

## 1. Vélo, sécurité, santé et politiques : liens nécessaires, approches possibles

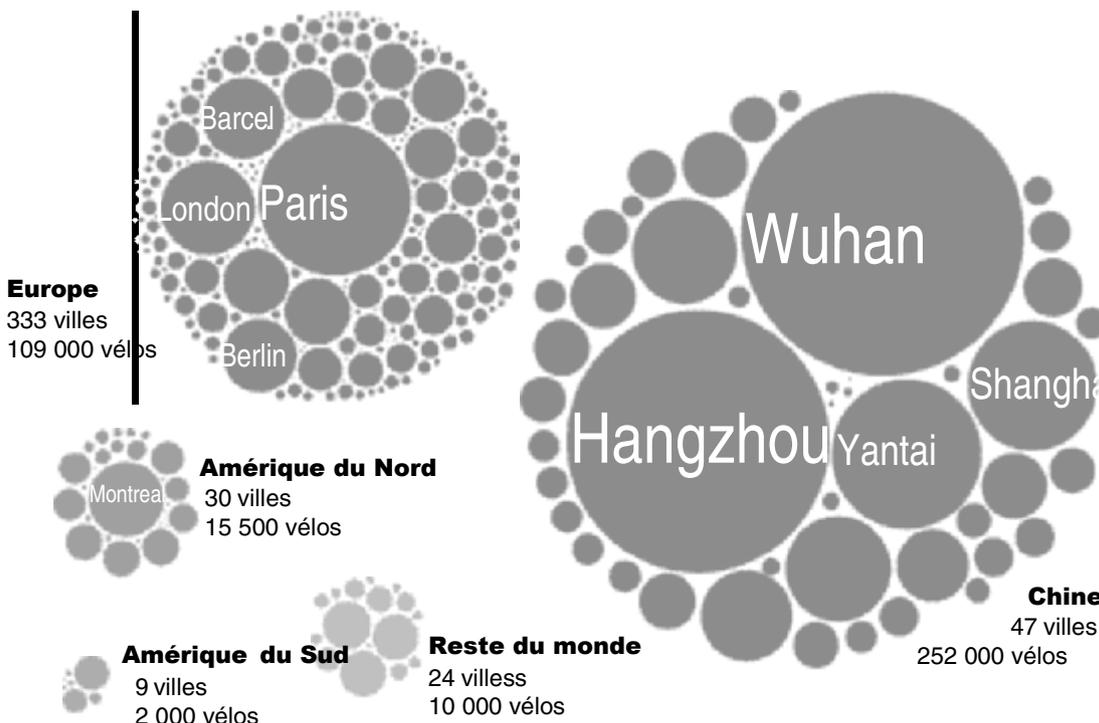
De nombreux pays promeuvent le vélo comme moyen d'améliorer la santé et la qualité de vie tout en réduisant les effets négatifs du transport en termes d'encombrement et de pollution. La sécurité, toutefois, est une préoccupation clé étant donné le manque relatif de protection des cyclistes en tant qu'usagers de la route. Ce chapitre passe en revue les principaux aspects de la sécurité des cyclistes en les intégrant dans une réflexion plus large sur la santé, la sécurité et la pratique du vélo. Les effets négatifs des accidents sur la santé des cyclistes ne constituent qu'un aspect des impacts de santé du vélo, qui est d'ailleurs souvent surestimé dans les discussions de fond. C'est pourquoi ce chapitre examine l'ensemble des effets du vélo sur la santé et les éléments indispensables pour évaluer l'action des pouvoirs publics en faveur de ce mode de transport. Il propose également un moyen de définir les politiques de sécurité cycliste et routière en vue d'optimiser les bénéfices pour la santé.

### 1.1. Politiques en faveur du vélo et sécurité

Le vélo occupe une place de choix parmi les solutions de mobilité urbaine : il ne consomme pas d'énergie fossile, procure des avantages notables en matière de santé et améliore la qualité de vie en ville. Son attrait tient au fait qu'il constitue un mode de transport fluide et économique pour les trajets porte-à-porte : aussi pratique que la marche à pied, il permet d'aller plus loin, plus vite. Il offre une solution de rechange à la voiture et confère une plus grande liberté de mouvement que les transports collectifs, soumis à des horaires. Combiné à ces derniers, le vélo peut aussi étendre la portée et l'attrait des moyens de transport collectifs. Lorsqu'il parvient à se substituer effectivement au trafic automobile, le vélo permet de réduire la pollution et l'encombrement<sup>1</sup>. Il est bien adapté aux nombreux parcours de distance courte ou moyenne caractéristiques des déplacements en ville. Les deux-roues à moteur présentent des avantages similaires mais ils sont cause également de coûts sociétaux plus élevés dus à la fréquence et aux conséquences des accidents, ainsi qu'à la pollution atmosphérique.

Le fait que de nombreuses villes introduisent aujourd'hui des systèmes modernes de vélos publics montre clairement que le vélo est en train de devenir une composante essentielle des politiques de mobilité dans de nombreux contextes urbains (voir la figure 1.1). Outre les systèmes publics de partage de vélos, divers cadres et politiques promouvant le vélo sont actuellement mis en œuvre dans l'ensemble des pays membres du Forum international des transports<sup>2</sup>. On notera cependant que, si les raisons de promouvoir le vélo sont nombreuses, dans la plupart des pays, la sécurité en tant que telle ne figure pas au premier plan. En effet, l'*amélioration de la sécurité* des cyclistes constitue un élément central de nombreuses politiques de promotion du vélo, car les données soulignent la vulnérabilité des cyclistes dans la circulation routière.

Figure 1.1 Un exemple de politique de promotion du vélo : les systèmes publics de partage de vélos dans le monde en 2012



Source : FIT, d'après des données de MetroBike, LLC (<http://www.MetroBike.net>).

Quel est le degré de dangerosité du vélo par rapport à d'autres modes de transport ? Les études et statistiques (voir le tableau 1) portant sur le risque de dommages corporels ou de décès pour les cyclistes en comparaison avec les occupants de voitures révèlent un niveau de risque nettement plus élevé par unité d'exposition pour les cyclistes : par exemple, un risque 7.5 fois plus élevé de dommages corporels et un risque 6 fois plus élevé de décès par kilomètre en Norvège (Elvik, 2009) (Vegdirektoratet *et al.*, 2009), un risque 6 fois plus élevé de décès par kilomètre aux Pays-Bas (IRTAD, 2011) (SWOV, 2011) et un risque 15 fois plus élevé de dommages corporels/décès par heure de transport en Nouvelle-Zélande (Tin Tin, Woodward et Ameratunga 2010). Une méta-analyse de données du Danemark, de Grande-Bretagne, des Pays-Bas, de Norvège et de Suède (Elvik, Høye *et al.*, 2009) constate que les cyclistes ont 9.4 fois plus de risques de subir des dommages corporels par kilomètre que les automobilistes. Ce niveau de risque disproportionné pourrait être dû en partie à un biais des données ; en effet, une part importante des trajets en voiture se compose de kilomètres d'autoroutes assez « sûrs ». Une étude néerlandaise ayant comparé les risques d'accidents mortels des automobilistes et des cyclistes (y compris le risque pour d'autres acteurs de la circulation) *en excluant* les parcours sur autoroutes considérés comme assez « sûrs » a obtenu des taux de mortalité assez proches pour les cyclistes et les occupants de voitures (respectivement 21.0 et 20.8 décès par million de kilomètres parcouru) (Dekoster et Schollaert, 1999). Selon une étude belge, le risque d'être tué en circulant à vélo diminue de 20 % par rapport à la voiture lorsque l'on tient compte de la variable des trajets sur autoroute<sup>3</sup> (Hubert et Toint, 2002). On ignore si ces résultats sont valables également pour d'autres pays ou régions et d'autres études sont donc nécessaires à ce sujet.

Un élément supplémentaire à prendre en compte pour évaluer la sécurité relative du vélo par rapport à d'autres modes de transport est le choix de la variable d'exposition. Les problèmes que pose le manque

de disponibilité de données d'exposition seront examinés plus loin mais il convient de noter dès à présent que le type de variable d'exposition retenu (risque par trajet, distance ou temps de transport) n'est pas sans conséquence. Le rapport annuel de 2007 sur les accidents de la route au Royaume-Uni indique, par exemple, que le risque d'accident mortel pour les cyclistes est 13 fois plus élevé que celui des occupants de voiture par 100 millions de kilomètres parcourus mais seulement 4 fois plus élevé par 100 millions d'heures de trajet ou de déplacement (Department for Transport, 2008).

Il n'apparaît pas clairement si le changement de variable d'exposition entraîne un niveau de risque relatif systématiquement différent ; Martensen et Nuyttens (2009), par exemple, constatent que le risque d'accident mortel par minute de transport est essentiellement le même pour les cyclistes et les automobilistes en Belgique, alors que ce n'est pas le cas en Nouvelle-Zélande (Tin Tin, Woodward et Ameratunga, 2010) (mais cette dernière étude prend en compte à la fois le risque de dommages corporels graves et le risque de décès).

Tableau 1.1 **Risque relatif encouru par les cyclistes par rapport à d'autres modes de transport dans plusieurs pays** (indice, conducteur = 1)

On trouvera ci-dessous des indicateurs du risque relatif de décès et/ou dommages corporels graves dans plusieurs pays recueillant des statistiques sur la sécurité des cyclistes par kilomètre, trajet ou temps de parcours. Ces pays n'utilisant pas tous les mêmes méthodes de collecte des données, dont la couverture varie également, les chiffres présentés ci-dessous ne peuvent servir à comparer le risque relatif entre pays mais seulement à déterminer le degré de risque relatif entre modes de transport à l'intérieur d'un pays.

	Vélo	Marche	Mobylette	Moto	Voiture (conducteur)	Voiture (passagers)
<b>Pays-Bas<sup>a</sup></b> : Nombre annuel de personnes <i>décédées</i> par milliard de <i>kilomètres</i> , 2007-09	5.9	9.1	30.0	30.0	1.0	
<b>Suisse<sup>b</sup></b> : Nombre annuel de personnes <i>décédées</i> par milliard de <i>kilomètres</i> , 2010	11.2	9.1		18.0	1.0	
<b>Norvège<sup>f</sup></b> : Nombre annuel de personnes <i>décédées</i> par milliard de <i>kilomètres</i> , 1998-2002	5.9	8.4		10.2	1.0	
<b>Royaume-Uni<sup>g</sup></b> : Nombre annuel de personnes <i>décédées</i> par milliard de <i>kilomètres</i> , 2008-11	14.4	16.9		51.3	1.0	
<b>Danemark<sup>a</sup></b> : Nombre annuel de <i>victimes d'accidents (personnes décédées et blessées)</i> par milliard de <i>kilomètres</i> , 2010	10.6	10.2	148.9	44.1	1.0	
<b>États-Unis<sup>c</sup></b> : Nombre annuel de personnes <i>décédées</i> par milliard de <i>trajets</i> , 1999-2003	2.3	1.5		58.3	1.0	
<b>Belgique<sup>d</sup></b> : Nombre annuel de personnes <i>décédées</i> par milliard de <i>minutes</i> de déplacement, 2005	1.2	0.8	12.9		1.0	
<b>Nouvelle-Zélande<sup>e</sup></b> : Nombre annuel d' <i>accidents entraînant décès ou hospitalisation</i> par million d' <i>heures</i> de déplacement, 2003-07	14.6	1.1	..	51.2	1.0	1.4

Sources:

a. (IRTAD 2011),

b. Office fédéral de la statistique de la Confédération suisse ([www.bfms.admin.ch](http://www.bfms.admin.ch)), accès 15 Octobre 2012

c. (Beck, Dellinger et O'Neil 2007),

d. (Martensen et Nuyttens 2009),

e. (Tin Tin, Woodward et Ameratunga 2010),

f. (Vegdirektoratet, et al 2009),

g. UKDFT Road Safety Annual Report – Table RAS53001.

## Encadré 1.1 Facteurs de risque d'accident pour le vélo

Entrer dans la circulation est intrinsèquement dangereux du fait de la combinaison de nombreux facteurs de risque directs et indirects. Bien que beaucoup ait été fait pour réduire ces facteurs de risque ou abaisser la probabilité qu'ils ne conduisent à un accident entraînant des dommages corporels, le danger demeure. Nous examinons ci-dessous les principaux facteurs de risque existants et leur pertinence pour le vélo.

**Facteurs de risque essentiels**

**Vitesse** : les données montrent qu'il existe une corrélation positive entre la vitesse (différences absolues et relatives de vitesse entre les acteurs de la circulation) et l'augmentation exponentielle du risque d'accident. La vitesse est aussi corrélée à la gravité des accidents car elle constitue un élément important de l'énergie cinétique qui, dans les accidents impliquant des vélos, est directement libérée sur les parties molles non protégées du corps et le squelette.

**Masse et protection** : la masse est l'autre élément de l'énergie cinétique. À vitesse constante, plus la masse est élevée, plus grande est la quantité d'énergie cinétique libérée. Dans les accidents entre un vélo et un antagoniste plus lourd (véhicule à moteur), la différence de masse est extrême, ce qui explique la gravité croissante des conséquences des accidents pour les cyclistes. La protection peut aider à absorber une partie de l'énergie cinétique libérée par l'accident mais le niveau de sécurité qu'assure la conception des véhicules à moteur est bien supérieur à ce qu'autorise l'équipement cycliste (qui se limite généralement à un casque, lorsque celui-ci est porté).

**Facteurs contributifs du côté des usagers de la route**

**Manque d'expérience** : dans le cas du vélo, une différence existe entre *savoir faire du vélo* et *savoir faire du vélo en milieu routier*. Un apprentissage précoce pourrait permettre d'acquérir l'une et l'autre compétence mais, en cas d'adoption tardive du vélo, une formation spéciale serait peut-être souhaitable pour les cyclistes adultes, l'expérience acquise en conduisant un véhicule à moteur ne pouvant automatiquement être transférée au vélo. Les personnes qui optent tardivement pour le vélo ont aussi parfois besoin d'une formation de base à l'utilisation d'un vélo.

**Altération des capacités (drogues et alcool)** : l'utilisation de drogues et la consommation d'alcool – ou les deux à la fois – accroissent fortement le risque pour les usagers de la route. La gravité des accidents de vélo isolés est sans doute inférieure à celle des collisions isolées de véhicule à moteur (principalement à cause des différences de vitesse et de masse) mais, en cas de prise de risque, les cyclistes dont les capacités sont altérées s'exposent à un plus grand risque de collision avec un véhicule à moteur (dont les conséquences sont principalement au détriment du cycliste). Il est possible que certaines personnes dont les capacités sont altérées choisissent d'utiliser un vélo au lieu d'un véhicule à moteur pour réduire leurs risques d'accident et, dans certains pays, le taux d'alcoolémie applicable aux cyclistes est moins sévère que celui qui s'applique aux automobilistes (par exemple en Allemagne, le taux d'alcoolémie est de 0.05 % pour les conducteurs et de 0.16 % pour les cyclistes) (Juhra *et al.*, 2011). Cette pratique devrait peut-être être réévaluée au vu des données existantes sur la consommation d'alcool et les accidents à vélo entraînant des dommages corporels.

**Maladies et troubles de santé** : les déficiences visuelles ou auditives sont des facteurs qui peuvent contribuer aux accidents de vélo. Les secondes, en particulier, peuvent être un facteur dans les accidents liés à un dépassement de véhicule. Le port d'écouteurs peut entraîner un risque équivalent.

**Énerverment et agressivité** : certaines données isolées semblent indiquer que l'exacerbation du risque d'accident liée aux comportements agressifs dans la circulation est imputable principalement aux automobilistes. Cela ne veut pas dire que des comportements agressifs de la part de cyclistes ne contribuent pas aux accidents, surtout lorsqu'ils sont associés à un comportement de prise de risque vis-à-vis d'autres cyclistes ou de piétons.

**Fatigue et distraction** : la fatigue accroît le risque d'accident. Les cyclistes sont peut-être plus sujets à la fatigue puisque l'utilisation d'un vélo entraîne une dépense d'énergie qui peut s'ajouter à un état de fatigue préexistant. D'un autre côté, les gens fatigués soit évitent complètement l'usage du vélo, soit deviennent peu à peu moins sujets à la fatigue grâce à l'usage du vélo et aux bienfaits de l'activité physique. La distraction est aussi un facteur pouvant contribuer au risque d'accident pour les cyclistes, en particulier ceux qui utilisent un téléphone portable ou d'autres appareils électroniques. Des études plus détaillées sont nécessaires à ce sujet pour guider les politiques de sécurité, compte tenu en particulier du développement de l'utilisation d'appareils TIC portables (Scheppers, 2007)

Source : adapté de Wegman et Aarts (2006).

La majorité des trajets sont effectués pour se rendre d'un lieu à un autre et non pour se déplacer pendant une durée définie. C'est la raison pour laquelle les variables d'exposition reposant sur la *distance* apparaissent généralement (lorsque les données existent) comme mieux aptes à mesurer le risque relatif pour des trajets *équivalents*. Cependant, les trajets en vélo et en voiture ne sont pas nécessairement équivalents et le choix d'un mode de transport dépend de toute une gamme de facteurs (possibilité de se garer, risques d'encombrement, équipements existant sur le lieu de destination, facilité de liaison avec d'autres modes de transport, etc.). Par exemple, bien que la longueur moyenne des trajets soit plus grande pour les voitures que pour les vélos en Belgique, la durée moyenne des trajets est à peu près équivalente (Martensen et Nuyttens, 2009). On ne dispose pas de données internationales qui permettraient d'estimer les risques comparés du vélo par durée de trajet mais cet indicateur serait sans doute inférieur aux indicateurs de risque relatif reposant sur la distance parcourue. Van Hout (2007) constate qu'en Belgique, en 1999, le risque relatif de décès par heure de déplacement était à peu près égal entre cyclistes et occupants de voiture. Les indicateurs de risque relatif reposant sur la durée sont sans doute mieux adaptés dans les cas où la durée des trajets en vélo et en voiture est presque la même, par exemple dans les zones urbaines encombrées où la vitesse de déplacement des vélos est égale – ou même supérieure – à celle des voitures.

Les cyclistes sont vulnérables dans la circulation car, à quelques exceptions notables près, le réseau de voirie n'a pas été conçu pour eux. Plus précisément, il n'a pas été pensé dans l'optique que les véhicules rapides, lourds et bien protégés côtoient les usagers de la route lents, légers et non protégés. De plus, il ne tient généralement pas compte des spécificités des cyclistes et des cycles. Les cyclistes sont des usagers très flexibles et parfois imprévisibles. Leurs facultés varient grandement d'un individu à l'autre. Ils essaient de dépenser le moins d'énergie possible. Ils perdent facilement l'équilibre. Ils sont relativement peu visibles à cause du gabarit du vélo quand il fait jour et quand l'éclairage est insuffisant ou absent la nuit. Bien qu'ils soient des acteurs de premier plan de la mobilité urbaine, les cyclistes passent souvent pour des intrus dans la circulation.

Étant donné la vulnérabilité des cyclistes dans la circulation routière, quiconque cherche à promouvoir le vélo doit répondre à la question fondamentale qui suit : *les politiques qui font croître le nombre de cyclistes entraînent-elles une baisse de la sécurité et une hausse des accidents ?*

Il s'agit d'une question importante car, les cyclistes étant vulnérables, si la voirie n'a pas été conçue à leur intention, les politiques en faveur du vélo peuvent fort bien accroître le nombre de personnes exposées à des conditions potentiellement dangereuses. La réponse simplifiée à cette question est que plus il y a de cyclistes, plus le *nombre* des accidents augmente, qu'ils soient mortels ou non, *mais cela ne sera pas nécessairement le cas* si l'on prend soin d'élaborer des mesures judicieuses. Il est même possible que le *taux* des accidents de vélo diminue, *surtout si des mesures visant à améliorer la sécurité sont mises en œuvre en parallèle*. Une hausse du nombre des accidents peut tout à fait s'accompagner d'une amélioration de la sécurité des cyclistes, mesurée par le nombre d'accidents en fonction d'une variable d'exposition (trajet, profil du cycliste, moment, distance parcourue). Cependant, pour répondre plus en détail à cette question, il est nécessaire d'examiner quatre facteurs déterminants dont la compréhension est essentielle pour faire avancer la discussion sur la sécurité du vélo :

- Les liens entre vélo, sécurité et santé.
- L'effet du nombre sur la sécurité.
- Le biais statistique marqué dû à la sous-déclaration des accidents de vélo.
- L'absence de données d'exposition adéquates.

## 1.2. Vélo, sécurité et santé : trois éléments indissociables

On ne saurait réfléchir aux incidences que l'usage du vélo a sur la sécurité routière sans tenir compte de ses effets sur la santé en général. En effet, la crainte que la multiplication des cyclistes sur la chaussée accroisse le nombre ou le risque d'accidents s'explique par les préjudices portés à la santé des cyclistes. Pourtant, les accidents ne sont pas le seul facteur à prendre en considération lorsque l'on s'intéresse à la santé des cyclistes : si l'exposition à la pollution atmosphérique est nuisible, la pratique du vélo peut être (très) bénéfique. Aussi légitime soit-il de vouloir *renforcer la sécurité des cyclistes* indépendamment de savoir si cette pratique nuit plus ou moins à la santé (par exemple en réduisant les risques d'accident et la gravité des conséquences des accidents), il est essentiel de tenir compte de ses effets sur la santé en général lorsque l'on s'emploie à définir les efforts à déployer pour *développer l'usage du vélo*.

### *Avantages du vélo pour la santé : exercice physique*

L'Organisation mondiale de la santé recommande aux adultes de faire au moins 30 minutes d'exercice modéré cinq jours par semaine et un entraînement plus intensif plusieurs fois par semaine. Une pratique modérée du vélo peut grandement réduire les risques cliniques associés aux maladies cardiovasculaires, à l'obésité, aux diabètes de type 2, à certaines formes de cancer, à l'ostéoporose et à la dépression. Prises séparément ou a fortiori lorsque leurs effets se cumulent, ces conditions font payer à la société un lourd tribut humain et économique. Confirmé dans différentes études et différents contextes géographiques (tableaux 1.2 et 1.3), cet effet bénéfique pour la santé est plus important chez ceux qui passent d'un mode de vie sédentaire à une forme plus active. Il est établi que l'éventail des effets de réduction de la morbidité s'élargit davantage que celui des effets de réduction de la mortalité : non seulement, l'usage du vélo fait diminuer le nombre de *décès* dus à une maladie, mais il contribue aussi à améliorer sensiblement la *santé* (Rabl et de Nazelle, 2012).

#### **Conséquences de l'inactivité physique pour la santé**

« L'inactivité physique est l'un des défis de santé les plus importants du XXI<sup>e</sup> siècle à cause de son influence sur les maladies chroniques les plus mortelles. Elle contribue au niveau mondial à 21.5 % des cas de cardiopathie ischémique, 11 % des accidents ischémiques cérébraux, 14 % des diabètes, 16 % des cancers du côlon et 10 % des cancers du sein (Bull et al., 2004). L'Organisation mondiale de la santé (OMS) a estimé récemment que le surpoids et l'obésité sont responsables de 2.8 millions de décès chaque année ; l'inactivité physique est responsable (séparément) de 3.2 millions de décès supplémentaires. »

Source: (de Nazelle, et al. 2011)

Tableau 1.2 **Quantification du risque relatif de mortalité (toutes causes confondues) des cyclistes par rapport aux non-cyclistes**

Le risque relatif est exprimé sous forme de ratio de la mortalité toutes causes confondues des cyclistes par rapport aux non cyclistes, en contrôlant pour certains facteurs de confusion tels que l'âge, le sexe ou l'éducation. Par conséquent, un risque relatif de 0.70 indique que le risque de décès d'un cycliste est inférieur de 30 % à celui d'un non cycliste similaire.

Lieu	Risque de mortalité relatif (cyclistes/non-cyclistes)	Intervalle de confiance	Étude
Copenhague, DK	<b>0.72</b>	0.57-0.91	Anderson <i>et al</i> , 2000
Chine	<b>0.79</b>	0.61-1.01	Matthews <i>et al</i> , 2007
Chine (activité élevée)	<b>0.66</b>	0.40-1.07	Matthews <i>et al</i> , 2007
Finlande	<b>0.78</b>	0.65-0.92	Hu <i>et al</i> , 2004
Finlande (activité élevée)	<b>0.69</b>	0.57-0.84	Hu <i>et al</i> , 2004

Les données laissent à penser que l'effet d'amélioration de la santé n'est pas linéaire, c'est-à-dire que le bénéfice le plus important pour un individu sédentaire a lieu du simple fait de devenir actif et que les gains de santé ultérieurs diminuent avec chaque augmentation supplémentaire d'activité modérée (US DHHS, 2008). Les données montrant le caractère non linéaire des bénéfices (relation dose-effet) varient en fonction du type de pathologies et, pour certaines, la relation n'est pas claire. Néanmoins, elles suggèrent que les bienfaits du vélo pour la santé sont plus importants pour les personnes qui étaient auparavant sédentaires ou n'avaient qu'un niveau modeste d'exercice physique. Il semble également que les gains de santé liés à l'activité physique sont plus élevés dans le cas de tranches fréquentes et répétées d'exercice modéré qu'avec des périodes occasionnelles d'exercice très intensif (Praznocy, 2012). Réussir à convaincre les non-cyclistes et d'autres personnes inactives devrait permettre de tirer les plus grands gains de santé de l'activité physique mais exigera de bien comprendre l'idée qu'ils se font de la sécurité (voir le chapitre 4) et les défis de sécurité spécifiques que posent les cyclistes inexpérimentés.

Tableau 1.3 **Estimations quantifiées du risque relatif pour certaines maladies sur la base de 2.5 heures d'activité physique modérée par semaine\***

Maladie	Risque relatif (exercice / inactivité) Modèle de la racine carrée	Étude
Maladie cardiovasculaire	<b>0.82</b>	(Hamer and Chida, 2008).
Cancer du côlon (hommes)	<b>0.87</b>	(Harriss, et al. 2009)
Cancer du côlon (femmes)	<b>0.91</b>	(Harriss, et al. 2009)
Cancer du sein **	<b>0.87</b>	(Harriss, et al. 2009)
Maladie d'Alzheimer	<b>0.82</b>	(Hamer and Chida 2009)
Dépression	<b>0.86</b>	(Paffenbarger, Lee and Leung 1994)
Diabète	<b>0.82</b>	(Jeon, et al. 2007)

\* RR normalisé à 2.5 heures d'activité physique modérée dans Woodcock *et al.* (2009).

\*\* Modèle linéaire.

### *Avantages du vélo pour la santé : réduction de la pollution atmosphérique*

Certains chercheurs pensent que le vélo pourrait avoir un bénéfice secondaire pour la santé (et pas seulement celle des cyclistes) : l'amélioration de la qualité de l'air au niveau local résultant du remplacement d'autres modes de transport, principalement la voiture. Remplacer les petits trajets en voiture par le vélo ou la marche pourrait entraîner une réduction disproportionnée des émissions de composés organiques volatils (COV) et de particules fines, puisqu'une grande partie de ces émissions ont lieu pendant les premières minutes de fonctionnement des véhicules à moteur (émissions après démarrage à froid) et donc sur des distances pour lesquelles il serait facile de substituer un trajet en vélo (Grabow *et al.*, 2012).

Les gains de santé liés à l'amélioration de la qualité de l'air sont potentiellement importants mais leur ampleur dépend de la capacité effective des politiques en faveur du vélo à réduire de manière significative le trafic automobile. La réalisation de ce potentiel dépend aussi du profil d'émissions des voitures dont les trajets sont susceptibles d'être remplacés.

Or, à l'exception des Pays-Bas et du Danemark, et aussi de certaines zones urbaines spécifiques, il n'est pas certain que les politiques de promotion du vélo aient – au moins jusqu'ici – entraîné une réduction significative du trafic automobile. L'une des raisons en est que, dans un premier temps tout au moins, les nouveaux cyclistes sont des personnes qui passent non pas de la voiture au vélo mais des transports publics ou de la marche à pied au vélo. Dans une enquête menée à Stockholm (Börjesson et Eliasson, 2011), par exemple, 13 % seulement des cyclistes ont désigné la voiture comme deuxième option préférée à la place du vélo. De même, 10 % seulement des usagers de Bicing à Barcelone, 5 % des usagers de Vélo'v à Lyon et 2 %<sup>4</sup> des usagers de Bixi à Montréal déclarent qu'ils auraient utilisé une voiture en l'absence d'un système de partage de vélos (Ajuntament de Barcelona, 2007) (Beroud, 2010) (Bachand-Marleau, Larsen et El-Geneidy, 2011). Le potentiel initial du changement de mode de transport semble peu élevé : dans le centre de Lyon et à Villeurbanne, il est apparu que le système public Vélo'v avait remplacé moins de 0.01 % du total des trajets en voiture. Cependant, il convient de noter que le taux de remplacement de la voiture par le vélo serait plus élevé si des mesures étaient prises pour réduire les distances moyennes des trajets (c'est-à-dire en augmentant la densité), ce qui contribuerait également à accroître l'impact de santé.

Les gains de santé en termes de qualité de l'air dus à la réduction des trajets en voiture pourraient être plus élevés dans les zones où les possibilités de marche à pied et d'utilisation des transports publics sont moins nombreuses (mais ces zones risquent aussi d'être mal adaptées au vélo). Dans les zones qui connaissent une augmentation rapide de la motorisation, des avantages importants du point de vue de la qualité de l'air pourraient résulter du maintien des parts respectives du vélo et de la marche à pied ; d'après Shaheen *et al.* (2011), 16 % des usagers du système de partage de vélos de Hangzhou ont remplacé certains trajets en voiture (78 % pour les usagers faisant partie d'un ménage qui possède une voiture) et 37 % ont déclaré avoir reporté à plus tard l'achat d'une voiture. Avec le temps, si les politiques en faveur du vélo sont maintenues, les nouveaux cyclistes seront effectivement des personnes qui passent de la voiture au vélo. Si cela se produit, les effets d'amélioration de la santé dus à la réduction de la pollution atmosphérique seront sans doute positifs, bien que différés, mais l'on manque de données sur ce point<sup>5</sup>.

Il n'est pas douteux que la baisse du niveau des polluants – en particulier les particules fines, l'ozone (O<sub>3</sub>) et le NO<sub>2</sub> – émis par les automobiles et d'autres formes de trafic motorisé<sup>6</sup> a des incidences bénéfiques importantes pour la santé. Ce qui n'est pas aussi clair est le degré auquel le choix du vélo peut entraîner une réduction suffisamment importante de la circulation automobile pour que ces gains de santé se produisent, certaines études niant même qu'ils puissent avoir lieu (van Kempen *et al.*, 2010). En règle générale, il est sans doute préférable de prendre en compte l'impact sur la pollution atmosphérique du passage des *transports publics et de la marche à pied* (au lieu de la voiture principalement) au vélo pour évaluer les effets de santé *initiaux* des politiques en faveur du vélo.

Un autre élément à examiner est le lien entre émissions de polluants et exposition aux polluants. Les mesures en faveur du vélo s'inscrivent souvent dans (ou sont accompagnées par) des politiques cherchant à réduire la circulation, accroître la densité urbaine ou combiner les utilisations des sols afin de pouvoir remplacer les trajets longs en voiture par des trajets plus courts à pied, en vélo ou à l'aide des transports publics. Lorsque ces politiques sont couronnées de succès, les émissions globales de polluants peuvent diminuer alors que, paradoxalement, l'exposition aux polluants augmente. La raison en est une plus grande proximité entre sources d'émission et individus, qui est due à la densification et à la configuration des sites urbains à forte densité de population (par exemple, la fréquence accrue de « rues-canyons »)<sup>7</sup>.

Les politiques d'aménagement urbain favorables au vélo qui augmentent la discontinuité du trafic peuvent aussi contribuer à l'augmentation des concentrations locales de polluants sous l'effet de l'accélération répétée des véhicules à moteur. Les données d'une étude réalisée à Vancouver confirment le lien paradoxal entre densité accrue et augmentation de la pollution dans les quartiers urbains (dans l'état actuel de la circulation) : elles montrent que les quartiers à usages multiples (par exemple, les quartiers accueillants aux piétons et aux vélos) ont un niveau élevé de pollution primaire due à la circulation (NO) mais moins de polluants secondaires comme l'ozone<sup>8</sup> (Marshall, Brauer et Frank, 2009). En pareils cas, il se peut que, globalement, les gains de santé individuels des *cyclistes* obtenus grâce à l'exercice physique soient annulés par la baisse collective de santé, due à la pollution atmosphérique, de tous les autres *résidents locaux inactifs* demeurant dans les quartiers à forte densité de population et relativement plus pollués. Un tel résultat des politiques urbaines est, bien entendu, loin d'être optimal et souligne la nécessité de gérer le volume de circulation de manière proactive en abordant conjointement la lutte contre les émissions de polluants et les politiques urbaines visant à accroître la densité ou à réduire les trajets de transport.

Là où les politiques de promotion du vélo permettront de remplacer une partie des trajets en voiture, les gains de santé liés à la qualité de l'air seront proportionnels à la quantité de pollution atmosphérique déplacée. Les émissions de polluants aériens des nouvelles automobiles ne cessent de diminuer et des progrès très importants ont été accomplis pour réduire les émissions après démarrage à froid, qui contribuent de façon disproportionnée à la pollution. Dans le même temps, les technologies à très faibles émissions, principalement les systèmes de transmission hybrides (et certains véhicules à batterie électrique), se diffusent dans de nombreux parcs nationaux de véhicules. Cela laisse à penser que les gains marginaux de réduction de la pollution atmosphérique dus au remplacement de la voiture par le vélo sur certains trajets diminueront avec le temps. Cependant, si les politiques en faveur du vélo parviennent effectivement à remplacer l'utilisation des véhicules les plus âgés et les plus pollués, les gains de réduction de la pollution atmosphérique pourraient être importants. Les données manquent actuellement pour quantifier cet impact potentiel.

### *Autres gains de santé procurés par le vélo*

Les autres bénéfiques potentiels du développement de l'utilisation du vélo comprennent la réduction du bruit de la circulation et la réduction des accidents corporels liés aux modes de transport utilisés auparavant par les nouveaux cyclistes.

Le bruit est un facteur important de stress environnemental, qui accroît le risque de maladie cardiaque ischémique, contribue aux déficiences cognitives chez l'enfant et perturbe le sommeil (OMS, 2011). La circulation contribue de façon importante au niveau sonore général et certains pensent que les politiques en faveur du vélo pourraient conduire à une réduction du bruit global de la circulation. Les études ayant cherché à quantifier cet effet sont peu nombreuses ; l'une d'entre elles constate que les gains de santé liés à la réduction du bruit due au remplacement de la voiture par le vélo sont minimaux (van Kempen *et al.*, 2010). Pour les raisons indiquées plus haut (section 1.2.2.), il paraît extrêmement optimiste d'escompter du vélo une réduction du bruit ambiant de la circulation telle qu'elle puisse avoir un impact positif sur la santé à l'échelle d'une ville entière, mais une réduction localisée du bruit est tout à fait probable.

La réduction du nombre de dommages corporels et de décès dus aux accidents, grâce à l'abandon d'autres modes de transport au profit du vélo, pourrait constituer un gain de santé supplémentaire. La taille et l'ampleur de ce gain dépendront du taux d'accident des autres modes concernés et de la gravité des dommages corporels subis. Elles dépendront aussi du profil de risque des individus qui changent de mode de transport. Par exemple, passer des transports publics au vélo n'entraînera probablement aucun gain de réduction des accidents, le premier mode de transport étant généralement plus sûr que le second. En revanche, passer de la voiture au vélo entraînera une réduction des décès liés aux accidents de voiture, en particulier si l'on ajoute les piétons et cyclistes renversés par des voitures aux victimes d'accidents impliquant uniquement des voitures. Une étude réalisée dans la région du Grand Paris a cherché à quantifier cet effet au regard de différents scénarios de changement de mode de transport. Elle constate qu'une augmentation modeste de la part du vélo, depuis le niveau actuel de 2 % jusqu'à 4 % des trajets, si l'on suppose que 5 % seulement des nouveaux trajets en vélo étaient effectués auparavant en voiture, se traduirait par une réduction de 0.4 du nombre de décès par an, contre 5 décès nouveaux liés à des accidents de vélo (pour d'autres résultats de cette étude, voir section 1.1.3). Cependant, si la part du vélo comme mode de transport atteignait 8 % (c'est-à-dire un niveau comparable à celui existant dans plusieurs autres villes européennes), en supposant que 38 % des nouveaux trajets à vélo étaient effectués auparavant en voiture, le nombre de décès évités dus à des accidents de voiture serait égal au nombre de décès nouveaux liés à des accidents de vélo (Praznoczy, 2012). Ces résultats aident à cerner l'impact éventuel des politiques de promotion du vélo sur les décès dus à des accidents : à un certain seuil, *toutes choses égales* par ailleurs, le nombre de décès évités dus à des accidents de voiture dépassera le nombre de décès nouveaux résultant d'accidents de vélo. En fait, les politiques en faveur du vélo devraient chercher à réduire *tous les décès* dus à des accidents de la circulation et il est à souhaiter que ces résultats, par conséquent, servent seulement à montrer qu'un impact dynamique positif sur la sécurité est associé au remplacement du trafic voiture par le trafic vélo.

Le profil de risque des individus qui changent de mode de transport n'est pas non plus indifférent, comme le montrent les données des Pays-Bas présentées au tableau 1.4. Passer de la voiture au vélo peut réduire le risque d'accident mortel des jeunes de dix-huit à vingt-quatre ans, au moins aux Pays-Bas. Une évaluation antérieure de l'impact global sur la santé (y compris le risque d'accident et l'exposition à la pollution atmosphérique) du passage de la voiture au vélo avait aussi constaté que les hommes jeunes sont ceux pour qui le bénéfice est le plus net, principalement à cause de leur profil de risque d'accident de voiture (van Kempen *et al.*, 2010). Par contre, le passage des conducteurs de soixante ans et plus au vélo augmenterait fortement le niveau de risque de ces personnes, toutes choses égales par ailleurs.

Tableau 1.4 Nombre moyen de décès par milliard de kilomètres parcourus aux Pays-Bas de 2007 à 2009 et risque relatif

Âge	18 - 24	25 - 29	30 - 39	40 - 49	50 - 59	60 - 74	75+
Cyclistes	7.4	3.7	3.7	6.6	9.6	23.7	164.0
Occupants de voiture	9.6	3.7	2.1	1.2	1.5	2.1	13.2
Risque relatif vélo/voiture	-0.23	-0.01	0.74	4.65	5.44	10.18	11.40

Source: SWOV, 2012

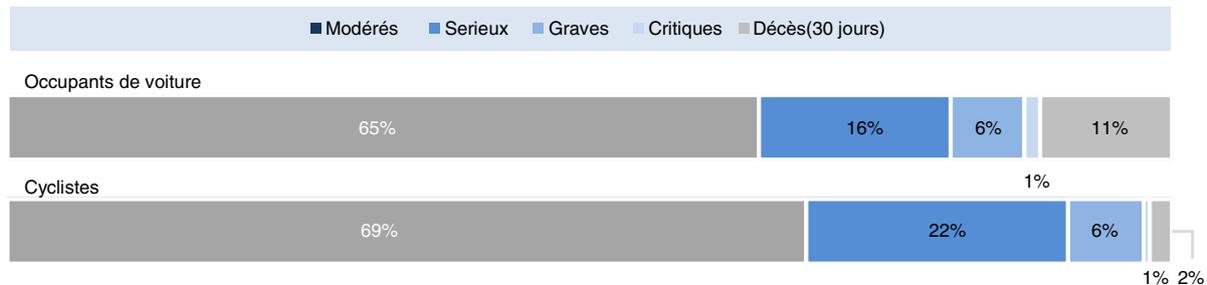
### *Risques de santé liés au vélo : accidents corporels des cyclistes*

L'infrastructure routière est rarement conçue avec la sécurité comme point de départ et, malgré les efforts déployés pour parer au large éventail des comportements routiers, l'accident est fréquent dès lors que l'utilisateur commet une erreur, agit de manière imprévisible ou a ses facultés altérées. La gravité de l'accident dépend essentiellement des forces cinétiques résultant du différentiel de poids et de vitesse qui existe entre les acteurs. Il sera particulièrement lourd de conséquences pour les usagers vulnérables, comme les piétons et les cyclistes, qui ne bénéficient pas du degré de protection prévu et conféré aux occupants des voitures et autres véhicules.

La distribution des conséquences des accidents par degré de gravité varie selon les pays, compte tenu des différences d'environnement cyclable. Aux Pays-Bas, par exemple, la part de décès et de dommages corporels graves (c'est-à-dire d'un niveau de gravité supérieur à MAIS 2 « blessures modérées ») est plus élevée pour les automobilistes que pour les cyclistes (figure 1.2), principalement à cause de la part plus faible de décès dus à des accidents de vélo. Au Royaume-Uni, c'est le contraire qui est vrai : 16 % des accidents aboutissent à un décès ou à des dommages corporels graves pour les cyclistes contre 8 % pour les occupants de voiture<sup>9</sup>.

Les individus très jeunes et très âgés sont représentés de manière disproportionnée dans les statistiques d'accidents corporels graves de divers pays (voir le chapitre 4). La Corée et le Japon, deux pays qui comptent un pourcentage important de personnes âgées, sont confrontés à des taux particulièrement élevés de décès et de dommages corporels dus à des accidents de vélo parmi ce groupe d'âge : en Corée, 65 % des victimes d'accidents mortels à vélo sont âgées de plus de 60 ans (2009) et au Japon, ce pourcentage est de 70 % (moyenne 2005-10). Ces chiffres sont probablement accrus du fait du taux assez faible de conduite automobile et du taux élevé de cyclisme (et de marche à pied) parmi ces populations. En comparaison, aux Pays-Bas, 55 % des décès dus à un accident de vélo enregistrés par la police concernaient des personnes âgées d'au moins 60 ans (moyenne 2005-09) ; au Royaume-Uni, le chiffre correspondant ne dépassait pas 21 % du total des décès à vélo enregistrés par la police (2005-10).

Figure 1.2 **Dommages corporels dus à un accident de la circulation aux Pays-Bas, par degré de gravité**  
(moyenne 2007-09)



Source: SWOV, 2012

Les accidents entre cyclistes ou entre cyclistes et piétons sont aussi causes de dommages corporels. Les statistiques officielles des accidents en Allemagne indiquent qu'en 2010 se sont produits 3 300 accidents corporels impliquant un cycliste et un piéton et environ 4 400 accidents corporels impliquant deux cyclistes. Ces deux types d'accidents, en raison de leur moindre gravité, sont souvent insuffisamment comptabilisés (voir la section 1.4.1). Il semble néanmoins qu'ils constituent un problème réel dans certains pays. Au Japon, par exemple, le ministère du Territoire, des Infrastructures et des Transports a décidé en 2007 de réexaminer sa conception des équipements pour cyclistes dans les centres urbains (où les vélos circulent en grande partie sur les trottoirs). En effet, on observe depuis 2000 une forte augmentation des accidents entre cyclistes et piétons, ce qui a conduit les autorités des transports à commencer à mettre en place de manière systématique des pistes cyclables séparées à sens unique dans les centres urbains.

Il existe encore peu d'études comparant spécifiquement la charge de lésions corporelles dues à des accidents dans les différents modes de transport à l'aide de mesures de santé se rapportant à l'ensemble du cycle de vie. Les données d'une étude (menée dans des localités à forte utilisation de vélos en Belgique) s'appuyant sur les années de vie corrigées du facteur d'incapacité (AVCI)<sup>10</sup> montrent que le nombre d'AVCI par milliard de kilomètres est le plus faible pour les voitures (113), suivies par les piétons (1 359), les cyclistes (1 724) et les motocyclistes (6 365). Cependant, la contribution relative à la santé de toute la vie des *années perdues à cause de l'incapacité* (EACR), par opposition aux *années de vie perdues* (décès ou AVP), est apparue diamétralement inverse pour les cyclistes et les occupants de voiture. La plus grande partie de la charge de morbidité pour les cyclistes s'est révélée être liée à l'*incapacité* (75 % des AVCI), alors que les *années de vie perdues* représentaient 67 % de la charge de morbidité liée aux accidents pour les occupants de voiture (Dhondt *et al.*, 2012).

Souvent, les lésions corporelles subies par des cyclistes qui n'exigent pas une hospitalisation n'apparaissent pas dans les statistiques nationales ou régionales sur la sécurité routière (les raisons de ce fait sont expliquées dans la section 1.4.1) et pourtant elles représentent la majorité des dommages corporels des cyclistes. Le coût cumulatif des accidents mineurs est en outre élevé, si l'on prend en compte les dépenses de soins de santé, l'absentéisme et la perte de productivité (B. de Geus *et al.*, 2012) (Aertsens *et al.*, 2010).

Peu d'études examinent spécifiquement le taux d'incidence des conséquences des accidents mineurs ou majeurs pour les cyclistes, mais les données montrent que des blessures mineures non recensées constituent dans l'écrasante majorité des cas la conséquence des accidents à vélo. Une étude de cohorte portant sur des personnes qui utilisent le vélo pour se rendre de leur domicile à leur lieu de travail à Portland dans l'Oregon a constaté que 80 % de tous les accidents causés de blessures étaient classés comme « mineurs », c'est-à-dire ne requérant aucune attention médicale. Cette même étude note que le

taux d'incidence des dommages corporels mineurs et graves (c'est-à-dire requérant une attention médicale) était respectivement de 0.093 et 0.024 par millier de kilomètres (Hoffman *et al.*, 2010). Une autre étude de cohorte réalisée aux Pays-Bas a relevé une proportion encore plus élevée de conséquences d'accidents « mineurs » – 97 % du total<sup>11</sup> – mais ce résultat ne peut être comparé à ceux obtenus à Portland car, dans cette étude, un accident « mineur » était défini comme exigeant moins de 24 heures d'hospitalisation. Les taux d'incidence correspondants pour les dommages corporels mineurs et graves par millier de kilomètres étaient respectivement de 0.046 et 0.001 (B. de Geus *et al.*, 2012). Aertsens *et al.* (2010) notent qu'en Belgique, le coût de ces accidents est élevé : 0.125 EUR par kilomètre, les pertes de productivité en constituant la part la plus grande.

Les accidents de vélo isolés (c'est-à-dire les accidents sans antagonistes) sont aussi une cause importante de dommages corporels, bien qu'ils ne figurent pas en général dans les statistiques nationales en raison de leur moindre gravité (comme indiqué dans la section 1.4.1). Ces accidents isolés – chute ou collision avec un obstacle – peuvent être causes de blessures particulièrement graves pour les cyclistes âgés. Les études s'appuyant sur les données des hôpitaux et de la police montrent que, au moins dans les pays à forte proportion de cyclistes, les accidents de vélo isolés constituent la majorité des accidents de vélo et représentent une part importante de l'ensemble des victimes d'accidents de la circulation, par exemple les trois quarts des victimes d'accidents de vélo aux Pays-Bas (P. Schepers, 2012) (Schepers et Klein Wolt, 2012), 87 % des victimes d'accidents de vélo dans les Flandres et à Bruxelles (Dhondt *et al.*, 2012) d'après les données des hôpitaux, et 73 % des accidents corporels dans une étude de cohorte prospective réalisée en Belgique (B. de Geus *et al.*, 2012).

Les pays où la proportion de cyclistes est moins élevée présentent-ils un niveau comparable d'accidents de vélo isolés ? Hormis les statistiques recueillies par la police, on manque de données sur ce point mais une étude de cohorte prospective réalisée en Amérique du Nord indique que 62 % des accidents à vélo donnant lieu à des dommages corporels n'impliquent ni un véhicule à moteur, ni un autre cycliste (Hoffman *et al.*, 2010).

### ***Risques de santé liés au vélo : dommages corporels causés par des cyclistes***

Les cyclistes subissent en général des dommages corporels graves dans les accidents impliquant un véhicule à moteur, mais ils peuvent eux-mêmes être causes de blessures en cas d'accident avec un antagoniste non motorisé. La majorité de ces accidents ont sans doute des conséquences mineures et ne sont pas déclarés, mais certaines données indiquent que, pour certains antagonistes, en particulier les piétons et les cyclistes âgés, les conséquences peuvent être graves (Chong *et al.*, 2009).

### ***Risques de santé liés au vélo : pollution atmosphérique***

Les cyclistes sont exposés en circulant à un large éventail de polluants potentiellement nuisibles pour la santé, en premier lieu les éléments et produits des gaz d'échappement des véhicules à moteur – tout particulièrement les particules fines de moins de 2.5 microns de diamètre (PM<sub>2.5</sub>), les particules ultrafines (PUF) de moins de 1 micron de diamètre, le dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et l'ozone (O<sub>3</sub>). L'exposition à ces polluants peut être cause de maladies cardiaques, de troubles et de maladies respiratoires, de cancers du poumon et de décès (Marshall, Brauer et Frank, 2009) (Knibbs, Cole-Hunter et Morowska, 2011). La relation dose-effet est linéaire (c'est-à-dire sans effets de seuil), l'exposition de longue et de courte durée pouvant avoir des effets nocifs sur la santé (Marshall, Brauer et Frank, 2009) (Weichenthal *et al.*, 2011) (Int Panis, Meeusen *et al.*, 2011). De nombreuses études notent cependant que les effets nocifs de la pollution atmosphérique en termes de mortalité affectent de manière disproportionnée certaines catégories de personnes déjà affaiblies comme les personnes âgées ou celles qui sont déjà atteintes d'une maladie cardiovasculaire (Int Panis et de Hartog, 2011). Si les cyclistes se

recrutent principalement parmi les jeunes et les personnes en bonne santé, le taux de mortalité lié aux effets de l'exposition à la pollution atmosphérique sera probablement moins élevé que ce qu'envisagent de nombreuses études. Il semble, par conséquent, que l'impact négatif de l'exposition à la pollution atmosphérique pour la santé soit quelque peu surestimé dans les analyses actuelles.

### Encadré 1.2 Vélos électriques, sécurité et santé

Les vélos électriques et les petits scooters ne sont pas spécifiquement abordés dans ce rapport, principalement parce que les données nationales sur les accidents et les dommages corporels ne tiennent pas en général de statistiques distinctes pour ces catégories de véhicules. Néanmoins, les ventes de vélos électriques augmentent rapidement dans de nombreux pays. Plus de 32 millions ont été vendus en 2011, dont 31 millions en Chine (et la plupart d'entre eux n'étaient pas des « vélos à assistance électrique » au sens strict, comme indiqué plus bas). En Europe et en Suisse, plus de 750 000 vélos électriques ont été vendus en 2011 et leur part de marché atteint 15 % des ventes des vélos aux Pays-Bas, 9 % en Autriche et 8 % en Allemagne. Près de 350 000 vélos électriques ont été vendus au Japon en 2011, dépassant ainsi les ventes de mobylettes. Étant donné le taux d'adoption des vélos électriques et leur pénétration continue des marchés nationaux, il paraît nécessaire d'aborder certains de leurs aspects de santé et de sécurité.

Le marché des vélos électriques peut être divisé en deux grandes catégories. Les « vélos à assistance électrique », qui constituent la première catégorie, se caractérisent par des moteurs à faible puissance qui fonctionnent uniquement avec une impulsion de la pédale jusqu'à une vitesse d'environ 25 km/h. Lorsque cette vitesse est atteinte, l'assistance moteur s'interrompt. Ces vélos ne peuvent être propulsés uniquement par le moteur et sont considérés dans la plupart des pays comme des vélos à pédale traditionnels. La deuxième catégorie comprend les véhicules à pédale équipés de moteurs électriques plus puissants qui peuvent atteindre des vitesses plus élevées et, dans de nombreux cas, être propulsés uniquement par le moteur électrique (sans impulsion du cycliste sur la pédale). Le cadre réglementaire s'appliquant à ces véhicules varie selon les pays et, dans certains cas même, à l'intérieur des pays. Dans certaines juridictions (par exemple l'UE), ces « vélos » électriques sont classés comme mobylettes ou motos légères et sont donc assujettis à des normes plus rigoureuses en matière d'enregistrement, d'âge de conduite et de port de casque. D'autres pays comme la Chine révisent actuellement le cadre réglementaire s'appliquant à ces véhicules. Les considérations de sécurité ou autres abordées ci-dessous concernent uniquement les vélos à assistance électrique.

Les études sur l'utilisation des vélos à assistance électrique sont peu nombreuses mais l'on peut néanmoins déduire les caractéristiques suivantes de la littérature spécialisée : les distances moyennes de trajet parcourues par les vélos électriques sont en général plus longues que celles des vélos classiques, leur vitesse moyenne de déplacement est normalement plus élevée et ils sont utilisés principalement par des personnes âgées de 50 ans ou plus pour des trajets pendulaires (Roetynck 2010) (Hendriksen et al., 2008) (Lenten et Stockmann, 2010). Qu'est-ce que ces caractéristiques impliquent en termes de sécurité ?

Une vitesse accrue se traduit par un impact cinétique plus élevé en cas d'accident. Les vélos électriques pourraient donc entraîner des dommages corporels plus graves que les vélos classiques en cas d'accident. Les données existantes confirment cette hypothèse (Lenten et Stockmann, 2010) (GDV, 2011) (Feng et al., 2010). Une vitesse plus élevée accroît aussi la gravité des accidents de vélo isolés et des accidents entre vélos et piétons. Le fait que les cyclistes plus âgés représentent une part très importante des usagers de vélos électriques implique également que les conséquences des accidents seront plus graves, étant donné la vulnérabilité particulière de cette catégorie de cyclistes. Les accidents pourraient aussi être plus fréquents pour cette catégorie d'usagers sous l'effet combiné de fonctions psychomotrices amoindries et d'une vitesse de déplacement plus grande. L'impact de la vitesse sur la fréquence et la gravité des accidents de vélos électriques pourrait aussi être exacerbé si ces vélos attirent des cyclistes nouveaux (et plus âgés) peu expérimentés. La sécurité des vélos électriques par kilomètre parcouru sera probablement inférieure à celle des vélos classiques, toutes choses égales par ailleurs, et il conviendrait donc d'en tenir compte dans les politiques.

Des gains de santé sont-ils associés aux vélos électriques ? Il s'agit, ici encore, d'un domaine où les études manquent mais certaines données autorisent les remarques qui suivent. Les vélos électriques requièrent un certain effort physique et peuvent donc favoriser un niveau bénéfique d'activité physique. Ce niveau dépend de la vitesse de déplacement des vélos. Aux vitesses ordinaires (plus de 22 km/h pour les vélos électriques et 15 km/h pour les vélos classiques), l'effort métabolique est en gros similaire (Lenten et Stockmann, 2010). Lorsqu'un vélo électrique se déplace à la vitesse d'un vélo classique (environ 15 km/h), l'effort métabolique est moins important et donc aussi les gains de santé résultant de l'activité physique. Cependant, le taux d'absorption de polluants atmosphériques est aussi plus faible à un niveau moins élevé d'effort métabolique.

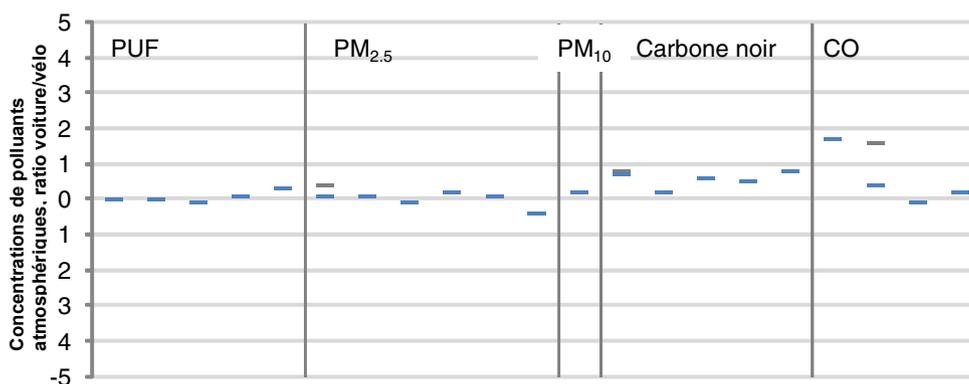
Il semble donc que, dans une optique de sécurité, l'augmentation du nombre de vélos électriques n'est pas neutre et nécessitera des mesures ciblées (par exemple, l'adaptation des infrastructures cyclables, l'organisation de campagnes de sensibilisation des cyclistes, l'utilisation d'équipements de protection) ainsi que des études supplémentaires. La conclusion générale est que les usagers de vélos électriques sont exposés à un risque d'accident plus élevé et à un risque accru de dommages corporels graves par rapport aux cyclistes traditionnels. Cependant, si les usagers de vélos électriques étaient auparavant sédentaires, les effets négatifs dus aux accidents pour la santé pourraient être plus que compensés par les gains de santé résultant d'une plus grande activité physique. La question essentielle demeure celle de l'équilibre entre santé et sécurité dans le cas des utilisateurs de vélos électriques plus âgés et cette question devrait faire l'objet d'études spécifiques à l'avenir.

Les cyclistes sont-ils exposés à des risques disproportionnés par rapport à d'autres catégories de la population ? Trois variables entrent en jeu pour l'évaluation de ce risque relatif, qui est nécessaire pour déterminer l'impact de santé du transfert d'une partie de la circulation vers le vélo. Ces variables sont les suivantes :

- Les *concentrations* de polluants dans l'air ambiant mesurées sur la route ou à proximité.
- L'*exposition* aux polluants des populations sur la route ou à proximité.
- La *dose* ultime absorbée par les cyclistes et d'autres usagers de la route.

La plupart des études évaluant l'impact sur la santé de la pollution due à la circulation se basent sur des mesures des concentrations de polluants dans l'air ambiant en milieu routier. Cela est dû principalement à la relative facilité et au faible coût de collecte de ces données. La conséquence en est que les risques de santé liés pour les cyclistes à l'exposition aux particules fines de moins de 2.5 microns de diamètre (PM<sub>2,5</sub>) et aux particules ultrafines (PUF) sont souvent sous-estimés sur la base de résultats montrant de façon systématique que les écarts des concentrations moyennes auxquelles sont exposés les cyclistes et les automobilistes dans la circulation sont rarement importants (ou même que ces concentrations sont légèrement plus élevées pour les occupants de voiture, Figure voir la figure 1.3). Les concentrations moyennes, cependant, ne constituent pas un indicateur adéquat pour évaluer le degré d'exposition ou de dépôt.

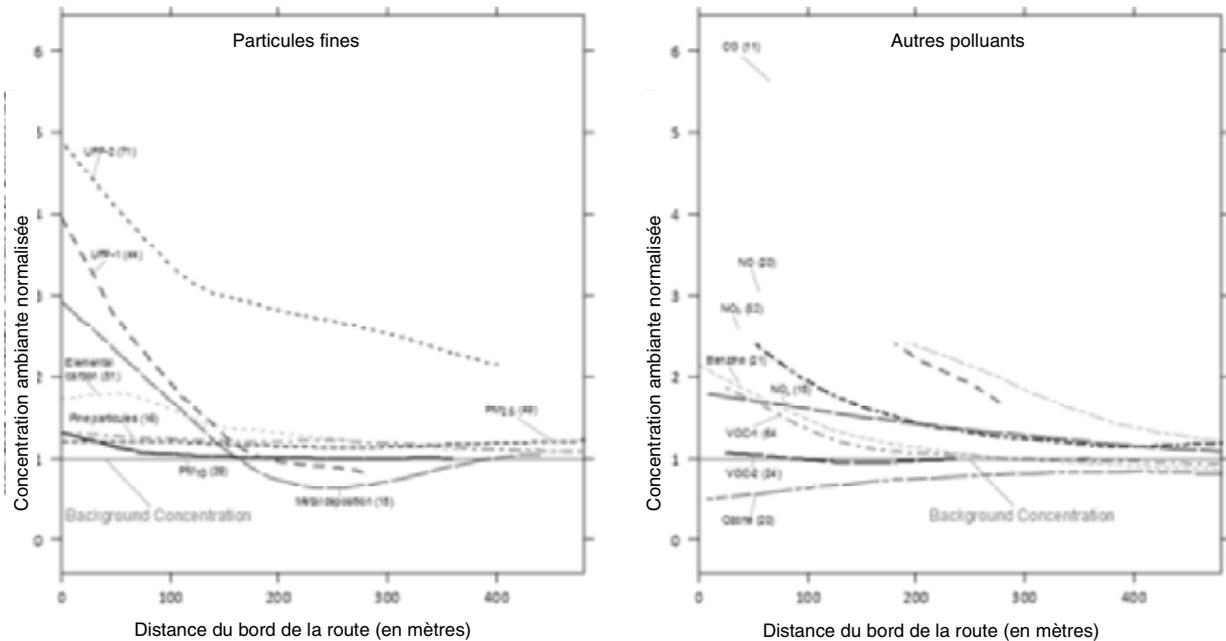
Figure 1.3 Concentrations de polluants : ratio voiture/vélo  
Présentation synthétique de 13 études et 21 résultats



Source: données compilées d'après Brauer et Cole (2012)

Certaines études ont isolé un gradient de concentration sur la base de la distance pour plusieurs types de polluants ayant un impact nocif important sur la santé. La courbe de ce gradient dépend fortement des conditions locales, de la composition du parc automobile et de la météorologie, mais une étude récente contrôlant pour nombre de ces facteurs constate que les gradients concentration-distance de plusieurs polluants toxiques présentent une courbe assez raide, la dégradation des particules ultrafines extrêmement dangereuses et du monoxyde de carbone intervenant dans un délai particulièrement rapide (Karner, Eisinger et Niemeir, 2010) (figure 1.4). Cela pourrait indiquer que les concentrations de polluants dangereux auxquelles sont exposés les cyclistes sur des voies séparées, même à proximité de la route, sont en moyenne moins élevées que celles auxquelles sont exposés les cyclistes et les automobilistes dans le flot de la circulation.

Figure 1.4 Gradient de concentration des polluants en bord de route - Régression locale des concentrations ambiantes normalisées pour la distance

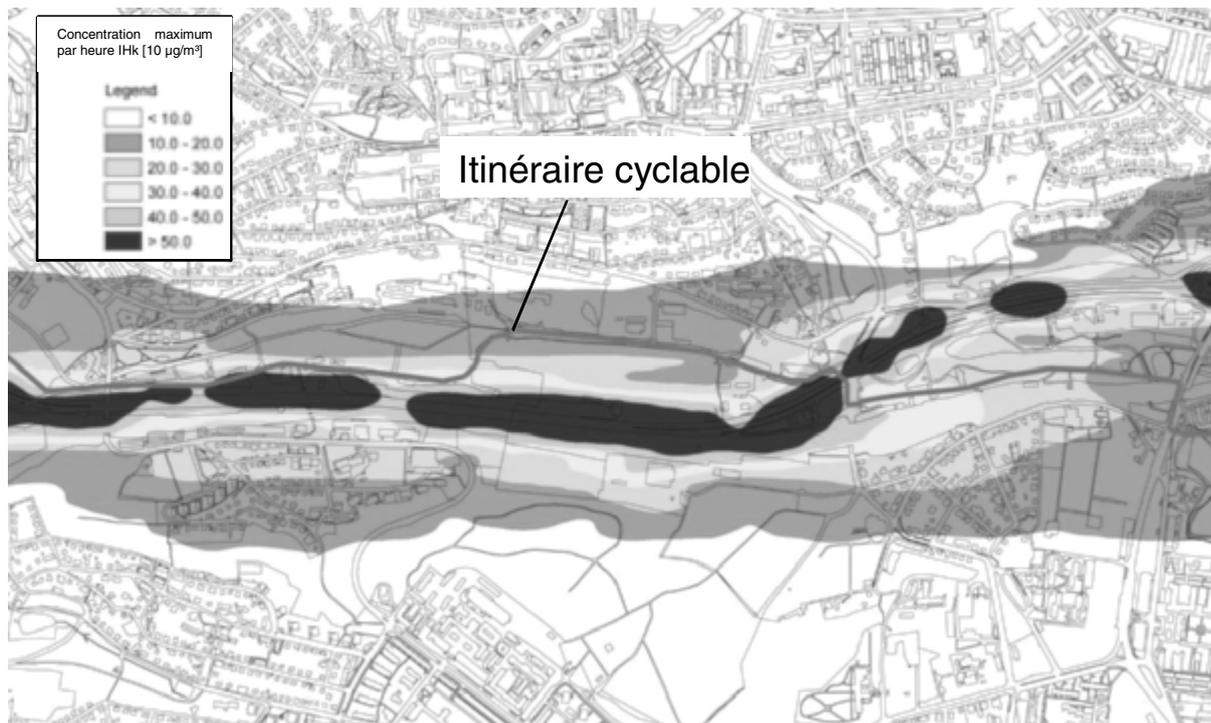


L'échantillon de régression pour chaque polluant est indiqué entre parenthèses.  
Source: (Karner, Eisinger et Niemeir 2010).

Ce résultat intuitif est confirmé par des micro-études consacrées aux concentrations de polluants mesurées à des distances très proches de la route. Kendrick *et al.* (2011), par exemple, constatent qu'éloigner les cyclistes de 1 à 2 mètres de la circulation automobile (dans le cadre de la conversion d'une bande cyclable en piste cyclable) entraîne une réduction de 8 à 38 % des concentrations de PUF selon le jour et le lieu. Cependant, dans cette étude, la configuration particulière de la piste cyclable (qui est séparée de la circulation par une rangée de voitures en stationnement et une petite zone tampon) a probablement contribué, en sus de la séparation horizontale d'avec le trafic automobile, à la baisse des concentrations mesurées pour les cyclistes.

Une étude de suivi portant sur une artère importante de la ville de Prague a également mis en lumière la dégradation due à la distance des polluants de la circulation routière (Bendl, 2011). Des concentrations de  $PM_{10}$  de moins de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à plus de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ont été enregistrées sur une piste cyclable longeant – mais pas toujours de façon adjacente – l'artère en question (figure 1.5). Ces résultats montrent que situer les équipements cyclables même légèrement plus à distance de la circulation permet de réduire les concentrations de polluants auxquelles sont exposés les cyclistes, surtout si des obstacles physiques (par exemple, des voitures en stationnement ou des haies) contribuent à empêcher la dispersion des polluants.

Figure 1.5 Carte des concentrations de PM10 le long d'une grande artère de Prague où circulent 110 000 véhicules par jour



Source: (Bendl 2011)

L'*exposition* aux polluants atmosphériques est le produit des *concentrations* dans l'air ambiant et de la *durée*. À concentration et à distance égales, en supposant des vitesses moyennes constatées, il apparaît que les cyclistes sont plus fortement exposés aux polluants que les occupants de voitures car il leur faut plus de temps pour parcourir la même distance. Cependant, lorsque la circulation est encombrée, les cyclistes peuvent être aussi rapides ou plus rapides que les véhicules à moteur et, par conséquent, leur exposition, à concentration égale, peut-être plus faible. En fait, les cyclistes choisissent généralement, lorsqu'ils le peuvent, les itinéraires les moins encombrés, ce qui réduit de fait leur *exposition* car les concentrations de polluants y sont moins élevées malgré un temps de parcours parfois plus long. Dans certains cas, l'exposition aux polluants atmosphériques nocifs est fortement réduite sur les itinéraires à faible circulation par rapport aux itinéraires plus encombrés (Zuurbier *et al.*, 2010), (Cole-Hunter *et al.*, 2012).

L'impact des polluants atmosphériques sur la santé des cyclistes dépend en définitive étroitement de l'absorption et donc du dépôt final des polluants dans les poumons, en particulier dans les alvéoles pulmonaires, qui leur permet d'entrer dans la circulation sanguine. L'absorption est le produit à la fois de l'*exposition* et, de façon déterminante dans le cas des cyclistes, de l'*effort respiratoire* car les cyclistes inhalent plus souvent et plus fortement que les automobilistes. Les études portant sur l'absorption de polluants en fonction de l'activité respiratoire chez les cyclistes et d'autres usagers de la route constatent l'absorption de doses plus élevées chez les cyclistes. Une étude prenant en compte l'effort respiratoire réel mesuré indique que les cyclistes inhalent 5.9 à 8 fois plus de PM<sub>2.5</sub> (µg) que les conducteurs de voiture sur le même itinéraire dans des conditions météorologiques et de circulation identiques (Int Panis, Meeusen *et al.*, 2011). Une autre étude aboutit à un écart plus faible mais néanmoins significatif, les cyclistes inhalant 1.9 fois autant de PM<sub>2.5</sub> (µg) que les conducteurs de voiture sur le même itinéraire

(Zuurbier *et al.*, 2010). La différence entre ces deux résultats s'explique en partie par la vitesse de déplacement (et donc la fréquence et l'effort respiratoires) des cyclistes : 12 km/heure dans la première étude et de 15 km/heure (pour les femmes) à 19 km/heure (pour les hommes) dans la seconde. À Dublin, McNabola, Broderick et Gill (2008) ont également relevé chez les cyclistes un taux d'absorption de PM<sub>2.5</sub> 1.4 fois supérieur à celui des automobilistes (et 1.3 fois supérieur à celui des piétons, mais légèrement supérieur seulement à celui des passagers de bus), bien que leur taux d'absorption de composés organiques volatils soit un peu inférieur à celui des occupants de voiture (mais supérieur à celui des piétons et des passagers de bus).

Les trois études susmentionnées ont été réalisées dans un contexte nord-européen (Pays-Bas, Belgique et Irlande) : leurs résultats valent-ils également pour d'autres contextes géographiques ? Les comparaisons inter-modes des taux d'exposition et d'absorption de polluants qui prennent en compte les cyclistes ne sont pas nombreuses mais deux études récentes examinent des données d'Espagne et de Chine. Dans une analyse parallèle de deux trajets pendulaires réalisés à l'aide de divers modes de transport dans le centre de Barcelone, de Nazelle, Fruin *et al.* (2012) constatent que les cyclistes sont exposés à 0.6 fois moins de particules ultrafines que les voitures et à peu près à la même concentration de PM<sub>2.5</sub> (tableau 1.5). Si l'on prend en compte l'effort respiratoire (2.1 fois plus élevé chez les cyclistes que chez les automobilistes) et la plus grande rapidité des vélos, il apparaît que les cyclistes inhalent 1.7 fois plus de PM<sub>2.5</sub> que les occupants de voitures et environ la même quantité de particules ultrafines. Cette étude relève également un taux d'inhalation moins élevé de carbone noir et de monoxyde de carbone chez les cyclistes par rapport aux conducteurs de voitures. Les cyclistes inhalent aussi des quantités *plus élevées* de tous les polluants considérés que les passagers de bus, mais des quantités *moins élevées* que les piétons.

Tableau 1.5 **Inhalation, temps de parcours, concentrations de polluants atmosphériques et calcul des doses inhalées : analyse parallèle de deux trajets pendulaires à Barcelone**

unit	Taux D'inhalation (L min <sup>-1</sup> )	Temps de parcours (min)	particules ultrafines		PM <sub>2.5</sub>		Carbone noir		CO	
			Concentration (moyenne arithmétique) (# cm <sup>-3</sup> )	Dose inhalée par parcours (# x 10 <sup>3</sup> )	Concentration (moyenne arithmétique) (µg m <sup>-3</sup> )	Dose inhalée par parcours (µg)	Concentration (moyenne arithmétique) (µg m <sup>-3</sup> )	Dose inhalée par parcours (µg)	Concentration (moyenne arithmétique) (ppm)	Dose inhalée par parcours (µg)
Marche	34.1	49	52700	89.8	21.6	35.1	6.31	10.7	1.31	7
Vélo	41	25	77500	75.6	35	32.8	9.53	8.7	1.64	3.2
Bus	20	34	55200	39.8	25.9	18	7.58	5.3	2.14	3
Voiture	19.9	28	123000	75.6	35.5	19.7	19.5	10.4	7.33	8.9
Contexte			19200		15.6		1.74			0.3
ratio vélo/voiture	2.1	0.9	0.6	1.0	1.0	1.7	0.5	0.8	0.2	0.4
ratio vélo/bus	2.1	0.7	1.4	1.9	1.4	1.8	1.3	1.6	0.8	1.1
ratio vélo/marche	1.2	0.5	1.5	0.8	1.6	0.9	1.5	0.8	1.3	0.5
vélo/autres modes	..	..	4.0	..	2.2	..	5.5	..	5.5	..

172 parcours, itinéraires de 4.7 et 3.1 km, 60 % à l'heure de pointe et 40 % en dehors de l'heure de pointe du trafic.

Source: (de Nazelle, Fruin, et al. 2012)

Une autre étude récente examine l'absorption de polluants dans divers modes de transport à Shanghai. Elle constate que le taux d'absorption de polluants par les cyclistes est disproportionné par rapport à celui des usagers d'autres modes de transport : les doses de PM<sub>1</sub> inhalées à heure de pointe par les cyclistes sont 2 fois supérieures à celles des passagers de bus et 4.25 fois plus élevées que celles des conducteurs de voitures (des taxis ont été utilisés comme substituts). Cette étude fait aussi état de concentrations absolues de particules fines nettement plus élevées que celles enregistrées dans d'autres études menée en Amérique du Nord ou en Europe (Yu *et al.*, 2012).

D'une manière générale, les données concernant la relation concentration-exposition-dépôt suggèrent que la santé des cyclistes pourrait être améliorée en situant, le cas échéant, les équipements cyclables à distance du trafic routier, en particulier dans les zones où les émissions sont les plus élevées (côtes d'accélération des véhicules à moteur, longues lignes droites et zones embouteillées) ou bien où

les cyclistes doivent fournir un effort particulièrement intense (par exemple en pente). Elles mettent également en évidence les risques plus élevés liés à la pollution atmosphérique pour les cyclistes dans les localités à fort taux de pollution. Enfin, pour estimer les avantages/désavantages de santé liés à la qualité de l'air résultant du passage au vélo, il est nécessaire d'établir à des fins de comparaison le taux d'absorption de la pollution atmosphérique lié à chaque mode de transport, car ces taux sont parfois très variables.

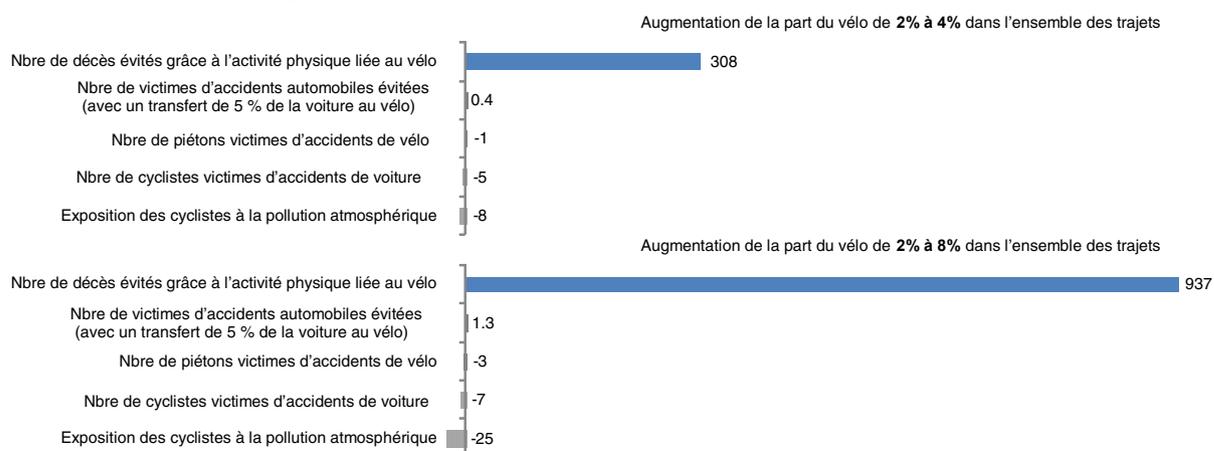
### Équilibre des risques de santé et de sécurité liés au vélo

Au vu des différentes données de recherche présentées dans les sections précédentes, que peut-on dire de l'équilibre global des risques de santé et de sécurité associés au vélo ? En particulier, dans quelle mesure les gains de santé identifiés compensent-ils les risques de dommages corporels liés aux accidents et à l'exposition à la pollution atmosphérique et au bruit ? Cette question est particulièrement importante pour l'analyse des coûts-avantages des projets cyclables (voir l'encadré 3).

Plusieurs chercheurs ont tenté récemment de répondre à cette question (Praznocy, 2012 ; Rabl et de Nazelle, 2012 ; de Nazelle, Niewenhuijsen *et al.*, 2011 ; Teschke *et al.*, 2012 ; Int Panis, Meeusen *et al.*, 2011 ; Rojas-Rueda *et al.*, 2011 ; de Hartog *et al.*, 2010 ; van Kempen *et al.*, 2010). En contrôlant pour le facteur d'exposition (et parfois celui de sous-comptabilisation des accidents), ces études constatent que les gains de santé liés au vélo sont en moyenne nettement supérieurs aux désavantages résultant des accidents de vélo et de l'exposition à la pollution atmosphérique.

Au terme d'une évaluation détaillée de l'impact du vélo sur la santé et la sécurité dans la région du Grand Paris, Praznocy (2012) note que l'impact de santé des conséquences des accidents de vélo (en termes de décès) est tout à fait surestimé par la plupart des acteurs, alors que l'impact de santé de l'exposition à la pollution atmosphérique est fortement sous-estimé. Le point essentiel, cependant, est que les gains de santé résultant de l'exercice régulier qu'entraîne l'utilisation du vélo excèdent fortement les désavantages décrits plus haut, et que ces gains de santé sont fondamentalement sous-estimés par les pouvoirs publics.

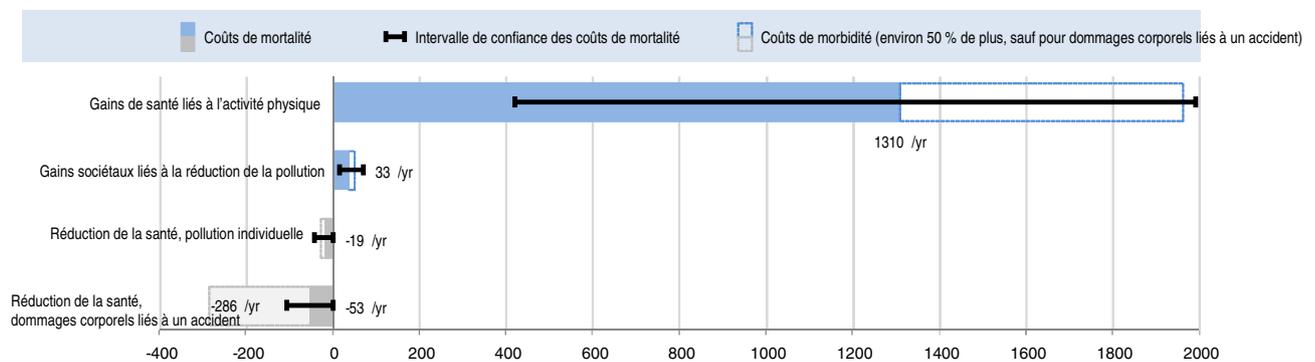
Figure 1.6 Effets estimés sur la mortalité de l'augmentation de la part du vélo comme mode de transport dans la région du Grand Paris (décès annuels évités/induits en 2020)



Source: (Praznocy, 2012)

La figure 1.6 présente sous une forme synthétique les résultats de Praznocy (2012). En s'appuyant sur des estimations prudentes<sup>12</sup>, l'étude obtient un ratio avantages-risques de 19 pour une augmentation de 4 % de la part du vélo comme mode de transport dans la région de Paris par rapport aux niveaux actuels, conformément aux taux de croissance récents. Si les politiques en faveur du vélo et d'autres interventions réussissaient à porter la part du vélo à un niveau comparable à celui observé dans de nombreuses villes françaises et européennes (8 %), ce ratio atteindrait 24. Dans une hypothèse nettement plus haute mais néanmoins conforme à la part du vélo observée dans d'autres villes (de plus petite taille), ce ratio pourrait atteindre 27. De même que dans d'autres études, les gains de santé liés à l'activité physique surpassent de beaucoup les autres gains positifs en laissant loin derrière les impacts négatifs. En revanche, contrairement à d'autres études, peut-être à cause du niveau élevé de particules en suspension à Paris, l'auteur constate que les impacts de santé liés à l'exposition à la pollution atmosphérique sont plus élevés que le risque d'accident auquel sont confrontés les cyclistes, au moins en termes de décès.

Figure 1.7 Estimation des coûts et avantages en termes de mortalité (et de morbidité) pour un individu remplaçant la voiture par le vélo pour se rendre à son travail\* dans les grandes villes européennes



\* Trajet pendulaire quotidien de 2 x 5 km, 5 jours par semaine, 46 semaines par an.

Les barres d'erreur représentent les intervalles de confiance supérieurs et inférieurs (95 %).

Source: Rabl et de Nazelle, 2012

Une autre analyse de l'impact monétisé du passage de la voiture au vélo dans les grandes villes européennes (Rabl et de Nazelle, 2012) obtient un gain de santé positif de 1 343 EUR par an en moyenne pour chaque individu décidant de remplacer la voiture par le vélo pour se rendre à son travail (figure 1.7). Elle évalue l'impact de santé négatif, y compris la mortalité liée aux accidents, à une perte de 72 EUR par an, c'est-à-dire 19 fois moins que le gain observé. La conclusion principale selon laquelle les avantages de santé liés à la pratique du vélo sont sans commune mesure avec les impacts de santé négatifs liés aux accidents et à la pollution atmosphérique est confirmée dans une série d'hypothèses impliquant des variables et valeurs monétaires données. L'une des raisons en est que l'activité physique a un impact bénéfique au regard d'une gamme de critères plus étendue que la pollution atmosphérique et les accidents. Les auteurs notent que le fait de prendre en compte la *morbidité* en sus de la *mortalité* entraînerait probablement une augmentation de 50 % environ de l'impact individuel et sociétal lié à la pollution atmosphérique et de plus de 50 % des gains de santé liés au vélo. Cependant, dans le même temps, la charge des accidents de vélo non mortels passerait à 286 EUR par an, soit 5.5 fois plus qu'avec le scénario présenté dans la figure 1 en se servant des coûts au kilomètre tirés d'Aertsens *et al.* (2010).

Les études mentionnées ci-dessus constatent que les gains de santé liés au vélo excèdent de loin les désavantages liés au risque accru d'accident. Néanmoins, la question essentielle demeure : *quels gains de santé et pour qui ?*

Nombre des études évoquées plus haut examinent principalement les gains *individuels* de santé des cyclistes *qui utilisaient auparavant une voiture*. Comme noté dans la section 1.2.2, cependant, des données convaincantes montrent que les politiques de promotion du vélo touchent, au moins dans un premier temps, surtout les piétons et les usagers des transports publics plutôt que les automobilistes. Il est probable qu'à partir d'un certain point, le nombre d'automobilistes optant pour le vélo augmente fortement (comme le montrent les données des pays ayant adopté de longue date des politiques en faveur du vélo) mais on ignore si, quand et comment de nombreux automobilistes feront la transition, cela dépendant non seulement des politiques locales mais aussi des conditions locales. Tout ce qu'on peut dire, c'est qu'au moins initialement, l'impact de santé des politiques de promotion du vélo est déterminé en grande partie par l'adoption du vélo par les piétons et les usagers des transports publics plutôt que par les seuls occupants de voiture.

### Encadré 1.3 Prendre en compte la santé et la sécurité liées au vélo dans l'analyse de coûts avantages

L'utilisation de l'analyse de coûts-avantages (ACA) dans le domaine des transports aide à guider les décisions d'investissement en vue d'optimiser les résultats pour la société. Dans l'idéal, les investissements en faveur du vélo et le développement de politiques de promotion du vélo devraient faire l'objet d'analyses coûts-avantages, en particulier dans un contexte de restrictions budgétaires et de recherche de rendement maximum. Cavill *et al.* (2008) ont examiné 16 ACA axées sur ou incluant le vélo. En contrôlant pour les facteurs de méthode et de qualité, ils obtiennent une gamme de résultats largement positifs du point de vue du ratio avantages-coûts (RAC) dans 16 analyses portant sur des projets cyclables, le RAC s'échelonnant de 1.5/1 à 32.5/1, avec un seul résultat légèrement négatif. Le RAC médian des projets examinés est de 5/1, ce qui, à titre de comparaison, est beaucoup plus élevé que le seuil de 2/1 requis dans la planification des projets d'infrastructure au Royaume-Uni. Les gains de santé contribuent de façon importante au RAC élevé des projets pour cyclistes et piétons dans les exemples examinés. Les auteurs notent cependant qu'en raison de la diversité des méthodes et variables prises en compte, et aussi parfois du manque de clarté des présupposés des ACA étudiées, il n'est pas possible d'en tirer une vue claire de l'étendue des avantages liés au vélo. Ils signalent aussi la difficulté d'établir le niveau total d'activité physique des populations concernées (qui aiderait à évaluer de façon plus précise l'impact du vélo sur l'amélioration de la santé), bien qu'une étude ait pris en compte comme variable de contrôle l'activité physique liée aux loisirs (Rutter 2006). Il semble donc, au minimum, qu'une plus grande transparence est nécessaire quant aux méthodes et présupposés des ACA se rapportant à des projets de développement de l'utilisation du vélo.

Compte tenu de la place prépondérante qu'occupent les gains de santé dans ces ACA, il paraît justifié de s'interroger sur le fait de savoir s'il s'agit ou non d'avantages *supplémentaires* (c'est-à-dire d'avantages connexes qui n'entrent pas en ligne de compte dans les décisions des individus) ou si les cyclistes anticipent une amélioration de leur santé lorsqu'ils décident d'utiliser un vélo (Börjesson et Eliasson, 2011).

Börjesson et Eliasson (2011) indiquent que quatre éléments doivent être pris en compte pour déterminer si les gains de santé doivent être inclus ou non dans les ACA concernant les politiques en faveur du vélo et les investissements infrastructurels correspondants :

- le fait de savoir si oui ou non les cyclistes retirent des gains de santé de l'utilisation du vélo ;
- le fait de savoir si oui ou non les politiques en faveur du vélo et les infrastructures cyclables augmentent effectivement le niveau d'utilisation du vélo, en particulier parmi les personnes sédentaires ;
- les effets de substitution entre le vélo et d'autres formes d'activité physique ;
- le degré auquel les cyclistes tiennent déjà compte des gains de santé liés à l'utilisation du vélo.

Ce chapitre examine les deux premiers points : les gains de santé individuels sont importants et les politiques en faveur du vélo semblent, au moins initialement, toucher principalement les non-automobilistes (avec des différences selon les régions géographiques). S'agissant des deux derniers points, Börjesson et Eliasson (2011) notent que, pour la plupart des cyclistes de Stockholm interrogés dans leur enquête, le vélo est déjà la principale forme d'exercice et ils citent des données montrant que l'augmentation de la pratique du vélo entraînerait une baisse d'autres formes d'activité physique. Cela semble indiquer que, par manque de temps, les nouveaux cyclistes (ayant abandonné un autre mode de transport) peuvent être amenés à réduire d'autres formes d'exercice, en maintenant ainsi leur activité physique à un niveau constant. La pratique du vélo, par conséquent, ne se traduirait pas nécessairement par un niveau d'activité physique (et des gains de santé) aussi important qu'on le suppose fréquemment sur la base de certaines études (Yang *et al.*, 2012). Néanmoins, celle-ci pourrait accroître la quantité d'exercice modéré régulier de certaines personnes (par opposition à des périodes d'exercice plus intensif mais moins fréquent) et avoir ainsi un effet positif sur la santé (Praznoczy, 2012).

L'autre question est celle de savoir si les cyclistes sont conscients de l'impact positif du vélo sur la santé et en tiennent déjà compte. Si tel est le cas, inclure les gains de santé comme *avantages supplémentaires* dans l'ACA reviendrait à comptabiliser deux fois la même chose. Cela a des implications importantes étant donné que minimiser grandement les avantages de santé liés au vélo dans l'ACA, toutes choses égales par ailleurs, réduirait fortement le RAC positif du vélo<sup>13</sup>. Il semble peu probable que les cyclistes soient pleinement conscients des avantages de santé liés au vélo et soient en mesure de les évaluer avec précision. Toutefois, il semble aussi peu probable que les cyclistes ignorent complètement l'amélioration de la santé comme raison d'utiliser un vélo. Par conséquent, il ne paraît pas justifié de définir *tous les gains de santé* liés au vélo comme des *avantages supplémentaires*. Cependant, dans l'état actuel des connaissances, il n'est pas possible de déterminer exactement ce qui constitue ou non un avantage de santé supplémentaire aux fins de l'ACA, ce qui montre le besoin de nouvelles études ou, au minimum, la nécessité de tenir compte explicitement de ce manque de connaissances dans l'ACA.

Un autre élément important est de déterminer si les gains de santé imputables à l'augmentation de l'activité physique liée au vélo demeurent aussi élevés lorsque l'on prend en compte l'activité physique qui n'est pas liée au vélo. Une augmentation de l'utilisation du vélo n'implique pas nécessairement une augmentation de l'activité physique globale, et inversement. Les études mentionnées plus haut présupposent en général un faible niveau d'activité physique des automobilistes et une augmentation positive pour la santé de l'exercice physique en relation avec le vélo. Ces présupposés sont contestables car les automobilistes peuvent être physiquement actifs d'autres façons (activités sportives, par exemple), et les piétons et les usagers des transports publics peuvent être presque aussi actifs que les cyclistes. Les automobilistes qui optent pour le vélo peuvent accroître leur niveau d'activité ou simplement remplacer des activités sportives ou d'autres activités physiques par le vélo (Börjesson et Eliasson, 2011) (Yang *et al.*, 2012). De même, les piétons et les usagers des transports publics peuvent simplement substituer une forme d'activité physique (la marche à pied) à une autre (le vélo). Un autre élément à prendre en compte est l'aptitude de différents pays ou populations à remplacer ou non le vélo par d'autres formes d'exercice, ou inversement. Certaines populations pour lesquelles la pratique du vélo est principalement liée aux loisirs seront sans doute prêtes à substituer le vélo à d'autres formes d'exercice, alors que d'autres pour lesquelles le vélo est (ou sera) perçu principalement comme un moyen de transport utilitaire seront moins prêtes à le faire (de Jong, 2012). Toute modification de la fréquence d'utilisation du vélo aura un impact plus marqué dans les secondes que dans les premières. Globalement, toutefois, la question essentielle de savoir dans quelle mesure la pratique du vélo augmente le *niveau général d'activité physique* est difficile à résoudre et reste en grande partie ignorée dans les travaux de recherche.

Pour résumer l'état actuel de la recherche, on peut dire que, d'une manière générale, même en prenant en compte le risque de dommages corporels, la pratique du vélo semble avoir un impact positif important sur la santé, par rapport à l'utilisation d'une voiture, chez les personnes dont le niveau d'activité physique est faible. Les politiques qui réussissent à inciter cette catégorie de personnes à opter pour le vélo peuvent conduire à une augmentation du nombre d'accidents (mais pas nécessairement du taux d'accident comme on l'a vu dans la section 1.2) mais les effets négatifs de cette augmentation seront plus que compensés par la baisse de la mortalité et de la morbidité due à l'augmentation de l'activité physique<sup>14</sup>. Néanmoins, en pareil cas, l'augmentation du nombre d'accidents, en tant que résultat négatif des politiques, devra faire l'objet de mesures spécifiques. En revanche, les politiques qui contribuent à l'augmentation de l'utilisation du vélo mais *sans accroître* le niveau général d'activité physique n'apportent que des risques nouveaux (Int Panis et de Hartog, 2011), mais la réduction de ces risques peut entraîner des avantages disproportionnés (par exemple en stimulant encore plus l'utilisation du vélo).

### **1.3. La « sécurité par le nombre » : l'augmentation du nombre de cyclistes contribue-t-elle à améliorer la sécurité ? Et, si oui, comment ?**

Les chercheurs et les observateurs notent une corrélation entre l'augmentation du nombre de cyclistes (ou de piétons) et la réduction relative du taux d'incidence des accidents graves/mortels impliquant des cyclistes (ou des piétons). Cet effet de « sécurité par le nombre » (Jacobsen, 2003), fréquemment signalé, suggère que les ratios de risque relatif du vélo et d'autres modes de transport indiqués au tableau 1 ne sont pas fixes mais évoluent en fonction de la répartition modale de l'ensemble du trafic. L'effet observé de « sécurité par le nombre » vaut non seulement pour les accidents entre plusieurs acteurs de la circulation mais aussi pour les accidents de vélo isolés (P. Schepers, 2012). Le caractère non linéaire du risque est à la base de ce phénomène : une augmentation de l'exposition (nombres, volumes, etc.) se traduit par une augmentation proportionnellement inférieure du nombre d'accidents (Elvik, 2009). Inversement, plus faible est le nombre de cyclistes dans la circulation (toutes choses égales par ailleurs), plus grand est le risque d'accidents et de dommages corporels auxquels ceux-ci sont exposés. Sous sa forme la plus simple, l'effet observé de « sécurité par le nombre » a

conduit certains chercheurs à suggérer que les politiques qui favorisent l'augmentation du nombre de cyclistes améliorent de fait la sécurité puisque le nombre d'accidents diminue par unité. Une telle interprétation, cependant, ne présente qu'un intérêt limité aux fins des politiques étant donné qu'une augmentation des accidents en termes absolus, quel que soit le taux des accidents, peut difficilement être considérée comme un résultat bénéfique d'une politique, et aussi parce que la relation entre nombre de cyclistes et taux d'accident n'est pas nécessairement univoque ou unidirectionnelle.

Lorsqu'on parle de « sécurité par le nombre », il convient d'éviter soigneusement de confondre la *corrélation* observée et la *causalité*, car il existe de nombreuses explications plausibles du phénomène observé. Il est d'ailleurs frappant de constater combien les études empiriques examinant les facteurs de causation susceptibles d'expliquer la relation entre l'augmentation du nombre de cyclistes et de piétons et la baisse du taux d'accident sont peu nombreuses. Les hypothèses mises en avant à ce sujet portent principalement sur le comportement des conducteurs de véhicules à moteur ou bien sur celui des cyclistes eux-mêmes.

Le « facteur d'attente » explique peut-être l'effet de « sécurité par le nombre » du point de vue des automobilistes. Autrement dit, lorsqu'un usager de la route (par exemple un conducteur de voiture) s'attend à la présence d'un autre usager de la route, ou est en mesure de prédire le comportement d'autres usagers de la route, on peut prévoir des risques moindres (Houtenbos, 2008) (Räsänen et Summala, 1998). Il serait donc sans doute plus exact de modifier l'expression de « *sécurité par le nombre* » pour parler de « *vigilance par le nombre* » (F. Wegman, in Mapes, 2009). Une autre explication pourrait être simplement la plus grande visibilité des cyclistes pour les automobilistes lorsqu'ils sont plus nombreux (Bhatia et Wier, 2012).

Certains chercheurs ont proposé d'autres explications du phénomène de « sécurité par le nombre » en mettant en avant une hypothétique « vigilance collective » des cyclistes eux-mêmes. Dans cette optique, plus les cyclistes sont nombreux, plus grand est le nombre d'individus aptes à détecter les sources potentielles de danger dans l'environnement routier et à communiquer ce qu'ils perçoivent aux autres cyclistes directement (verbalement ou par des signes de la main) ou indirectement (par des manœuvres d'évitement visibles). Chaque cycliste bénéficie ainsi du travail de détection des autres, ce qui permet aux populations de cyclistes plus nombreuses de bénéficier d'un niveau plus élevé de vigilance collective. De la même façon, les cyclistes peuvent opter collectivement pour certains itinéraires (et éventuellement certains comportements) plus sûrs en suivant l'exemple de cyclistes plus expérimentés (Bhatia et Wier, 2012).

Si le « facteur d'attente », la « vigilance par le nombre » et la « vigilance collective » constituent des explications pertinentes de l'effet observé de « sécurité par le nombre », on peut raisonnablement supposer que la simple augmentation du nombre de cyclistes entraînera effectivement une baisse du taux d'accident. Il se pourrait même qu'à un niveau assez élevé de développement de l'utilisation du vélo, le nombre absolu des accidents diminue, comme le suggère Elvik (2009).

Toutefois, le risque de confondre différents facteurs de causation est grand, notamment si l'on prend en compte l'orientation temporelle, pour l'essentiel non confirmée, de l'effet observé de « sécurité par le nombre ». L'explication pourrait simplement être que les systèmes de circulation sûrs pour le vélo attirent un nombre important de cyclistes, c'est-à-dire que des gens plus nombreux optent pour le vélo lorsque cela est sans danger. Le nombre élevé de cyclistes aux Pays-Bas, au Danemark et en Allemagne est associé à une forte densité d'équipements cyclables sûrs, ce qui explique sans doute pourquoi tant de personnes choisissent le vélo comme mode de transport dans ces pays et aussi pourquoi le taux d'accident y est assez peu élevé. En l'absence d'études prospectives ou longitudinales examinant les effets ex-ante et ex-post de nouvelles infrastructures, il est difficile de déterminer si l'effet observé est un

effet de « *sécurité par le nombre* » ou de « *nombre par la sécurité* » (Bhatia et Wier, 2012). Si la dernière explication est exacte, introduire simplement un plus grand nombre de cyclistes dans un système de circulation peu sûr pourrait entraîner l'augmentation à la fois du nombre des accidents en chiffres absolus et du taux d'accident, ce qui est évidemment un résultat indésirable.

Compte tenu de l'absence de données probantes sur les déterminants comportementaux ou infrastructurels de la « *sécurité par le nombre* », il est sans doute indiqué de prendre soigneusement en compte le phénomène observé pour définir les politiques de sécurité du vélo. Au minimum, les politiques visant à accroître le nombre de cyclistes devraient s'accompagner de mesures vigoureuses de réduction des risques.

#### 1.4. Problèmes à surmonter pour évaluer la sécurité du vélo : la sous-comptabilisation des accidents de vélo et l'absence de données d'exposition

Au cours de la réalisation de cette étude sur la sécurité cycliste, il est apparu clairement que, dans la plupart des cas, les autorités nationales et, souvent, les administrations régionales et municipales ne disposent pas des éléments de base requis pour la mesurer et évaluer l'impact des politiques visant à la renforcer. Pour quelle raison ? L'exercice repose avant tout sur le calcul du taux d'incidence des accidents (on distingue généralement les accidents mortels et non mortels, classés selon leur degré de gravité). De manière schématique, la sécurité (exprimée par le taux d'incidence des accidents) correspond au nombre d'accidents divisé par une mesure de l'exposition ou de l'usage du vélo.

$$\text{Sécurité (taux d'incidence)} = \frac{\text{Nombre d'accidents (tués ou blessés)}}{\text{Mesure de l'exposition (trajets, kilomètres, heures)}}$$

Il n'est pas rare que le numérateur et le dénominateur soient mal mesurés, quand ils sont connus. En pratique, cela signifie que de nombreuses autorités ne disposent pas d'une perception exacte du taux d'accident de vélo (et de piétons) qui sont causes de dommages corporels. Cela est particulièrement vrai pour les accidents non mortels. Très fréquemment, en outre, les autorités ne peuvent établir clairement si les tendances observées en matière d'accidents sont dues à un changement de la *sécurité* du vélo, du *nombre* de cyclistes ou du *volume* de la circulation à vélo. De nombreuses autorités s'efforçant aujourd'hui d'accroître le taux de cyclistes et de piétons, il paraît essentiel d'améliorer la base empirique nécessaire à l'évaluation des politiques.

#### Encadré 1.4 **Comptabilisation des dommages corporels graves liés aux accidents de la route : recommandations clés**

La Base de données internationale sur la circulation et les accidents de la route (BICAR), qu'abrite le Forum international des transports à l'OCDE, recueille en permanence des données internationales sur les accidents et l'exposition. Le Groupe international sur les données de sécurité routière et leur analyse (Groupe BICAR) chargé de tester, étendre et améliorer la BICAR a souligné le problème de la sous-comptabilisation des dommages corporels et d'autres conséquences des accidents et publié en 2011 un rapport intitulé *Reporting on serious road traffic casualties : combining different data sources to improve understanding of non-fatal road traffic crashes* [Le recensement des accidents de la circulation graves : combiner différentes sources de données pour mieux comprendre les accidents routiers non mortels] (IRTAD, 2012). Les principales conclusions de ce rapport sont particulièrement pertinentes au regard de la comptabilisation des accidents de vélo, compte tenu de la forte incidence de sous-comptabilisation des blessures de cyclistes non mortelles. On trouvera ci-dessous les plus aptes à améliorer la comptabilisation des dommages corporels des cyclistes :

1. Un tableau complet de l'ensemble des victimes (décès et blessures graves) est nécessaire pour évaluer pleinement les conséquences des accidents de la route et assurer le suivi des programmes.
2. Les données relatives aux accidents mortels doivent être complétées par des informations sur les dommages corporels afin de disposer d'un tableau plus complet des accidents de la route (en particulier au vu du nombre élevé de blessures moins graves dont sont victimes les cyclistes). Les données relatives aux dommages corporels doivent être développées à des fins de comparaison internationale.
3. Les données de police devraient demeurer la source principale des statistiques des accidents de la route. Toutefois, pour des raisons de sous-comptabilisation et de biais possible (par exemple un taux inférieur de signalement des accidents de vélo par rapport aux accidents automobiles), les données de police devraient être complétées par les données des hôpitaux, qui constituent la deuxième source la plus utile.
4. Les données des services d'urgence des hôpitaux, disponibles dans certains pays, devraient faire l'objet d'un suivi et d'une analyse régulière pour déterminer si elles fournissent une information plus précise sur les victimes d'accidents de la route. Cela est particulièrement important pour les dommages corporels subis par des cyclistes, car ceux-ci sont rarement inclus dans les données sur les accidents.
5. L'évaluation de la gravité des blessures devrait être faite de préférence par des professionnels de la santé et non par la police sur le lieu de l'accident.

Source: (IRTAD, 2012)

#### ***Sous-comptabilisation des accidents de vélo***

La sous-comptabilisation des accidents de vélo représente un obstacle à l'analyse de la sécurité cycliste. La cause profonde en est que, dans de nombreux pays, les accidents corporels ne sont pas systématiquement recensés. Il convient de garder à l'esprit que l'analyse présentée dans ce rapport se fonde essentiellement sur les données relatives aux accidents cyclistes qui ont donné lieu à un *signalement*, souvent les données de la police. Le problème de la sous-comptabilisation ne se limite pas seulement aux accidents de vélo ou à certains pays ; d'une certaine façon, il est inévitable et concerne tous les types de véhicules et tous les pays (IRTAD, 2012). Néanmoins, certaines données indiquent que, parmi tous acteurs impliqués dans des accidents de la circulation, les cyclistes sont ceux qui sont le moins fréquemment comptabilisés (Broughton *et al.*, 2008), (De Mol et Lammar, 2006).

La sous-déclaration touche moins les accidents *mortels* impliquant des cyclistes, encore que des disparités soient observées dans les critères appliqués pour relier un décès à un accident. Une mauvaise coordination des relevés de la police et des hôpitaux contribue également à l'inexactitude des données relatives aux décès liés à un accident. La sous-comptabilisation des blessures corporelles dues à des *accidents de vélo non mortels* est beaucoup plus fréquente et rend plus difficiles les évaluations de la sécurité routière (IRTAD, 2012).

En principe, la police doit toujours être informée des accidents de la circulation entraînant des blessures corporelles. Toutefois, en pratique, les usagers de la route ne se conforment pas toujours à cette obligation. Il y a à cela de nombreuses raisons. En l'absence de blessures graves ou de complications physiques immédiates (entorse cervicale, légère concussion, etc.), les parties en jeu n'informent pas en général la police ou, lorsqu'elle est informée, la police ne se rend pas toujours sur les lieux de l'accident. Moins l'accident est grave, plus grande est la probabilité que la police s'abstienne d'intervenir. La police intervient moins souvent en cas d'accident impliquant uniquement des usagers vulnérables, comme les cyclistes, qu'en cas d'accident de voiture (Elvik et Vaa, 2004), (Vadenbulcke *et al.*, 2009). Un autre facteur de sous-comptabilisation est le nombre de personnes impliquées dans les accidents de vélo : plus ce nombre est faible, plus faibles également sont les chances d'enregistrement officiel (Elvik et Vaa, 2004) (Vadenbulcke *et al.*, 2009).

La sous-comptabilisation des accidents de vélo atteint un niveau très élevé : selon une évaluation prudente, en Europe les données de la police ne couvriraient que 50 % des admissions à l'hôpital pour des blessures corporelles liées à un accident de vélo (De Mol et Lammar, 2006). Une évaluation comparable menée aux États-Unis aboutit à un chiffre de 10 % seulement. (Pucher et Dijkstra, 2000). Langley *et al.* (2003) indiquent que 22 % seulement des cyclistes victimes de dommages corporels graves dans un accident sont enregistrés dans les statistiques officielles des accidents de la circulation en Nouvelle-Zélande. Juhra *et al.* (2011) rapportent qu'à Münster, pendant une étude d'un an réalisée en 2009, la police n'a enregistré que 34 % des blessures de cyclistes. Une étude prospective approfondie de cohorte menée en Belgique confirme le taux élevé de non-déclaration des dommages corporels liés à des accidents non mortels, seuls 7 % des accidents de vélo sans gravité étant consignés dans les statistiques de la police (B. de Geus *et al.*, 2012), (Vandenbulcke *et al.*, 2009), et ce chiffre très faible est confirmé par d'autres études (Van Hout, 2007), (Elvik et Mysen, 1999).

La sous-comptabilisation rend difficile l'analyse des tendances évolutives à long terme et empêche d'obtenir un tableau exact de la sécurité des cyclistes. Elle nuit en particulier à l'évaluation de :

- L'évolution de la sécurité des cyclistes : on ignore si et comment le problème de la sous-comptabilisation des accidents a évolué dans le temps. Pour pouvoir comparer de manière fiable les facteurs de sécurité routière sur plusieurs années, il faut que l'ampleur du phénomène demeure stable. En effet, toute modification du nombre des accidents enregistrés, même annuellement, a un impact sur les statistiques d'accidents. Le risque, par conséquent, est qu'une augmentation ou une diminution des statistiques des accidents de vélo soit interprétée pour elle-même, en un sens restrictif, et non comme un effet du changement du nombre d'accidents enregistrés.
- La gravité des accidents : les accidents qui sont la cause de blessures légères sont moins bien recensés que ceux qui entraînent des dommages corporels graves ; et ces derniers sont moins bien recensés que les accidents mortels (c'est-à-dire qui sont la cause d'un décès dans les trente jours qui suivent l'accident). La conséquence en est que, parmi l'ensemble des accidents de la circulation, les accidents entraînant des blessures légères sont proportionnellement ceux qui sont le moins fréquemment recensés, ce qui fait que le degré moyen de gravité des accidents de vélo est surestimé.
- Les caractéristiques spécifiques des accidents de vélo : comme indiqué plus haut, la fréquence d'enregistrement des accidents varie actuellement en fonction du type d'antagonistes en jeu. C'est pourquoi les caractéristiques de certains accidents de vélo sont proportionnellement moins connues que d'autres. En particulier, les accidents de vélo isolés, les accidents entre vélos et les accidents entre vélos et piétons sont sans doute fortement sous-estimés, en partie à cause du degré de gravité moindre des conséquences de ces accidents.

- La vue d'ensemble des accidents de vélo : la proportion d'accidents de vélo dans le nombre total des accidents de la route étant fortement sous-estimée, il est difficile pour les décideurs d'évaluer correctement les implications sociales des accidents de vélo (tant d'un point de vue quantitatif que qualitatif). Cela affecte leur capacité à prendre des mesures appropriées. En l'absence d'un point de référence et de comparaison objectif, il est aussi difficile d'établir des objectifs quantifiés pour la réduction du nombre de victimes d'accidents de vélo.

### ***Manque de données sur l'utilisation du vélo et de données d'exposition***

La plupart des pays et/ou des villes sont mal outillées pour évaluer la sécurité du vélo car elles manquent de données exactes et détaillées sur l'utilisation effective du vélo. Le manque de données d'exposition empêche véritablement de connaître la situation actuelle en matière de sécurité du vélo et rend difficile l'évaluation des politiques en faveur du vélo. Disposer de taux d'accident sur la base de l'exposition serait essentiel pour permettre aux autorités de comprendre si les politiques améliorent la sécurité *en réduisant l'exposition* (c'est-à-dire en réduisant l'utilisation du vélo), ce qui, compte tenu des avantages du vélo, serait une mauvaise chose, ou si ces politiques renforcent la sécurité en réduisant les dommages corporels liés à des accidents pour un même niveau d'utilisation du vélo.

L'information sur le *nombre* d'accidents de vélo est effectivement utile pour identifier les problèmes et allouer les ressources. Si un nombre important de cyclistes sont victimes de dommages corporels, le problème mérite investigation et intervention. S'il apparaît que les accidents corporels sont fréquents dans un contexte particulier, il convient d'allouer des ressources pour rectifier la situation.

Par contre, pour *comprendre* les caractéristiques des accidents et des blessures, il est nécessaire de prendre en compte l'exposition au vélo. De nombreux indicateurs d'exposition possibles peuvent être utilisés à cette fin, y compris des mesures directes ou indirectes ou des mesures de substitution (Wundersitz et Hutchinson, 2008) :

Enquêtes sur les déplacements :

- Distance parcourue.
- Nombre de trajets.
- Durée des trajets.

Suivi de la circulation :

- Volumes de la circulation.
- Conflits de la circulation.

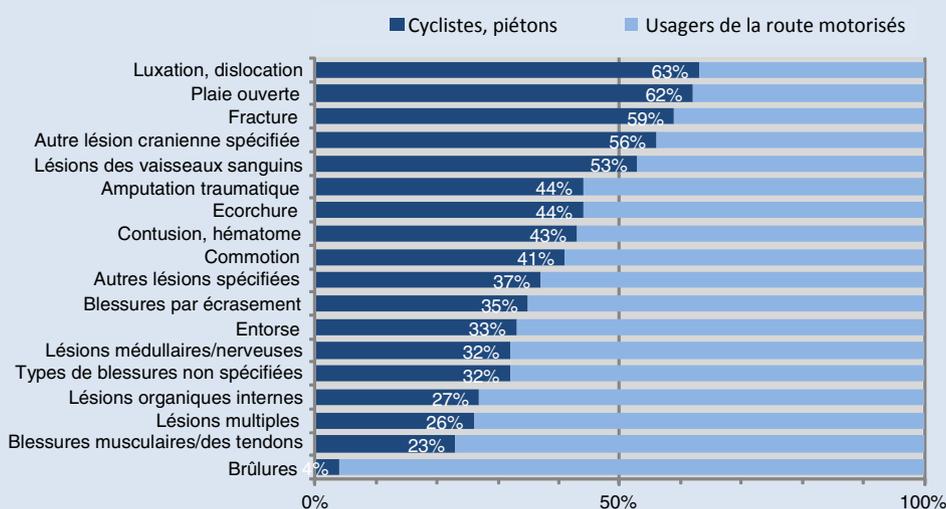
La distance parcourue et la durée des trajets sont sans doute les critères qui permettent de mesurer au mieux l'exposition aux risques. En l'absence de ces informations, il est possible de recourir à des variables de remplacement qui seront toutefois beaucoup moins précises. Par exemple, la longueur des infrastructures cyclables d'un pays peut donner une idée de la mesure dans laquelle l'usage du vélo y est répandu. Cela dit, ce n'est pas parce qu'un pays dispose d'importantes infrastructures cyclables qu'elles sont nécessairement utilisées au maximum de leurs capacités. Parmi les autres critères de remplacement envisageables figurent le parc de vélos (dont une partie ne circule jamais ou uniquement à des fins de loisirs) et la population (dont une grande partie ne fait pas de vélo). Par conséquent, la prudence s'impose dans le traitement des taux calculés à l'aide de ces indicateurs moins précis.

### Encadré 1.5 Caractéristiques des accidents de vélo et taux de déclaration, d'après la base de données européenne des accidents (IDB)

En Europe, les données sur les accidents recueillies par la police sont centralisées dans la base de données CARE (voir le chapitre 4), qui suit plusieurs points de données concernant les acteurs impliqués dans l'accident, le contexte, les conditions de circulation, le lieu et les conséquences. En outre, la base de données européenne des accidents (IDB) collecte des données standardisées sur le traitement des dommages corporels à partir des hôpitaux des pays suivants : Allemagne, Autriche, Danemark, France, Irlande, Italie, Lettonie, Malte, Pays-Bas, Portugal, Royaume-Uni et Suède. Les données de l'IDB sur les accidents de la circulation complètent les statistiques de la police saisies dans la base de données CARE en fournissant des informations plus détaillées des hôpitaux sur la gravité et le traitement des blessures lorsqu'un lien est établi grâce à un numéro d'identification commun. Cependant, la plupart des données de l'IDB sur les accidents de vélo concernent des accidents qui n'ont pas été déclarés à la police ou, s'ils ont été déclarés, pour lesquels aucun lien d'identification n'a été établi. Les données de l'IDB offrent donc une base utile pour comprendre l'ampleur et la gravité des dommages corporels liés aux accidents de vélo, ainsi que pour évaluer le degré de sous-comptabilisation de ces accidents dans les statistiques officielles.

D'après les statistiques de l'IDB, les cyclistes représentent 41 % des victimes d'accidents de la circulation traitées dans un hôpital dans les pays fournissant des données et 30 % des victimes d'accidents de la circulation qui sont hospitalisées. La durée d'hospitalisation des cyclistes est de sept jours environ ; elle est donc plus longue que la durée moyenne d'hospitalisation des automobilistes mais plus courte que celle des piétons et des conducteurs de deux-roues à moteur. Les blessures subies par les cyclistes concernent principalement la partie supérieure du corps (37 %), la tête (26 %) et les membres inférieurs (26 %). Les blessures à la tête sont légèrement plus fréquentes chez les cyclistes par rapport à la moyenne des victimes d'accidents de la circulation (24 %). Leur pourcentage est légèrement plus élevé que celui des automobilistes (24 %), nettement plus élevé que celui des conducteurs de deux-roues à moteur (16 %) et bien inférieur à celui des piétons (30 %). Les cyclistes ont la plus forte proportion de blessures du tronc de tous les usagers de la route pris en compte dans l'IDB. S'agissant des catégories de blessures, les usagers de la route vulnérables dominent dans 5 des 18 catégories de blessures de l'IDB – principalement les lésions traumatiques (dislocations, plaies ouvertes et fractures) – et représentent une part légèrement supérieure de l'ensemble des lésions crâniennes non-traumatiques.

#### Données de l'IDB sur les catégories de blessures subies par les usagers de la route vulnérables en comparaison avec les usagers de la route motorisés



Comparer les données de l'IDB avec les statistiques nationales des accidents recueillies par la police révèle l'ampleur de la sous-comptabilisation des accidents de vélo. En Autriche, par exemple, les statistiques officielles de la police font état de 5 495 accidents de vélo avec dommages corporels en 2009. En revanche, les statistiques des hôpitaux recueillies par l'IDB indiquent que 28 200 victimes d'accidents de vélo ont été traitées dans les hôpitaux et, si l'on tient compte des données d'enquête sur les déplacements concernant le nombre de consultations médicales privées liées à des accidents de vélo, le chiffre total devrait être porté à environ 37 000 accidents corporels. Les statistiques de la police ne comptabilisent par conséquent que 15 % du nombre total des accidents corporels de vélo en Autriche en 2009 ; ce pourcentage recoupe d'autres données sur la sous-comptabilisation des accidents de vélo.

Source: (Brandstaetter et Bauer 2012)

Ce rapport confirme que la plupart des pays ne recueillent pas de données fiables sur les distances parcourues à vélo (exposition au vélo) permettant de calculer le taux d'accident ou de dommages corporels (par kilomètre parcouru). C'est pourquoi il est difficile de répondre à des questions comme : le vélo est-il sûr ? Comment se compare-t-il à d'autres modes de transport ? En l'absence d'information sur les distances parcourues à vélo dans différents pays, il est difficile de comparer la sécurité des systèmes cyclables de ces pays. En outre, sans information sur les distances parcourues à vélo dans différents contextes, il est difficile de répondre à des questions telles que : quel est le degré de sécurité du vélo sur les équipements cyclables par rapport à la circulation en vélo sur les routes sans aménagements spécifiques pour cyclistes ? Quel est le degré de sécurité du vélo le jour par rapport à la nuit ? Ou d'autres questions similaires. En l'absence d'information sur le volume de la circulation en vélo, les données sur le *nombre* d'accidents de vélo ne présentent qu'un intérêt limité.

Les pays qui collectent effectivement des données sur le volume de trafic vélo le font généralement au moyen d'études nationales assez coûteuses sur les déplacements ou la mobilité qui reposent sur des entretiens ou sur les carnets de déplacements d'un échantillon de personnes. En fonction de la méthode utilisée, certaines enquêtes peuvent être amenées à sous-estimer l'utilisation du vélo, par exemple lorsqu'elles demandent aux répondants d'indiquer uniquement le mode de transport principal utilisé pour un trajet (les trajets combinant vélo et transports publics étant alors comptabilisés comme trajets en transports publics si le deuxième segment est plus long que le premier). La périodicité des enquêtes sur les déplacements varie également d'un pays à l'autre. Certains pays comme le Danemark, les Pays-Bas et le Royaume-Uni réalisent de telles enquêtes tous les ans, mais elles sont beaucoup moins fréquentes dans d'autres pays.

En l'absence d'indicateurs basés sur la distance, la durée ou les trajets, il est possible de recourir à des variables de remplacement qui seront toutefois beaucoup moins précises. Par exemple, la longueur des infrastructures cyclables d'un pays peut donner une idée de la mesure dans laquelle l'usage du vélo y est répandu. Cela dit, ce n'est pas parce qu'un pays dispose d'importantes infrastructures cyclables qu'elles sont nécessairement utilisées au maximum de leurs capacités. Parmi les autres critères de remplacement envisageables figurent le parc de vélos (dont une partie ne circule jamais ou uniquement à des fins de loisirs) et la population (dont une grande partie ne fait pas de vélo). Par conséquent, la prudence s'impose dans le traitement des taux calculés à l'aide de ces indicateurs moins précis.

Les enquêtes sur la circulation et le suivi du trafic peuvent aussi donner une idée de la fréquence d'utilisation du vélo, en particulier au niveau local ou régional ou à l'échelle d'un équipement unique. Ils permettent aussi une évaluation ex-ante et ex-post plus précise de certaines mesures spécifiques relatives à la sécurité du vélo. La production de rapports peut aussi être utile. La ville de Copenhague, par exemple, produit un rapport biennuel sur le vélo qui évalue la mise en œuvre des politiques de la ville en matière de vélo et souligne les domaines dans lesquels de nouveaux progrès sont possibles. Les statistiques comparées sur le vélo sont aussi utiles pour comparer les performances de différentes zones urbaines : aux États-Unis, l'Alliance for Biking and Walking, une organisation à but non lucratif, réalise une évaluation comparative des performances de 50 États et de 51 grandes villes dans le domaine du vélo et de la marche à pied en se servant de sources de données comparables.

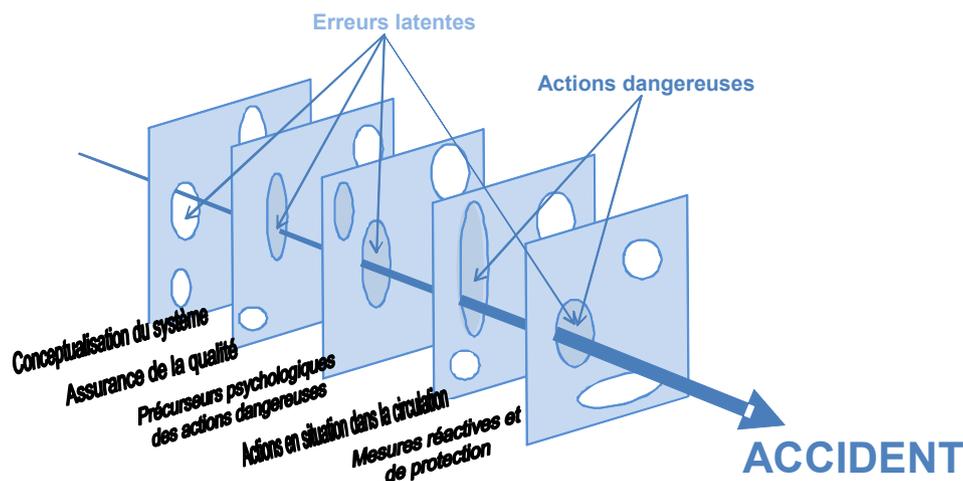
Diverses méthodes sont utilisées dans ce rapport pour analyser les caractéristiques des accidents malgré le manque de données d'exposition ; les conclusions mises en avant doivent donc être interprétées sans perdre de vue les insuffisances de ces méthodes. L'essentiel, cependant, est que les pays qui ne le font pas encore commencent à collecter de meilleures données d'exposition afin de guider les politiques futures et d'en évaluer l'efficacité.

## 1.5. Comment parvenir à une sécurité durable ? Une approche pour un système sûr

L'examen des données présenté plus haut semble indiquer que, d'une manière générale, le développement de la pratique du vélo bénéficie à la santé de chaque cycliste et, en cas de taux élevé d'adoption de ce mode de transport, à l'environnement urbain. Étant donné la vulnérabilité des cyclistes à l'intérieur de la circulation (voir la section 1.1), comment faire en sorte que les pouvoirs publics conçoivent des stratégies de sécurité prenant en compte l'ensemble des usagers de la route ?

Les autorités appréhendent souvent la question de la sécurité à vélo (plus généralement la sécurité de la circulation) de manière parcellaire en portant leur attention sur les cyclistes et rarement sur l'ensemble des usagers de la circulation. Pour atteindre des niveaux élevés de sécurité au profit des cyclistes (et des autres acteurs de la circulation), il est nécessaire de procéder autrement, en cherchant à concevoir (ou repenser) le réseau de façon à y offrir la place nécessaire aux cyclistes et à tenir compte de leurs particularités. Cela est particulièrement vrai s'agissant des politiques qui visent à maintenir ou accroître le nombre de cyclistes. Si le réseau présente un danger pour les cyclistes, l'action menée par les pouvoirs publics doit viser à le modifier et ne pas se limiter à apporter des améliorations à la marge en faveur des cyclistes dans un système intrinsèquement peu sûr. Ne concernant pas seulement les cyclistes, l'approche pour un système sûr est recommandée, de manière générale, pour planifier la sécurité multimodale. Elle consiste à concevoir le réseau routier en tenant compte de l'erreur humaine (OCDE, 2008). L'approche pour un système sûr vise à réduire ou éliminer les risques d'accident en évitant les erreurs latentes et les actions dangereuses à tous les niveaux du système de transport routier (figure 1.8).

Figure 1.8 Représentation schématique d'un accident



Source: A. Djikstra, SWOV

Le cadre pour « une sécurité durable de la circulation routière » développé aux Pays-Bas à partir de 1992 est l'une des premières expressions de l'approche pour un système sûr (Koorstra *et al.*, 1992 ; Wegman et Aarts, 2006). L'idée que chaque catégorie d'utilisateur de la route sait quel comportement on attend de lui et ce qu'il peut attendre des autres usagers de la route est au fondement de cette approche. Cela implique que tous les aspects de l'environnement routier soient explicitement *identifiables* par chacune des catégories d'utilisateurs de la route.

En ce qui concerne les infrastructures, l'idée d'« *identifiabilité* » se fonde sur cinq principes clés nécessaires à un système de sécurité durable de la circulation routière :

- La fonctionnalité.
- L'homogénéité.
- La prévisibilité.
- La tolérance.
- La reconnaissance d'un statut.

Ces principes sont abordés tour à tour ci-dessous.

### ***Fonctionnalité***

L'exigence de fonctionnalité nécessaire à un système de sécurité durable doit servir à guider intrinsèquement chaque usager de la route à choisir un itinéraire sûr, à la fois pour lui-même et pour les autres. Le principe de fonctionnalité du système de circulation est important pour assurer que l'utilisation effective des routes est conforme à l'usage prévu. Les systèmes routiers doivent être classés en groupes fonctionnels différents (par exemple, routes prioritaires, voies de dégagement, voies d'accès résidentielles et voies urbaines mixtes résidentielles/commerciales). Chaque route, rue ou voie doit avoir une fonction principale : par exemple, une voie de dégagement ne doit pas avoir d'accès résidentiel direct, afin que les usagers sachent clairement à quoi s'attendre dans cet environnement (trafic mixte, piétons et cyclistes, comportements aléatoires aux carrefours, par exemple avec des voies urbaines mixtes résidentielles/commerciales). En vertu du principe de fonctionnalité, les routes prioritaires ne doivent pas traverser les aires résidentielles. Il n'est pas non plus souhaitable que les cyclistes puissent emprunter une route non sûre sur une distance trop longue. Une grande aire résidentielle doit être sûre à la fois pour le trafic motorisé intérieur et pour les cyclistes et les piétons. Il faut éviter les croisements trop nombreux avec les routes prioritaires voisines. Un équilibre doit cependant être trouvé : une aire trop étendue se traduira par un trafic intérieur important ; une aire trop réduite imposera des croisements trop nombreux avec les routes prioritaires voisines.

L'intérêt de ce principe pour les cyclistes est que le trafic motorisé est concentré sur un nombre limité de routes principales. Par conséquent, les équipements séparant les cyclistes du trafic motorisé peuvent être concentrés sur ces routes.

### ***Homogénéité***

Les dommages corporels en cas d'accident de la circulation résultent des différences de vitesse et de masse entre antagonistes. Le principe d'homogénéité dans la conception du système routier vise à éviter les différences importantes de vitesse, de direction et de masse en maintenant la vitesse de circulation à un niveau sûr pour tous les acteurs ou, si cela n'est pas possible ou désirable, en séparant différents usagers de la route sur la base de leurs caractéristiques, de leur masse et de leur vitesse relative. En vertu de ce principe, la vitesse de circulation là où les cyclistes sont présents, ou bien là où l'utilisation du vélo est encouragée, devrait être ramenée à un niveau sûr (pour les cyclistes et les piétons) ou des équipements séparés devraient être mis en place pour les vélos et les véhicules à moteur.

Tableau 1.6 Vitesses sûres sur différentes catégories de routes

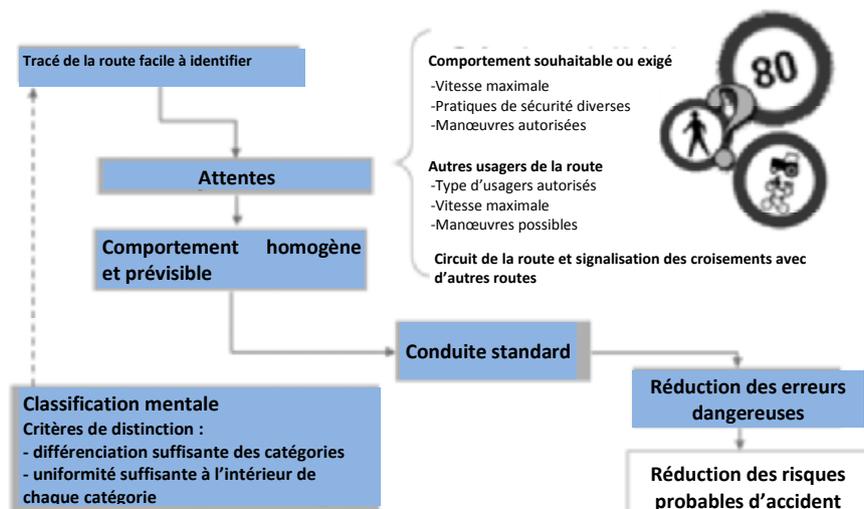
Catégories de routes	Vitesse sûre (km/hr)
Routes avec conflits possibles entre voitures et usagers non protégés (cyclistes)	≤ 30
Routes de croisement avec conflits latéraux possibles entre usagers motorisés	50
Routes avec conflits frontaux possibles entre usagers motorisés	70
Routes sans conflits frontaux ou latéraux possibles entre usagers motorisés	≥ 100

Source: A. Dijkstra, SWOV

### Prévisibilité

L'environnement de la circulation (y compris la route et ses environs) doit être conçu de manière à faciliter l'identification, et donc la prévisibilité, des situations qui peuvent se produire (figure 1.9). Les situations indésirables pourront ainsi être reconnues et évitées à temps. Un environnement routier prévisible réduit en particulier le travail d'identification des usagers de la route, qui est source de distraction, en utilisant au maximum une signalisation uniforme facile à reconnaître, afin que les usagers sachent intuitivement à quoi s'attendre et ce que l'on attend d'eux. Cela est particulièrement important s'agissant de la conception et de la signalisation des infrastructures cyclables car celles-ci ne sont pas aussi fortement harmonisées au niveau international que pour le trafic motorisé. La limitation du nombre de catégories de routes est un facteur déterminant de prévisibilité. Il est souhaitable, en outre, que les différences entre catégories de route soient bien marquées, contrairement aux différences à l'intérieur d'une même catégorie, qui devraient être peu importantes. Dans un environnement routier prévisible, les usagers de la route peuvent se concentrer sur leur tâche principale qui est la conduite et détecter les risques à un stade précoce.

Figure 1.9 Comment la « prévisibilité » contribue à réduire les risques d'accident

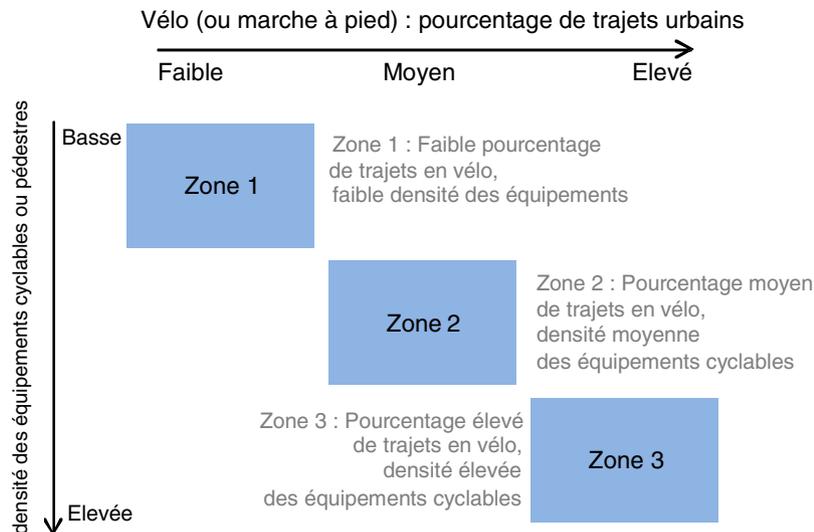


Source: A. Dijkstra, SWOV

## Tolérance

Si un accident ne peut être évité, le quatrième principe, celui de tolérance, vise à éviter qu'un accident n'ait des conséquences graves. Pour les cyclistes, cela veut dire supprimer tout obstacle éventuel dans l'environnement cyclable et veiller à ce que la conception de l'infrastructure routière et cyclable prenne en compte le comportement des automobilistes (vis-à-vis des cyclistes) et le comportement probable des cyclistes eux-mêmes (par exemple, refus de s'arrêter et de perdre de l'élan).

Figure 1.10 Équipements cyclables et part du vélo



Source: (Danish Road Directorate, 1998)

## Reconnaissance d'un statut

Enfin, la recherche d'un système sûr doit prendre en compte l'aptitude des usagers de la route à évaluer leur capacité à la conduite. Cela veut dire que les cyclistes devraient recevoir une formation à l'utilisation d'un vélo, en particulier dans les situations de trafic mixte. Cette formation, qui pourrait être dispensée à un âge précoce (sous forme de cours sur la sécurité à vélo), ne devrait pas non plus être négligée dans le cas des nouveaux cyclistes adultes ou des personnes n'ayant encore jamais utilisé un vélo dans le contexte de la circulation. Ce principe repose fondamentalement sur l'idée qu'il n'existe pas un type unique de cycliste mais des cyclistes âgés ou très jeunes, des cyclistes expérimentés ou non expérimentés, des cyclistes utilisant le vélo pour se rendre à leur travail ou à des fins de loisirs, etc. Pour avoir un impact important, les politiques en matière de sécurité doivent tenir compte de la diversité des cyclistes.

## Des systèmes sûrs adaptés aux conditions locales

La part du vélo dans la répartition modale varie selon les municipalités et les régions. Il en va de même de la disponibilité des infrastructures dédiées aux cyclistes. Le type d'aménagement cyclable proposé devrait dépendre de la place du vélo dans la mobilité : plus le vélo est utilisé, plus il devrait y avoir d'aménagements cyclables (Road Directorate Denmark, 1998). Les solutions généralement associées à un usage très répandu du vélo ne conviennent pas dans une configuration de trafic dans laquelle ce mode est peu présent, tandis que des infrastructures adaptées à un faible trafic cycliste ne

seront pas compatibles avec des flux massifs de vélos (figure 1.10). Tenir compte de ces éléments peut permettre d'éviter d'investir trop ou trop peu dans la sécurité.

### Messages clés

- Bien que de nombreux pays aient mis en place des politiques en faveur du vélo ou soient en train de le faire, les données montrent la vulnérabilité des cyclistes dans la circulation routière. Les politiques qui font croître le nombre de cyclistes entraînent-elles une baisse de la sécurité et une hausse des accidents ?
- La réponse simplifiée à cette question est que plus il y a de cyclistes, plus le nombre des accidents augmente, qu'ils soient mortels ou non, mais cela ne sera pas nécessairement le cas si une attention adéquate est accordée à la conception des politiques.
- Le taux d'accident de vélo peut même diminuer, en particulier si des mesures d'amélioration de la sécurité sont mises en œuvre conjointement.
- Beaucoup d'autorités sont mal outillées pour évaluer l'impact des politiques de promotion du vélo et de la sécurité des cyclistes à cause du biais des données sur les accidents de vélo dû à la sous comptabilisation de ce type d'accidents, et peu d'autorités, en particulier au niveau national, recueillent des données d'exposition adéquates, qui sont indispensables pour déterminer le taux des accidents de vélo au regard de l'utilisation du vélo.
- On observe une corrélation entre amélioration de la sécurité et nombre élevé de cyclistes mais il n'est pas possible de montrer que la « sécurité par le nombre » ou, plus exactement, la « vigilance par le nombre » exprime un lien de causalité ; par conséquent, les politiques en faveur du vélo devraient chercher à accroître la sécurité et pas seulement le nombre de cyclistes.
- La sécurité des cyclistes ne doit pas être dissociée de l'impact global du vélo sur la santé. Chercher à renforcer la sécurité du vélo est justifié puisque de telles politiques réduisent expressément les effets négatifs liés aux accidents pour ceux *qui utilisent* déjà un vélo. Cependant, comprendre la relation entre les impacts de santé positifs et négatifs du vélo est essentiel pour aider à concevoir des mesures en faveur du développement de *l'utilisation du vélo*.
- Des données solides et cohérentes montrent que les gains de santé résultant principalement de l'exercice physique lié au vélo excèdent fortement les effets de santé négatifs dus aux accidents et à l'exposition à la pollution atmosphérique. Les politiques en faveur du vélo ont un impact largement bénéfique sur la société malgré un taux d'accident plus élevé que la voiture ou les transports publics.
- En ce qui concerne les conséquences des accidents, deux approches – qui ne sont pas incompatibles entre elles – se présentent :
  - la première consiste à atténuer la gravité des conséquences des accidents dans un système de circulation par ailleurs dangereux, par exemple en mettant l'accent sur l'équipement de protection des cyclistes et des véhicules ;
  - la seconde est d'améliorer la sécurité de l'environnement routier par la recherche d'un « système sûr » privilégiant le contrôle de la vitesse et la réduction des possibilités que des antagonistes inégaux (par la masse, la vitesse et le comportement sur la route) entrent en contact.

## Notes

- 1 En l'absence d'autres politiques les accompagnant, il n'est pas du tout certain que les politiques de promotion du vélo soient en mesure à elles seules de réduire les encombrements et la pollution, puisque la capacité routière libérée grâce à elles peut être absorbée par le trafic automobile.
- 2 Le rapport de 2004 « Politiques nationales en faveur du vélo » (CEMT, 2004) analyse les motivations des initiatives nationales pour le développement de l'usage du vélo.
- 3 Le vélo apparaît 2.5 fois plus mortel par milliard de kilomètres lorsque les trajets en voiture sur autoroute sont pris en compte et 2 fois plus mortel par milliard de kilomètres lorsqu'ils sont exclus.
- 4 10 % si l'on inclut les taxis.
- 5 On attribue aussi aux politiques en faveur du vélo un impact positif en termes de réduction des encombrements. Pour des raisons identiques à celles présentées plus haut, cet impact est sans doute (fortement) surestimé, au moins en ce qui concerne les encombrements routiers. Toutefois, il est possible que les politiques de promotion du vélo qui réussissent à créer de nouveaux cyclistes aient un effet non négligeable de réduction de l'encombrement des transports publics.
- 6 Les données montrent que les particules fines émises par les moteurs à combustion interne sont plus toxiques que les concentrations de fond de particules fines (Laden et al., 2000), ce qui suggère qu'une réduction des niveaux ambiants de particules fines émises par les véhicules à moteur aurait un effet bénéfique disproportionné sur la santé.
- 7 On peut en déduire que l'installation d'équipements vélo qui réduisent fortement ou éliminent les véhicules polluants de ces rues contribuerait à réduire l'exposition aux polluants, au moins localement.
- 8 Cela est dû à la formation différée de l'ozone. Lorsque les polluants primaires sont transformés en ozone, le panache de polluants a été déplacé par le vent à distance des sources d'émission.
- 9 <http://www.dft.gov.uk/statistics/releases/reported-road-casualties-gb-main-results-2010>
- 10 Les AVCI (années de vie corrigées du facteur d'incapacité) sont définies par l'Organisation mondiale de la santé comme la somme des années de vie perdues (AVP) et des équivalents années perdus en raison de capacités réduites (EACR) dus à la charge de santé. Une AVCI peut être décrite comme « une année en bonne santé perdue ».
- 11 et un tiers du total des victimes d'accidents de la circulation.
- 12 Une limite inférieure plus basse pour le changement de mode de transport (remplacement de la voiture par le vélo) et une limite inférieure plus basse pour les décès dus à la pollution atmosphérique.
- 13 Börjesson et Eliasson (2011) notent que, s'il leur paraît exagéré d'inclure complètement les gains de santé comme avantages supplémentaires dans l'ACA, la forte valeur accordée au temps par les cyclistes dans leur enquête et le faible coût relatif des infrastructures cyclables aboutissent néanmoins à des RAC positifs pour les investissements d'équipements cyclables.
- 14 Ce résultat, cependant, ne doit pas être interprété comme une façon de minimiser l'importance de la réduction du taux d'accident.

## Références

- Aertsens, Joris, et al. "Commuting by bike in Belgium, the costs of minor accidents." *Accident Analysis and Prevention* 42 (2010).
- Ajuntament di Barcelona. "Estudi d'habits de mobilitat dels usuaris del Bicing, Aad Marketing." An analysis of public bicycle sharing schemes implementation processes (Authors: Beroud, B. and Anaya, E.) in *Cycling and Sustainability* (2012). Edited by John Parkin. London: Emerald Group Publishing, 2007.
- Bachand-Marleau, Julie, Jacob Larsen, and Ahmed M. El-Geneidy. "The much anticipated marriage of cycling and transit: But how will it work?" *Transportation Research Record* 2247 (2011).
- Beck, Laurie, F., Ann, M. Dellinger, and Mary, E. O'Neil. "Motor Vehicle Crash Injury Rates by Mode of Travel, United States: Using Exposure-Based Methods to Quantify Differences." *American Journal of Epidemiology* (e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health) 166, no. 2 (2007).
- Bendl, Jiri. "Cycling and Health Related Analyses." Seoul, 7 April 2011.
- Beroud, Benoît. "Four years down the path, what is the mobility impact of Vélo'v?" *Mobility, The European Public Transport Magazine* 16 (January 2010).
- Bhatia, R., and M. Wier. "'Safety in "numbers" re-examined: Can we make valid or practical inferences from available evidence?" *Accident Analysis and Prevention* 43, no. 1 (2012): 235-240.
- Börjesson, Maria, and Jonas Eliasson. "The value of time and external benefits in bicycle appraisal." *Transportation Research Part A* 46, no. 9 (2011).
- Brandstaetter, C., and R. Bauer. "Road Accident Health Indicators ." presentation given to European Road Safety Conference on Data and Knowledge-based Policy-making. Athens: KFV, 22-23 November 2012.
- Brauer, M., and C. Cole. "Cycling, air pollution exposure and health: An overview of research findings." Presentation given at VeloCity 2012. Vancouver, 27 June 2012.
- Broughton, J., et al. Estimation of the real number of road casualties in Europe. Brussels: European Commission DG-TREN, 2008.
- Bull, F.C., T.P. Armstrong, T. Dixon, S. Ham, A. Neiman, and M. Pratt. "Physical Inactivity." *Comparative Quantification of Health Risks*. Edited by M. Ezatti, A.D. Lopez, A. Rodgers and C.J.L. Murray. Geneva: World Health Organization, 2004.
- Cavill, N., S. Kahlmeier, H. Rutter, F. Racioppi, and P. Oja. "Economic analyses of transport infrastructure and policies including health effects related to cycling and walking: A systematic review." *Transport Policy* 15, no. 5 (2008): 291-304.
- Chong, S., R. Poulos, J. Oliver, W.L. Watson, and R. Grzebieta. "RElative injury severity among vulnerable non-motorised road users: Comparative analysis of injury arising from bicycle-motor

- vehicle and bicycle-pedestrian collisions.” *Accident Analysis and Prevention* 42, no. 1 (2009): 290-296.
- Cole-Hunter, T., L. Morawska, R. Jayaratne, and C. Solomon. “Inhaled particle counts on bicycle commute routes of low and high proximity to motorised traffic.” *Atmospheric Environment* 61 (2012): 197-203.
- de Geus, B., et al. “A prospective cohort study on minor accidents involving commuter cyclists in Belgium.” *Accident Analysis and Prevention* 45 (2012): 683–693.
- de Geus, Bas, et al. “A prospective cohort study on minor accidents involving commuter cyclists in Belgium.” *Accident Analysis and Prevention* 45 (2012).
- de Hartog, J.J., H. Boogaard, H. Nijland, and G. Hoek. “Do the health benefits of cycling outweigh the risks?” *Environmental Health Perspectives* 118, no. 8 (2010): 1109-1116.
- De Jong, Piet, *The Health Impact of Mandatory Bicycle Helmet Laws*, Risk Analysis, 2012.
- De Mol, J., and P. Lammar. “Helft verkeersslachtoffers komt niet in statistieken. Koppeling ziekenhuis- en politieregistratie noodzakelijk: Half the road victims are not reported in the statistics.” *Verkeersspecialist* (Wolters Kluwer) 130 (2006): 15-18.
- de Nazelle, A., et al. “A travel mode comparison of commuters' exposure to air pollutants in Barcelona.” *Atmospheric Environment* 59 (2012): 151-159.
- de Nazelle, A., et al. “Improving health through policies that promote active travel: A review of evidence to support integrated health impact assessment.” *Environment International* 37, no. 4 (May 2011).
- Dekoster, J., and U. Schollaert. *Cycling: The Way Ahead for Towns and Cities*. Bruxelles: European Commission, 1999.
- Dhondt, S., C. Macharis, N. Terryn, F. Van Malderen, and K. Putman. “Health burden of road traffic accidents, an analysis of clinical data on disability and mortality exposure rates in Flanders and Brussels.” *Accident Analysis and Prevention*, 2012.
- ECMT. “National Policies to Promote Cycling.” Paris: European Conference of Ministers of Transport, OECD Publishing, 2004.
- Eenink, R., Reurings, M., Elvik, R., Cardoso, J., Wichert, S., Stefan, C., 2007. Accident prediction models and road safety impact assessment: recommendations for using these tools. Report R1-SWOV-WP2-D2-F, SWOV, Leidschendam.
- Elvik, R. “The non-linearity of risk and the promotion of environmentally sustainable transport.” *Accident Analysis and Prevention* 41, no. 4 (2009): 849–855.
- Elvik, R., A. Høye, T. Vaa, and M. Sørensen. *The Handbook of Road Safety Measures*. Bingley: Emerald Group Publishing, Ltd., 2009.
- Feng, Z., R.P. Raghuwanshi, Z. Xu, D. Huang, C. Zhang, and T. Jin. “Electric bicycle-related injury: A rising traffic injury burden in China.” *Injury Prevention* 16 (2010): 417-419.
- Gallup. “Future of transport.” *Flash Eurobarometer Report*. European Commission, 2011.
- GDV. *Safety Aspects of High-Speed Pedelecs*. Berlin: Unfallforschung der Versicherer : German Insurance Association, 2011.

- Grabow, Maggie L., Scott N. Spak, Tracey Holloway, Brian Stone Jr., Adam C. Mednick, and Jonathan A. Patz. "Air quality and exercise-related health benefits from reduced car travel in the Midwestern United States." *Environmental Health Perspectives* 120, no. 1 (2012).
- Hamer, M., and Y. Chida. "Active commuting and cardiovascular risk: a meta-analytic review." *Preventative Medicine* 46, no. 1 (January 2008).
- Hamer, M., and Y. Chida. "Physical activity and risk of neurodegenerative disease: a systematic review of prospective evidence." *Physiological Medicine* 39, no. 1 (2009).
- Harriss, D.J., et al. "Lifestyle factors and colorectal cancer risk-2: asystemic review and meta-analysis of associations with leisure-time physical activity." *Colorectal Disease* 11, no. 7 (2009).
- Hendriksen, I., L. Engbers, J. Schrijver, R. van Gijlswijk, J. Weltevreden, and J. Wilting. *Elektrische Fietsen: Marktonderzoek en verkenning toekomstmogelijkheden*. Leiden: TNO, 2008.
- Hoffman, M.R., W.E. Lambert, E.G. Peck, and J.C. Mayberry. "Bicycle commuter injury prevention: It is time to focus on the environment." *Journal of Trauma Injury, Infection and Critical Care* (re-named *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*), 2010.
- Houtenbos, M. *Expecting the unexpected: A study of interactive driving behaviour at intersections*. Leidschendam: SWOV, 2008.
- Hubert, J.P., and P. Toint. "La Mobilité Quotidienne des Belges." Namur: Presses Universitaires, 2002.
- Hudson, M., 1978. *The Bicycle Planning Book*. Open Books, London (UK).
- Int Panis, L., and J.J. de Hartog. "Correspondence: Cycling: Health Benefits." *Environmental Health Perspectives* 119, no. 3 (2011): 114-115.
- Int Panis, L., et al. *Systematic Analysis of Health Risks and Physical Activity Associated with Cycling Policies "SHAPES"*. Brussels: Belgian Science Policy, 2011.
- IRTAD. "Reporting on Serious Road Traffic Casualties: Combining different data sources to improve understanding of non-fatal road traffic crashes." Paris: OECD/International Transport Forum, 2012.
- IRTAD. *Road Safety Annual Report 2011*. Paris: International Road Traffic Safety Data and Analysis Group, OECD/ITF Publishing, 2011.
- Jacobsen, P.L. "Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling." *Injury Prevention* 9, no. 3 (2003): 205-209.
- Jeon, C.Y., R.P. Lokken, F.B. Hu, and R.M. van Dam. "Physical activity of moderate intensity and risk of type 2 diabetes." *Diabetes Care* 30, no. 3 (2007).
- Juhra, C., et al. "Bicycle accidents – Do we only see the tip of the iceberg? A prospective multi-centre study in a large German city combining medical and police data." *Injury*, 2011.
- Karner, A. A., D.S. Eisinger, and D.A. Niemeir. "Near roadway air quality: Synthesizing the findings from real world data." *Environmental Science and Technology* 44 (2010): 5334-5344.
- Kendrick, C.M., et al. "Impact of bicycle lane characteristics on exposure of bicyclists to traffic-related particulate matter." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2247 (2011): 24-26.
- Koornstra, M.J., Mathijssen, M.P.M., Mulder, J.A.G., Roszbach, R., Wegman, F.C.M., 1992. *Naar een duurzaam veilig wegverkeer [towards sustainably safe road traffic]*, SWOV, Leidschendam.

- Knibbs, L.D., T. Cole-Hunter, and L. Morowska. “A review of commuter exposure to ultrafine particles and its health effects.” *Atmospheric Environment* 45, no. 16 (2011): 2611-2622.
- Laden, F., L.M. Neas, D.W. Dockery, and J. Schwartz. “Association of fine particulate matter from different sources with daily mortality in six U.S. cities.” *Environmental Health Perspectives* 108 (2000): 941-947.
- Langley, J.D., N. Dow, S. Stephenson, and K. Kypri. “Missing cyclists.” *Injury Prevention* 9, no. 4 (2003): 376-379.
- Lenten, G., and B. Stockmann. *Elektrische fietsen en verkeersveiligheid*. ZWOLLE: Regionaal Orgaan voor de Verkeersveiligheid in Overijssel, 2010.
- Mapes, J. *Pedaling Revolution: How Cyclists are Changing American Cities*. Corvallis, OR: Oregon State University Press, 2009.
- Marshall, J.D., M. Brauer, and M.D. Frank. “Healthy neighbourhoods: Walkability and air pollution.” *Environmental Health Perspectives* 117, no. 11 (2009).
- Martensen, H., and N. Nuyttens. “Rapport thématique Cyclistes: Accidents de la route impliquant des cyclistes.” Edited by M. Van Houtte. Bruxelles: Institut Belge pour la Sécurité Routière, 2009.
- McNabola, A., B.M. Broderick, and L.W. Gill. “Relative exposure to fine particulate matter and VOCs between transport microenvironments in Dublin: Personal exposure and uptake.” *Atmospheric Environment* 42, no. 26 (2008): 6496-6512.
- Monninkhof, E.M., et al. “Physical activity and breast cancer: a systematic review.” *Epidemiology* 18, no. 1.
- OECD/ITF (2008), *Towards Zero: Ambitious Road Safety Targets and the Safe System Approach*, OECD Publishing, Paris. DOI: <http://dx.doi.org/10.1787/9789282101964-en>.
- Paffenbarger, R.S., I.M. Lee, and R. Leung. “Physical activity and personal characteristics associated with depression and suicide in American college men.” *Acta Psychiatrica Scandinavica* 89, no. s377 (1994).
- Rabl, A., and A. de Nazelle. “Benefits of shift from car to active transport.” *Transport Policy* 19, no. 1 (2012): 121-131.
- Räsänen, M., and H. Summala. “Attention and expectation problems in bicycle-car collisions: An in-depth study.” *Accident Analysis and Prevention* 30, no. 5 (1998): 657-666.
- Road Directorate Denmark, 1998. *Best Practice to Promote Cycling and Walking*. Adonis-Project. Road Directorate Denmark, Copenhagen.
- Roetynck, A. *PRESTO Cycling Policy Guide: Electric Bicycles*. PRESTO - Promoting Cycling for Everyone as a Daily Transport Mode, Brussels: European Union, 2010.
- Rojas-Rueda, D., A. de Nazelle, M. Tainio, and M.J. Nieuwenhuijsen. “The health risks and benefits of cycling in urban environments compared with car use: Health impact assessment study.” *BMJ* 343 (2011).
- Rutter, H. *Mortality Benefits of Cycling in London*. London: Transport for London, 2006.
- Schepers, P. “Phoning while cycling: Safety aspects.” Paper presented to the European Conference of Transport Research Institutes, 2007.
- Schepers, P., and K. Klein Wolt. “Single-bicycle crash types and characteristics.” *Cycling Research International*, 2012.

- Schepers, Paul. "Does more cycling also reduce the risk of single bicycle crashes?" *Injury Prevention* 18, no. 4 (2012).
- Schepers, J.P., Voorham, J., 2010. *Oversteekongevallen met fietsers. Het effect van infrastructuurkenmerken op voorrangskruispunten*. Rijkswaterstaat Dienst Verkeer en Scheepvaart, Delft.
- Shaheen, Susan, Hua Zhang, Elliott Martin, and Stacey Guzman. "China's Hangzhou Public Bicycle: Understanding early adoption and behavioural responses to Bikesharing." *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* (Transportation Research Board of the National Academies), no. 2247 (2011).
- Teschke, K., C.C.O. Reynolds, F.J. Ries, B. Gouge, and M. Winters. "Bicycling: Health risk or benefit." *University of British Columbia Medical Journal* 3, no. 2 (2012): 6-11.
- Tin Tin, Sandar, Alistair Woodward, and Shanthi Ameratunga. "Injuries to pedal cyclists on New Zealand Roads, 1988-2007." *BMC Public Health* 10 (2010).
- US DHHS. "Physical activity guidelines advisory committee report." Washington, D.C.: Physical Guidelines Advisory Committee, United States Department of Health and Human Services, 2008.
- Van Hout, Kurt. "De risico's van fietsen: Feiten, cijfers en vaststellingen." RA-2007-108. Diepenbeek: Steunpunt Verkeersveiligheid, January 2007.
- Van Kempen, E.E.E.M., Swart, W., Wendel-Vos, G.C.W., Steinberger, P.E., Knol, A.B., Stipdonk, H.L., Reurings, M.C.B., "Exchanging car trips by cycling in the Netherlands: A first examination of the health benefits", National Institute for Public Health and the Environment (RIVM), Report no. 630053001/2010, Bilthoven, Netherlands, 2010.
- Wee, J.H., J.H. Park, K.N. Park, and S.P. Choi. "A comparative study of bike lane injuries." *Trauma* 72, no. 2 (2012): 448-453.
- Wegman, F., Zhang, F. & Dijkstra, A. (2011). *How to make more cycling good for road safety?* In: *Accident Analysis and Prevention* 44 (2012), pp.19 - 29.
- Wegman, F., and L. Aarts. "Advancing Sustainable Safety." Leidschendam: SWOV Institute for Road Safety Research, 2006.
- Weichenthal, S., R. Kulka, A. Dubeau, C. Martin, D. Wang, and R. Dales. "Traffic-related air pollution and acute changes in heart rate variability and respiratory function in urban cyclists." *Environmental Health Perspectives* 119, no. 10 (2011): 1373-1378.
- WHO. "Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe." Copenhagen: WHO Regional Office and Joint Research Centre (JRC) EC, 2011.
- Woodcock, J., et al. "Public health benefits of strategies to reduce greenhouse gas emissions: urban land transport." *The Lancet* 374, no. 9705 (December 2009).
- Wundersitz, L.N., and T.P. Hutchinson. "Identifying and improving exposure measures." Adelaide: Centre for Automotive Safety Research, University of Adelaide, December 2008.
- Yang, L., J. Panter, S.J. Griffon, and D. Ogilvie. "Associations between active commuting and physical activity in working adults: Cross-sectional results from the Commuting and Health in Cambridge study." *Preventive Medicine*, 2012.

Yu, Q., et al. “Commuters' exposure to PM1 by common travel modes in Shanghai.” *Atmospheric Environment* 59 (2012): 39-46.

Zurbier, M., et al. “Commuters' exposure to particulate matter pollution is affected by mode of transport, fuel type and route.” *Environmental Health Perspectives* 118, no. 6 (2010): 783.