrastructure routière existante qui altèrent la capacité du réseau routier dans une certaine zone géographique, si l'on veut éviter que la sécurité routière ne pâtisse involontairement de ces changements. Il en va de même pour d'autres projets et développements qui ont des effets substantiels sur la structure du trafic routier. La procédure conçue à cette fin est connue sous le nom d'évaluation de l'impact sur la

¹⁶⁷ https://www.who.int/violence_injury_prevention/road_traffic/12GlobalRoadSafetyTargets.pdf.

¹⁶⁸ Turner, B., et Ahmed, F. 2018. Evaluation of Safe System Assessments. VicRoads, Australie.

sécurité routière (RSIA) (Wegman et al. 1994).¹⁶⁹ Cette procédure est destinée à être appliquée au stade de la planification, souvent en procédant à une conception définitive du projet. L'évaluation des incidences sur la sécurité précède et complète donc l'audit de sécurité éventuel de toute conception spécifique du projet.

La méthode des scénarios est utilisée pour réaliser une RSIA. Le point de départ est le réseau routier existant, la structure actuelle du trafic sur ce réseau et le niveau des accidents de la route signalés dans la région. Les schémas de circulation actuels incluent l'utilisation de tous les usagers ; motorisés et non motorisés ; bien que les données sur les déplacements non motorisés soient notoirement difficiles à obtenir au même niveau que les données sur les déplacements motorisés. Il est utile, mais pas indispensable, que toutes ces informations soient représentées sous forme numérique dans un système d'information géographique (GIS).

Les informations nécessaires concernent un réseau routier composé de plusieurs types de routes ayant des caractéristiques différentes en matière de sécurité routière. Chaque route se compose de carrefours et de tronçons de route entre les carrefours, avec les volumes de trafic associés pour chaque groupe d'utilisateurs, ainsi que le nombre de collisions et de victimes.

Les scénarios alternatifs à cette situation actuelle sont les changements possibles étudiés en ce qui concerne l'infrastructure physique et les volumes de trafic associés dans le réseau routier à l'avenir. Si, par exemple, une nouvelle route doit être ajoutée au réseau existant, les modèles de trafic et de transport peuvent être utilisés pour estimer ce que cela signifiera pour les volumes de trafic sur l'ensemble du réseau à l'avenir.

L'étape centrale consiste à interpréter ces changements en termes d'impact sur le nombre d'accidents et de victimes. Pour ce faire, il est nécessaire de disposer d'indicateurs quantitatifs de risque (tels que les taux de victimes par million de véhicules par kilomètre) pour chaque type de route et d'usager, complétés, si possible, par des indicateurs correspondants pour chaque grand type de carrefour. Une façon d'obtenir de tels indicateurs est de les estimer au

niveau national et de les ajuster si nécessaire, en utilisant les données de la zone concernée. En outre, il convient de réfléchir à toute évolution attendue dans le temps du niveau de risque pour chaque type de route ou de carrefour. Ce type d'informations permet d'estimer les incidences sur la sécurité pendant toute la durée du cycle de vie de la route.

Si les différentes données sont accessibles à partir d'un ordinateur, il est possible de calculer les incidences sur la sécurité d'une série de scénarios et de comparer les incidences de différents scénarios. La procédure peut être adaptée pour aider à identifier les changements nécessaires dans un scénario donné afin de ramener l'impact sur la sécurité dans une certaine fourchette.

Lors de la mise en œuvre de cette technique de scénario, il est important de garder à l'esprit la qualité des informations utilisées. Il est également important que l'information soit accessible de manière à ce que les calculs pour une série de scénarios puissent être élaborés à des coûts relativement modestes dans un court laps de temps. À cette fin, les modèles de trafic et de transport devraient être conçus de manière à ce qu'un module RSIA permettant d'appliquer les indicateurs de risque pertinents pour les années à venir puisse être facilement relié à ces modèles. Cela nécessite un investissement proportionnel plus important dans les dispositifs de sécurité dans les conceptions des mesures de sécurité dans les PRITI afin d'obtenir ces améliorations globales.

L'adoption de ce type de méthodologie d'évaluation des risques permet de prendre en considération les changements futurs d'utilisation des sols et la possibilité que ces changements empiètent sur le corridor routier et modifient la fonction et le risque de sécurité qui en découlent. En outre, elle permet d'influencer le comportement des usagers de la route en introduisant des pistes cyclables et des voies piétonnes afin d'encourager les modes de déplacement durables, dont beaucoup font défaut dans les PRITI et nécessitent une attention supplémentaire pour développer des réseaux complets.

¹⁶⁹ Wegman, F. C. M., Roszbach, R., Mulder, J. A. G., Schoon, C. C. et Poppe, F. 1994. SWOV Road safety impact assessment: RIA. Rapport R-94-20. Leidschendam : SWOV Institute for Road Safety Research.

Audit de sécurité routière

Les audits de sécurité routière sont appliqués aux projets de conception routière depuis plusieurs décennies et constituent une approche bien établie dans les pays à revenu élevé (PRE) comme dans les PRITI. Un grand nombre d'experts ont été formés à l'application de cette approche, et l'industrie est largement consciente des avantages que présente l'application de ces audits.

Le processus d'audit de sécurité routière (RSA) implique des équipes d'experts indépendants qui évaluent les conceptions à un ou plusieurs stades de développement du projet par le biais d'un processus formel afin d'identifier les risques liés à la sécurité. Plus l'audit est entrepris tôt dans le processus de conception, plus les avantages en matière de sécurité sont importants et faciles à obtenir. Les audits de sécurité routière ne constituent pas une vérification de la conformité aux normes de conception (comme indiqué au point 1.3, la conformité à ces normes ne garantit pas une conception sûre). Ces équipes d'experts examinent les projets et évaluent, sur la base de leur expérience, l'impact sur la sécurité de tous les usagers de la route. Les problèmes de sécurité routière sont documentés et une priorité est généralement accordée à la résolution de ces problèmes. On attend des concepteurs qu'ils abordent chacune de ces questions dans la mesure du possible.

Compte tenu de la large adoption internationale des audits de sécurité routière, il existe un grand nombre de directives sur la manière de mener les audits, notamment au Royaume-Uni,¹⁷⁰ en Australie,¹⁷¹ aux États-Unis,¹⁷² en Afrique,¹⁷³ en Asie¹⁷⁴ et à l'Association mondiale de la route (PIARC).¹⁷⁵ Le processus décrit dans chacun de ces documents est largement similaire.

Les évaluations des avantages des audits de sécurité routière ont montré que le processus produit des résultats positifs, souvent pour un coût très faible. Par exemple, une étude australienne a montré que 75 % des recommandations mises en œuvre avaient des avantages qui dépassaient largement les coûts, dans une proportion

de 10 contre 1.¹⁷⁶ Les coûts liés à la réalisation des audits ne représentent qu'un faible surcoût, estimé à environ 4 % du coût total de la conception¹⁷⁷ (en notant que le coût de la conception ne représente qu'une petite partie du coût total du projet par rapport à la construction), tandis que les coûts liés à la mise en œuvre des changements recommandés sont également souvent faibles (65 % des recommandations ont un coût inférieur à 1 000 USD).

Bien que les audits de sécurité routière puissent conduire à des bénéfices substantiels en matière de sécurité routière, cela n'est possible que si les audits sont menés correctement par une équipe expérimentée. Les audits, en particulier les audits approfondis, peuvent également déboucher sur un grand nombre de recommandations auxquelles les concepteurs peuvent avoir du mal à répondre. Toutefois, les recommandations d'audit pourraient être classées selon différentes priorités en fonction du risque potentiel pour la sécurité et du coût du traitement nécessaire pour y remédier. Cette hiérarchisation relève de la décision de l'équipe de conception, car l'audit ne porte que sur des considérations de sécurité. Enfin, le plus grand obstacle à la réussite des audits est le fait que les recommandations ne sont souvent pas prises en compte. Il est donc nécessaire de mettre en place un processus solide pour s'assurer que cette étape est franchie, et notamment que les décisions prises par l'équipe de conception en réponse aux audits sont bien documentées.

Évaluation de l'efficacité

Les budgets consacrés aux transports en général et à la sécurité routière en particulier doivent être dépensés de la manière la plus optimale possible. Les outils d'évaluation de l'efficacité (EA) (par exemple, les analyses coûts-avantages) déterminent les effets pour la société d'un investissement donné, par exemple dans le domaine de la sécurité routière, afin de hiérarchiser les alternatives d'investissement.

Une analyse coûts-bénéfices complète est une tâche extrêmement exigeante à réaliser correctement. Elle

¹⁷⁰ <http://www.standardsforhighways.co.uk/dmrb/search/710d4c33-0032-4dfb-8303-17aff1ce804b>.

¹⁷¹ <https://austroads.com.au/publications/road-safety/agrs06>.

¹⁷² <https://safety.fhwa.dot.gov/rsa/guidelines/>.

¹⁷³ <https://www.afdb.org/en/documents/document/road-safety-manuals-for-africa-new-roads-and-schemes-road-safety-audit-51937>.

¹⁷⁴ <https://www.adb.org/publications/carec-road-safety-audit-engineering-manual>.

¹⁷⁵ <https://www.piarc.org/en/order-library/3875-en-Road%20Safety%20Auditsandhttps://www.piarc.org/en/order-library/31994-en-Review%20of%20Global%20Road%20SafetyAudit%20Guidelines%20E2%80%93%20With%20Specific%20Consideration%20for%20Low-%20and%20Middle-IncomeCountries>.

¹⁷⁶ Macauley, J. et McInerney, R. 2002. Evaluation of the proposed actions emanating from road safety audits, AP-R209/02, Austroads, Sydney, NSW.

¹⁷⁷ Morgan, R., Tziotis, M., Turner, B. et Epstein, J. 2019. Guide to Road Safety Part 6A: Implementing Road Safety Audits, Austroads, Sydney, Australie.

nécessite l'évaluation de tous les coûts et avantages monétaires significatifs, généralement sur toute la durée de vie d'un projet. Elle doit inclure les coûts annuels de maintenance, tous les impacts environnementaux et sociaux, et tous les coûts doivent être ramenés à une valeur unique pour l'année de référence, et la croissance du PIB au cours de la période d'évaluation doit être prise en compte. Il s'agit d'un processus approfondi qui peut nécessiter des efforts considérables et qui n'est donc pas forcément adapté aux petits régimes.

La méthode la plus simple pour réaliser une EA est celle du rapport coût-efficacité (CE). En CE, le coût qui doit être dépensé pour chaque accident évité dans les systèmes alternatifs et concurrents est estimé pour aider à prioriser les investissements. Cette approche est généralement appliquée au traitement des petites améliorations ou des sites à haut risque et évalue l'ensemble du programme de solutions de conception à appliquer plutôt que le rapport coût-efficacité d'un projet individuel.

Les principaux paramètres requis sont les suivants :

- Le nombre d'accidents par an sur une période déterminée, généralement de trois à cinq ans,
- L'efficacité estimée de chaque dispositif en tant que réduction attendue du nombre d'accidents après sa mise en œuvre, et
- Le coût total estimé des actions proposées.

Cela donne une valeur qui représente le coût nécessaire pour éviter un seul accident pour chaque système proposé. Les régimes potentiels peuvent être classés par ordre décroissant des CE calculés, et les régimes présentant les valeurs les plus faibles devraient être mis en œuvre de préférence.

Le taux de rendement de la première année (FYRR) est couramment utilisé pour évaluer les régimes à faible coût. Dans cette méthode, il est nécessaire de calculer les coûts de collision en plus des paramètres requis pour effectuer un CE. Cette approche nécessite le calcul du coût du traitement, du coût moyen de l'accident et une estimation des économies réalisées.

Le FYRR le plus simple sera estimé comme suit :

$$\text{FYRR} = (100 \times \text{économie annuelle de pertes humaines} \times \text{coût des pertes humaines}) / \text{coût du système}$$

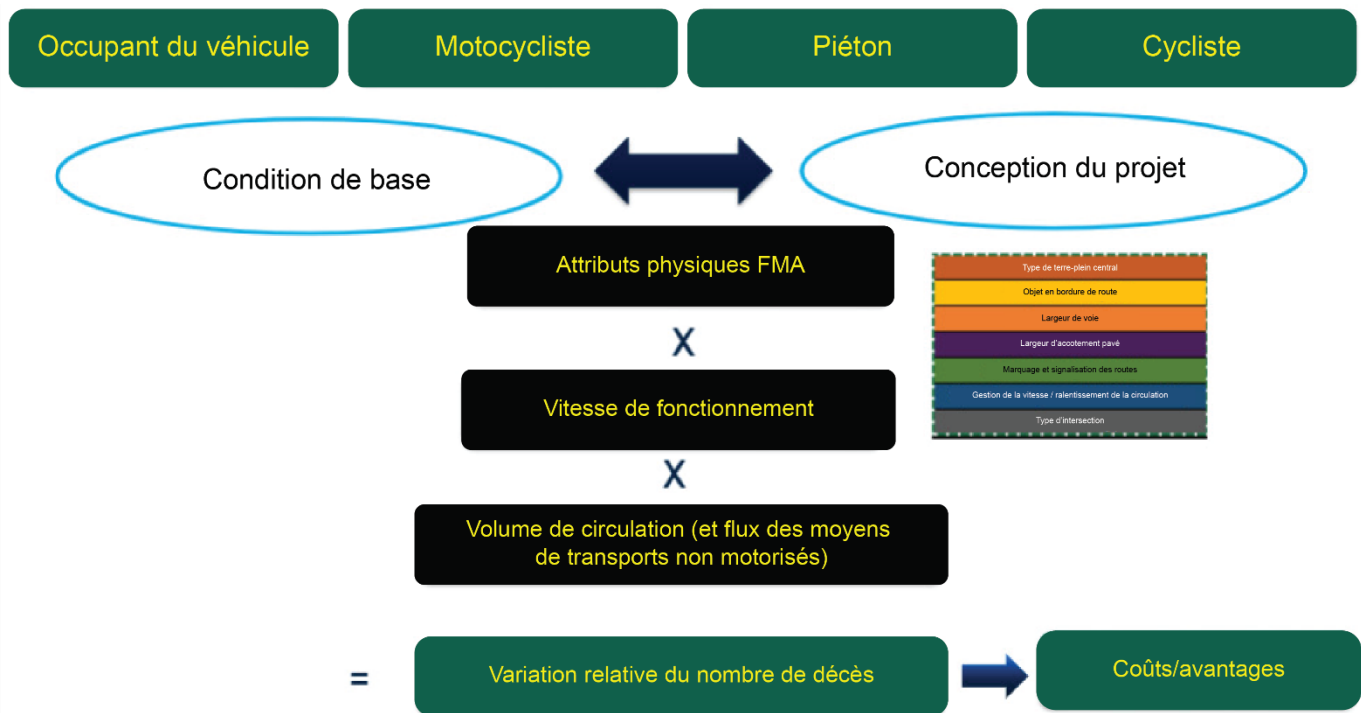
La variable la plus importante est l'efficacité estimée, qui repose sur une bonne compréhension de l'efficacité des interventions en matière de sécurité.

L'efficacité des interventions de sécurité mises en œuvre dépend fortement de l'application appropriée de ces mesures pour traiter un problème spécifique. Cela ne peut être déterminé que par une compréhension approfondie des facteurs sous-jacents déterminés par un examen intensif des données sur les accidents et un suivi minutieux de chaque mesure mise en œuvre. Au niveau international, il s'agit d'une activité qui n'est pas entreprise avec autant de diligence qu'elle le devrait. Par conséquent, toute économie potentielle revendiquée pour des traitements particuliers doit être considérée avec une extrême prudence, à moins que l'on ne dispose de preuves solides de leur efficacité dans des situations réellement comparables. En l'absence de suivi et d'évaluation, une grande partie des avantages revendiqués pourrait être le résultat de variations statistiques dues à des événements purement aléatoires.

Outil de dépistage et d'évaluation de la sécurité routière

La Banque mondiale et le GRSF ont mis au point un outil d'évaluation et d'examen de la sécurité routière (RSSAT) qui évalue l'impact des projets sur la sécurité routière, à la fois en termes relatifs (en comparant les risques avec et sans projet) et en termes de risques absolus. Le RSSAT, facile à utiliser, produit une mesure appelée impact sur la sécurité du projet (PSI), qui est le rapport entre le nombre de tués sur les routes avec le projet et sans le projet. Il attribue également un niveau de risque de sécurité routière à la situation existante et au scénario du projet sur la base du nombre de tués et, enfin, il présente les coûts et bénéfices monétaires de la sécurité routière au cours de la période d'analyse du projet. L'ISP est généré en prenant en compte les avantages de la réduction des accidents liés aux caractéristiques physiques, à la vitesse de circulation et aux volumes de trafic (y compris pour le trafic non motorisé), comme le montre la figure 7.3. Le RSSAT peut être utilisé dès le début de la préparation d'un projet pour tester différents

Figure 7.3: Processus d'ISP.



Pour de plus amples informations, veuillez consulter le site web du GRSF. <https://www.roadsafetyfacility.org/global-road-safety-tools#tab2>.

scénarios de conception routière et prendre une décision éclairée sur la conception de la section transversale la plus sûre.

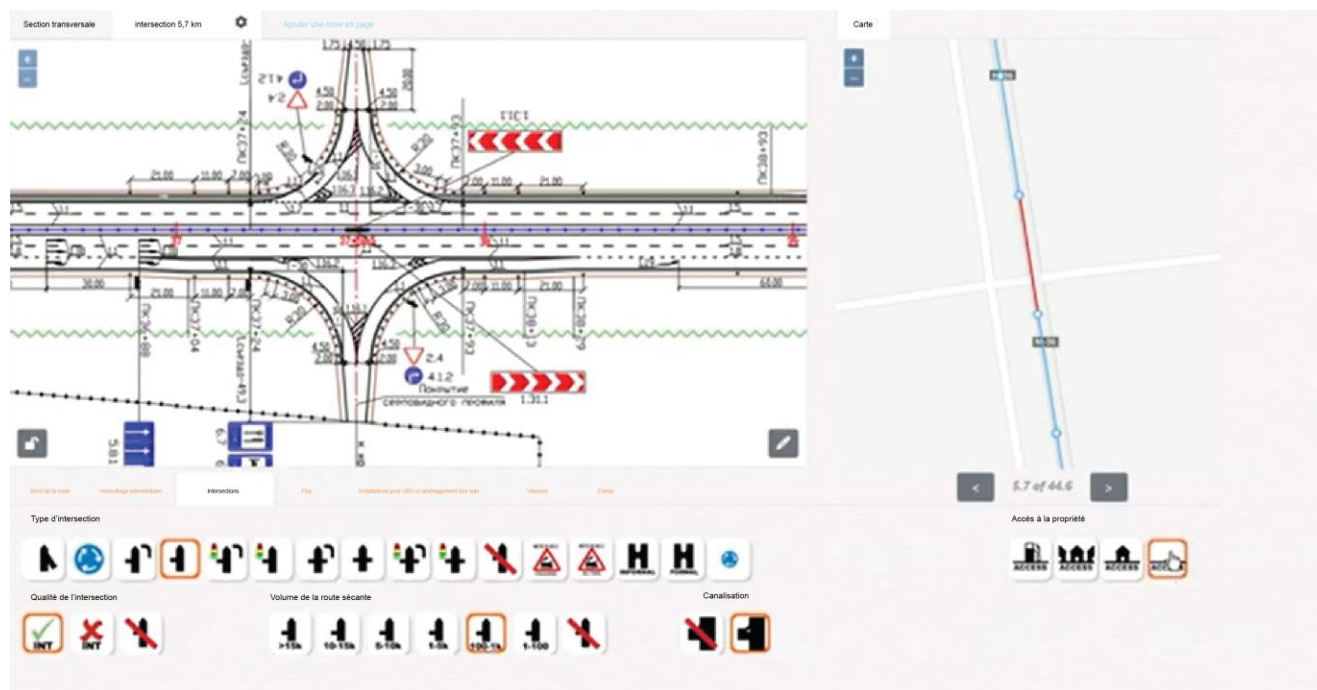
La version actuelle du RSSAT (v1) est uniquement basée sur les caractéristiques de conception routière, la vitesse et la composition du flux de trafic. Toutefois, moyennant un effort supplémentaire, cet outil peut être étendu à d'autres interventions de sécurité routière liées aux facteurs de risque des usagers de la route (par exemple, le port de la ceinture de sécurité, le respect des règles, etc.), à la sécurité des véhicules, et ainsi de suite. Le RSSAT est destiné à être utilisé pour des projets d'entretien, de réhabilitation ou de reconstruction et amélioration de routes existantes, y compris l'élargissement des voies ou le passage d'un revêtement en gravier à un revêtement en bitume. Le RSSAT peut être appliqué aux routes classées comme routes rurales, autoroutes interurbaines, voies rapides à accès contrôlé et routes urbaines, y compris les artères. Il n'est pas destiné à être utilisé pour la construction de nouvelles routes (par exemple, des projets entièrement nouveaux) ni pour des projets de transport en commun rapide (Bus à haut niveau de service [voie BHNS], Métro léger [LRT] ou Métro [MRT]).

Classement par étoiles pour la conception (CEPC)

La méthodologie iRAP (décrite ci-dessous) peut être utilisée pour évaluer la sécurité de la conception routière et pour identifier les moyens d'améliorer cette conception avant que les routes ne soient construites ou améliorées. L'un des moyens d'y parvenir est d'utiliser l'application web de CEPC développée par l'iRAP avec le soutien financier du GRSF.

Le processus peut être appliqué par tout ingénieur ou praticien de la sécurité routière ayant reçu une formation adéquate et est facilement incorporé dans le processus de conception routière. CEPC fournit un « classement par étoiles » objectif pour chaque type d'utilisateur de la route (piéton, occupant de véhicule, motocycliste et cycliste) sur la base de différents éléments de conception routière tirés des conceptions proposées et codifiées par les usagers. Les éléments clés de la conception sont sélectionnés en un clic à partir d'un menu d'options.

Figure 7.4: Options de sélection des carrefours pour le CEPC.



Pour plus d'informations, consultez https://www.irap.org/3-star-or-better?et_open_tab=et_pb_tab_3#mytabs|3.

Par exemple, la figure 7.4 présente différentes options pour le type de carrefour, la qualité et le volume des routes qui s'y croisent. Une fois les éléments de conception sélectionnés, l'outil utilise la méthode iRAP pour générer un score de risque ou un classement par étoiles, une approche qui permet de qualifier de manière reproductible le risque pour l'utilisateur de la route. Outre le classement par étoiles, la méthode peut également être utilisée pour produire des statistiques sur diverses caractéristiques routières liées à la sécurité (telles que le pourcentage de la route ou de la conception avec des passages pour piétons de bonne qualité); des estimations du nombre de tués et de blessés graves associés aux conceptions, y compris l'identification des lieux où les chiffres sont susceptibles d'être les plus élevés et les plus bas; et des plans d'investissement pour des routes plus sûres (SRIP) qui énumèrent les contre-mesures de sécurité qui pourraient être ajoutées de manière viable à la conception pour améliorer la sécurité dans le cadre d'un budget spécifié. Le classement par étoile peut être utilisé pour fixer une « note de validation » objective pour les conceptions, et leur utilisation est cohérente avec des objectifs de performance plus larges qui peuvent être fixés dans le cadre d'une stratégie plus vaste, comme décrit dans la section précédente.

Cadre d'évaluation du système sûr

Le cadre d'évaluation du système sûr (SSAF) est un outil qui évalue la conception des projets afin de déterminer la probabilité de blessures graves ou mortelles. L'outil concerne principalement les piliers route sûre et vitesse sûre du système sûr, mais il fournit également aux concepteurs des invites à prendre en compte les autres piliers (usager de la route, véhicule et soins après l'accident) sur lesquels ils peuvent influencer pour contribuer à la réalisation de conceptions sûres. Il est possible d'évaluer les projets (ou leurs éléments) afin de déterminer l'impact des décisions de conception sur les conséquences fatales et graves. Il permet également d'identifier les changements qui pourraient être appliqués pour un meilleur alignement des conceptions sur les résultats d'un système sûr.

Le cadre décompose les conceptions en éléments de base, comprenant les principaux types d'accidents et d'utilisateurs de la route qui entraînent des décès et des blessures graves. Ces types d'accidents sont les suivants :

- Sortie de route,
- Collision frontale,
- À un carrefour,
- Collision arrière et autres,
- Piétons,
- Cycliste, et
- Moto.

Chacun de ces types d'accidents est évalué en fonction de différentes composantes du risque, à savoir

- Exposition,
- Probabilité, et
- Gravité.

Une estimation est faite de la contribution de chacun de ces types de risque par rapport à chacun des principaux types d'accidents. Une échelle subjective de 0 à 4 est appliquée, 0 indiquant une contribution minimale et 4 un impact important sur les résultats en matière de sécurité.

Une matrice comprenant ces types d'accidents et de risques est utilisée, comme le montre la figure 7.5.

Un score total est obtenu, un score faible indiquant une grande conformité au système sûr, et un score élevé indiquant une faible conformité (et donc un risque élevé d'accident mortel ou grave en raison de la conception). Des directives sont également disponibles sur les interventions appropriées pour contribuer à un alignement plus précis sur les objectifs du système sûr. Ce cadre a été largement appliqué dans plusieurs pays, en particulier au stade de la conception et du début de l'élaboration du projet. Une étude a montré que l'application du cadre avait un impact positif sur la conception des projets routiers. Sur la base d'une estimation de la réduction des accidents avant et après l'évaluation, il a été conclu que les avantages en termes de réduction des accidents mortels et des blessures graves peuvent être doublés en appliquant cette approche aux phases de développement, de conception et de livraison des infrastructures.

Le cadre et les directives¹⁷⁸ peuvent être téléchargés sur le site web Austroads à l'adresse suivante : <https://austroads.com.au/publications/road-safety/ap-r509-16>.

Figure 7.5: Matrice du cadre d'évaluation du système sûr.

	Sortie de route	Impact frontal	Intersection	Autre	piéton	Cycliste	Motocycliste
Exposition	TMJA ; longueur du segment de route	TMJA ; longueur du segment de route	TMJA pour chaque approche ; taille de l'intersection	TMJA ; longueur du segment de route	TMJA ; nombre de piétons ; largeur du passage piéton ; longueur du segment de route	TMJA ; nombre de cyclistes ; piétons	TMJA ; nombre de motos ; longueur du segment de route
Probabilité	Vitesse ; géométrie ; accotements ; glissières de sécurité ; compensation des dangers ; guidage et délimitation	Geometría; separación; orientación y delineación; velocidad	Type de contrôle ; vitesse ; conception, visibilité ; points de conflit	Vitesse ; distance de visibilité ; nombre de voies ; friction de la surface	Conception des installations ; séparation ; nombre de directions conflictuelles ; vitesse	Conception des installations ; séparation ; vitesse	Conception des installations ; séparation ; vitesse
Sévérité	Vitesse ; caractéristiques et conception des bords de route (par exemple, glissières de sécurité souples)	Vitesse	Angles d'impact, vitesse	Vitesse	Vitesse	Vitesse	Vitesse

Source : Austroads.

¹⁷⁸ Austroads. 2016. Safe System Assessment Framework, AP-R509-16. Austroads, Sydney, Australie.

Inspection de la sécurité routière

Une inspection de la sécurité routière (RSI) est un examen systématique des dispositions de sécurité sur une route existante, en particulier en ce qui concerne les dispositions et les dangers associés aux feux de signalisation, aux caractéristiques du bord de la route, aux facteurs de risque environnementaux et à l'état de la surface de la route. Les RSI reposent sur des approches similaires à celles des audits de sécurité routière (RSA). La principale différence entre les RSI et les RSA est que les RSA sont réalisés sur des projets nouveaux ou de réhabilitation pour lesquels des équipes de conception sont en place, tandis que les RSA sont réalisés sur des routes existantes pour lesquelles aucune proposition d'amélioration n'a encore été formulée. Un RSI est une approche proactive qui implique un examen systématique d'une route existante en conduisant et en marchant afin d'identifier les conditions dangereuses, les défauts et les insuffisances de l'environnement routier qui peuvent entraîner des blessures pour l'utilisateur de la route.

Sites à haut risque

L'identification et le traitement des sites à haut risque utilisent les données sur les accidents et l'utilisation des routes pour comprendre les problèmes de sécurité routière. En fonction de la qualité et des détails enregistrés dans les données d'accidents, plusieurs types d'analyses peuvent être entrepris, chacun avec un niveau de granularité différent :

- Une analyse spécifique des sites est entreprise pour identifier les emplacements du réseau où une concentration d'accidents s'est produite. Ils sont ensuite examinés en détail pour comprendre la nature des accidents, et une visite du site est effectuée. Un programme de traitement correctif est alors conçu et mis en œuvre.
- L'analyse des corridors et des itinéraires permet d'identifier les tronçons de route peu performants. Ils peuvent alors être examinés, inspectés et faire l'objet d'un programme de traitement.
- L'analyse de zone est entreprise pour comprendre les types d'accidents qui se produisent dans une zone et qui peuvent être plus répandus que pour un seul site ou un seul itinéraire.

Une fois l'identification effectuée, les sites peuvent être classés par ordre de priorité afin de maximiser la réduction du nombre de victimes en fonction du budget disponible.

Classement de la sécurité du réseau

Le classement de la sécurité du réseau (NSR) est une méthode définie à l'article 5 de la directive 2008/96/CE de l'UE pour identifier, analyser et classer les parties du réseau routier existant en fonction de leur potentiel de développement de la sécurité et de réduction des coûts liés aux accidents. Le NSR examine un réseau routier existant afin d'identifier les problèmes de sécurité potentiels et constitue donc une possibilité de développement de la sécurité.¹⁷⁹ Le NSR est basé sur des données d'accidents et s'appuie largement sur un calcul de différents paramètres, comme les accidents par km, le nombre d'accidents par véhicule et par km, ou les taux de coût des accidents.

En fonction des paramètres utilisés, des données supplémentaires, telles que des données sur le trafic ou l'infrastructure, peuvent être nécessaires. Les différentes sections d'un réseau routier peuvent être classées et hiérarchisées en fonction du critère selon lequel « les investissements dans la sécurité routière auront l'impact le plus important ». Elle peut également conduire à d'autres étapes, comme la réalisation d'une RSI avant l'application de mesures plus coûteuses (par exemple, en matière d'infrastructures).

Il n'existe pas de définition générale ou de procédure pour segmenter un réseau routier. En général, un tronçon doit présenter des caractéristiques homogènes, par exemple en termes de conception géométrique, de densité du trafic, d'utilisateurs de la route ou d'environnement adjacent. Les carrefours peuvent devoir être examinés séparément. Le type d'indicateur choisi pour le classement doit être décidé dans chaque cas et peut également dépendre des données disponibles.

Programmes d'évaluation des routes

Ils impliquent la collecte de données sur les caractéristiques des routes, qui sont ensuite utilisées pour quantifier le risque, identifier les déficits de sécurité ou déterminer dans quelle mesure l'environnement routier protège l'utilisateur de la mort ou de blessures graves en cas d'accident. Il existe un certain nombre de programmes de ce type dans le monde,

¹⁷⁹ Transport Infrastructure Ireland (TII). 2014. Network Safety Ranking GE-STY-01022.

chacun d'entre eux étant placé sous la bannière générale du Programme international d'évaluation des routes (iRAP).¹⁸⁰

Le classement par étoiles est calculé en fonction de la conception routière et d'autres éléments ayant un impact sur la sécurité. Le classement par étoiles indique le risque relatif de décès et de blessures graves pour un usager de la route donné et est basé sur des facteurs tels que la probabilité d'accident, la gravité, la vitesse de circulation et la fluidité du trafic. Un score de risque est généré à l'aide d'un algorithme, lui-même basé sur une base de données internationale sur les risques d'accident.

Un classement de 1 étoile indique que la route est de mauvaise qualité, tandis qu'un classement de 5 étoiles signifie que la route est de haute qualité du point de vue de la sécurité, avec un faible risque de décès ou de blessures graves pour les usagers de la route. Des étoiles sont également attribuées aux différents types d'usagers de la route (occupants des véhicules, piétons, cyclistes et motocyclistes).

Des objectifs politiques ont été fixés dans un certain nombre de pays en ce qui concerne ce classement par étoiles, notamment en Suède, aux Pays-Bas, en Malaisie, en Nouvelle-Zélande, en Chine, au Chili, en Australie et au Royaume-Uni. À titre d'exemple, dans le cadre du plan d'action national pour la sécurité routière de 2018 à 2020, le gouvernement australien a inclus une action visant à améliorer le classement par étoiles sur l'ensemble du réseau routier, dans le but d'obtenir un classement AusRAP

de 3 étoiles ou plus pour 80 % des trajets sur les routes d'État, dont un minimum de 90 % des trajets sur les autoroutes nationales. Afin de mettre en œuvre ces objectifs politiques nationaux, les conceptions de projets peuvent être évaluées afin de déterminer le classement par étoiles des conceptions individuelles. L'outil iRAP de classement par étoiles pour la conception (CEPC, voir ci-dessus) a été développé pour cette tâche.

Des propositions de conception spécifiques sont ensuite élaborées afin de réduire le risque de blessures et de collisions futures. Un certain nombre d'outils sont disponibles pour aider à l'évaluation des risques et de l'efficacité potentielle des traitements, notamment le logiciel iRAP VIDA.

Pour en savoir plus

Austroroads. 2015. Guide to Road Safety Part 8— Treatment of Crash Locations.

Austroroads. 2006. Guide to Road Safety Part 7—Road Network Crash Risk Assessment and Management.

African Development Bank. 2014. Road Safety Manuals for Africa:

- New Roads and Schemes Road Safety Audit;
- Existing Roads—Proactive Approaches;
- Existing Roads—Reactive Approaches.

¹⁸⁰ www.irap.org.

8. DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE CLÉS

AASHTO. 2010. Highway Safety Manual.

AASHTO. 2015. Roadside Design Guide.
<https://downloads.transportation.org/RSDG-4-Errata.pdf>

AASHTO 2018. A Policy of Development of Highways and Streets 7th edition.

Australian Road Safety Engineering Toolkit.
<https://engtoolkit.com.au/default.asp?p=issue&i=15>.

Commission européenne. Getting Initial Safety Design Principles Right.

https://road-safety.transport.ec.europa.eu/statistics-and-analysis/sta-tistics-and-analysis-archive/roads/getting-initial-safety-design-principles-right_en

EUR-Lex. 2008. Directive 2008/96/CE du Parlement européen et du Conseil. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A32008L0096>

FHWA. 2009. Manual on Uniform Traffic Control Devices (MUTCD).

iRAPToolkit.

<http://toolkit.irap.org/default.asp?page=treatment&id=23>.

PIARC. 2008. Human Factors Guidelines for Safer Road Infrastructure.

PIARC. 2019. Road Safety Manual. Accessible à l'adresse <https://roadsafety.piarc.org/en>.

Sustainable Safety 3rd edition – The advanced vision for 2018-2030: Principles for design and organization of a casualty-free road traffic system.
<https://swov.nl/nl/publicatie/sustainable-safe-ty-3rd-edition-advanced-vision-2018-2030>

Banque mondiale. 2005. Sustainable safe road design: A practical manual.

UNESCAP. 2016. Intergovernmental Agreement on the Asian Highway Network, Annexure II Asian Highway Classification and Design Standards.
<https://www.unescap.org/resources/intergovernmental-agreement-asian-highway-network>.

