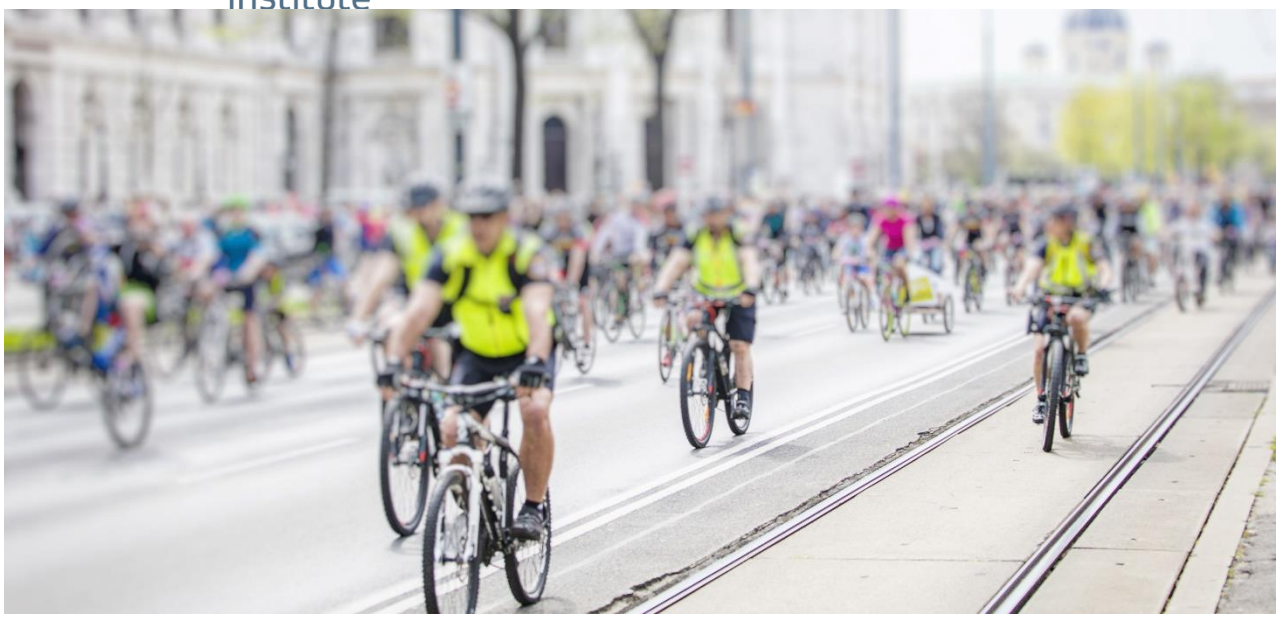
VAS institute



Rapport n° 2026-R-15-FR

Safety in numbers

Impact de l'augmentation de l'usage du vélo sur le risque d'accident des cyclistes

SERVICE PUBLIC FÉDÉRAL
MOBILITÉ ET TRANSPORTS

Numéro de rapport	2026 - R - 15 - FR
Dépôt légal	D/2026/0779/44
Client	Service Public Fédéral Mobilité et Transports
Date de publication	10/09/2026
Auteur(s)	Nina Nuyttens, Evi Dons et Peter Silverans
Relecteur(s)	Bas de Geus (Université catholique de Louvain)
Éditeur responsable	Karin Genoe

Les vues ou opinions exprimées dans ce rapport ne sont pas nécessairement celles du client.

La reproduction des informations de ce rapport est autorisée à condition que la source soit explicitement mentionnée : Nuyttens, N., Dons, E., & Silverans, P. (2026). Safety in numbers – Impact de l'augmentation de l'usage du vélo sur le risque d'accident des cyclistes, Bruxelles: Vias institute

Dit rapport is eveneens beschikbaar in het Nederlands.

This report includes a summary in English.

Table des matières

Liste des tableaux et figures 4
Résumé 5
Summary 7
1 Introduction 9
2 Revue de la littérature 10
2.1 Définition et délimitation 10
2.2 Ampleur 11
2.2.1 International 11
2.2.2 Belgique 12
2.3 Explications potentielles 13
3 Méthodologie et données 15
3.1 Description des données 15
3.1.1 Accidents 15
3.1.2 Données de mobilité 16
3.1.3 Couplage des données d'accidents et des données de mobilité 19
3.2 Modélisation 20
4 Résultats 22
4.1 Analyse au niveau provincial 22
4.1.1 Analyse descriptive 22
4.1.2 Analyse multivariée 25
4.2 Analyse au niveau des tronçons 29
4.2.1 Analyse descriptive 29
4.2.2 Analyse multivariée 32
5 Discussion 37
5.1 Résumé des principaux résultats 37
5.2 Comparaison avec la littérature : ampleur de l'effet et variables explicatives 38
5.3 Limites de l'étude 40
5.4 Pistes de recherche futures 42
6 Recommandations 43
Références 45

Liste des tableaux et figures

Tableau 1 Caractéristiques des données couplées relatives aux accidents et à la mobilité au niveau provincial 19
Tableau 2 Caractéristiques des données couplées relatives aux accidents et à la mobilité au niveau des tronçons 19
Tableau 3 Résultats des trois modèles safety-in-numbers (régression de puissance), niveau provincial. 28
Tableau 4 Caractéristiques des dispositifs Telraam. 29
Tableau 5 Description des accidents impliquant un cycliste sur les tronçons Telraam. 30
Tableau 6 Résultats des modèles safety-in-numbers (régression binomiale négative), niveau des tronçons. 36

Figure 1 Ampleur de l'effet SiN (axe des abscisses), telle que rapportée dans les études reprises dans la méta-analyse d'Elvik et Goel (2019). 12
Figure 2 Capteur Telraam S2 et détection des usagers de la route (Source : https://telraam.net/). 18
Figure 3 Illustration du couplage des accidents à un tronçon Telraam. Les étoiles rouges représentent les accidents impliquant un cycliste ; la ligne verte délimite le tronçon Telraam et la zone rouge correspond à la zone tampon de 20 mètres autour du tronçon. Tous les accidents situés dans cette zone tampon sont associés au tronçon Telraam. 20
Figure 4 Chiffres clés relatifs aux kilomètres parcourus à vélo et aux accidents impliquant un cycliste. 22
Figure 5 Opposant aux cyclistes majeurs impliqués dans un accident de vélo (2024). 23
Figure 6 Part des kilomètres parcourus à vélo par province dans le total des kilomètres parcourus à vélo en Belgique, comparée à la part des accidents impliquant un vélo et une voiture. 24
Figure 7 Matrice de corrélation de l'analyse au niveau provincial. 24
Figure 8 Résultats d'un modèle safety-in-numbers évaluant l'impact du volume de cyclistes. 26
Figure 9 Les 3.684 tronçons Telraam inclus dans l'analyse. 30
Figure 10 Illustration des tronçons Telraam dans la ville d'Alost. À gauche : nombre d'accidents corporels impliquant un cycliste et un véhicule motorisé par tronçon ; à droite : comptages de cyclistes réalisés par Telraam sur chaque tronçon. 31
Figure 11 Matrice de corrélation de l'analyse au niveau des tronçons. Avg_motorised = intensité du trafic motorisé ; Avg_bike = intensité du trafic cycliste ; Length_m = longueur du tronçon ; PopDens = densité de population. La transformation logarithmique de chaque variable est également représentée. 31
Figure 12 Résultats du modèle de base de safety-in-numbers (ligne bleue). Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne. La ligne rouge en pointillés montre la relation qui serait observée si le nombre d'accidents augmentait proportionnellement au volume de cyclistes (ancrée au volume moyen de cyclistes). 32
Figure 13 Résultats du modèle de base de safety-in-numbers, portant uniquement sur les accidents graves. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne. KSI = Killed and Seriously Injured. 33
Figure 14 Résultats d'un modèle safety-in-numbers examinant l'incidence des infrastructures cyclables. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne. 34
Figure 15 Résultats d'un modèle safety-in-numbers examinant l'incidence de la densité de population. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne. 35
Figure 16 Résultats d'un modèle safety-in-numbers examinant simultanément l'incidence des infrastructures cyclables et de la densité de population. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne. 36

Résumé

L'effet safety-in-numbers (SiN) désigne le phénomène selon lequel, dans les lieux ou durant les périodes où le nombre de cyclistes est élevé, le risque d'être impliqué dans un accident de la circulation est plus faible que dans les lieux ou durant les périodes où le nombre de cyclistes est limité (Jacobsen, 2003). Autrement dit, le nombre d'accidents augmente avec le nombre de cyclistes, mais pas de manière proportionnelle, ce qui entraîne une diminution du risque par kilomètre parcouru à vélo (Elvik & Goel, 2019).

Dans la littérature scientifique, l'effet SiN est en principe observé pour différents modes de transport, notamment chez les piétons et pour les voitures particulières. La présente étude se concentre toutefois sur le sous-type de l'effet SiN le plus documenté et le plus étudié, à savoir les accidents impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés.

Le choix de se concentrer sur les accidents impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés – dans la présente étude comme dans la plupart des autres travaux consacrés à l'effet SiN – s'explique notamment par le fait que l'adaptation comportementale des automobilistes et leur familiarisation avec la présence des cyclistes sont souvent avancées comme explication de l'effet SiN. Selon cette hypothèse, les automobilistes tiennent davantage compte de la présence potentielle de cyclistes dans les lieux et durant les périodes où ceux-ci sont plus nombreux et deviennent plus aptes à interagir avec eux en toute sécurité (Elvik & Goel, 2019 ; Jacobsen, 2003), notamment parce qu'il est plus probable que ces automobilistes soient parfois eux-mêmes amenés à circuler à vélo à ces endroits.

Outre l'adaptation comportementale, la littérature scientifique avance plusieurs autres explications possibles de l'effet SiN. Une deuxième hypothèse est que la relation entre le nombre de cyclistes et la sécurité s'exerce plutôt dans le sens inverse : l'hypothèse du « numbers-in-safety ». Celle-ci postule que c'est avant tout la qualité des infrastructures qui constitue le véritable moteur, en améliorant la sécurité tout en attirant davantage de cyclistes (Elvik & Goel, 2019 ; Heydari & Elvik, 2023). Une troisième hypothèse est celle de la congestion du trafic : un volume élevé d'usagers vulnérables de la route peut entraîner une diminution de la vitesse du trafic motorisé, laissant ainsi davantage de temps aux automobilistes pour réagir aux conflits potentiels et réduisant le nombre ainsi que la gravité des collisions éventuelles (Kröyer, 2015).

L'hypothèse du « safety-in-density » suggère par ailleurs que les cyclistes circulant en groupe sont plus visibles pour les automobilistes et que le risque individuel est dilué au sein d'un groupe (Johnson, 2021). Une cinquième hypothèse est qu'une modification de la composition de la population cycliste, à mesure que le volume de cyclistes augmente, pourrait expliquer une diminution du risque ; par exemple, les « premiers cyclistes » ou « early adopters » seraient les cyclistes les plus enclins à prendre des risques (Castro, 2018). Enfin, une dernière hypothèse est que les lieux ou les périodes caractérisés par un volume élevé de cyclistes présentent simultanément un faible volume de trafic motorisé, ce qui réduit logiquement le nombre de conflits potentiels entre cyclistes et véhicules motorisés.

Bien que l'effet SiN ait déjà fait l'objet de nombreuses études au niveau international (Elvik & Bjørnskau, 2017 ; Elvik & Goel, 2019), les données probantes restent limitées pour la Belgique. L'objectif de cette étude était donc de vérifier l'existence et l'ampleur de l'effet safety-in-numbers en Belgique en ce qui concerne les accidents entre cyclistes et véhicules motorisés. L'hypothèse retenue est que l'effet SiN observé dans d'autres pays est également présent en Belgique. L'analyse est réalisée à deux niveaux : d'une part au niveau des provinces (« niveau macro »), et d'autre part au niveau des tronçons de voirie (« niveau micro »).

L'analyse repose sur plusieurs sources de données. Au niveau macro, les données relatives aux accidents (issues des enregistrements de la police) sont couplées aux données de mobilité provenant de l'Enquête fédérale sur la mobilité en Belgique. Au niveau micro, les données d'accidents sont combinées aux données Telraam, issues de caméras enregistrant en temps réel les flux de circulation au niveau des tronçons de voirie. Ni l'Enquête fédérale ni les données Telraam n'avaient encore été utilisées auparavant pour analyser le risque d'accident et l'effet safety-in-numbers.

Les deux jeux de données ont fait l'objet à la fois d'une analyse descriptive et d'une analyse multivariée. La nature des deux jeux de données nécessitait toutefois deux approches distinctes pour l'analyse multivariée. Toutes les analyses sont de nature transversale. Cela signifie que les différences entre les lieux (en l'occurrence, les provinces et les tronçons de voirie) sont étudiées au cours d'une même période, plutôt que de suivre l'évolution d'un lieu spécifique au fil du temps, comme c'est le cas dans une étude longitudinale.

Tant l'analyse au niveau provincial que celle réalisée au niveau des tronçons de voirie mettent en évidence la présence d'un effet safety-in-numbers statistiquement significatif en Belgique. Selon l'analyse provinciale, un doublement du volume de cyclistes s'accompagne d'une augmentation du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé d'environ deux tiers dans le modèle le plus simple, et d'environ la moitié dans un modèle plus élaboré (le « modèle final »), qui contrôle le volume de trafic automobile et la densité de population. Le nombre d'accidents impliquant des cyclistes augmente donc moins rapidement que le volume de cyclistes, ce qui constitue un indice de l'existence d'un effet safety-in-numbers. Au niveau des tronçons de voirie, l'augmentation est de 74%, mais cet effet varie fortement selon le contexte. Ainsi, l'effet SiN est nettement plus marqué sur les sites disposant d'infrastructures cyclables et dans les zones densément peuplées. Dans ces contextes, un doublement du volume de cyclistes ne s'accompagne que d'environ 15% d'accidents supplémentaires impliquant un cycliste et un véhicule motorisé.

La variabilité observée de l'effet SiN est conforme à la littérature internationale. Une méta-analyse d'Elvik et Goel (2019) fait état d'une augmentation moyenne d'environ 32% du nombre d'accidents lorsqu'on observe un doublement du volume de cyclistes, tout en mettant en évidence une forte hétérogénéité entre les études en fonction du contexte géographique et des caractéristiques des sites analysés.

Les résultats de cette étude doivent être interprétés avec plusieurs réserves importantes. Premièrement, il s'agit d'une analyse transversale ; les résultats ne peuvent donc pas être interprétés dans une perspective longitudinale. En d'autres termes, l'étude montre que, dans les lieux où les cyclistes sont nombreux, le risque de collision avec un véhicule motorisé par kilomètre parcouru à vélo est plus faible que dans les lieux où ils sont peu nombreux. En revanche, elle ne démontre pas qu'une augmentation du volume de cyclistes sur un même site – toutes choses restant égales par ailleurs – entraîne une diminution du nombre de collisions.

Deuxièmement, l'effet safety-in-numbers constitue avant tout un constat statistique d'une relation moins que proportionnelle entre le volume de cyclistes et le risque d'accident. Le sens de cette relation reste incertain : un volume plus élevé de cyclistes peut être associé à une plus grande sécurité, mais la relation peut également s'exercer dans le sens inverse : un environnement plus sûr peut attirer davantage de cyclistes, les deux phénomènes pouvant également être influencés simultanément par des facteurs externes. Là encore, la mise en évidence d'un effet SiN ne signifie pas qu'une augmentation du nombre de cyclistes conduira automatiquement à une amélioration de la sécurité.

Cela signifie également que l'existence d'un effet SiN ne peut en aucun cas être interprétée comme une raison de renoncer à des mesures de sécurité. Au contraire, le renforcement de la sécurité routière demeure indispensable, tant par la mise en place d'infrastructures sûres que par des mesures visant à influencer positivement le comportement des usagers de la route.

Summary

The "safety-in-numbers" (SiN) effect refers to the phenomenon whereby, in locations or during periods when the number of cyclists is high, "the less likely any of them are to be injured by motorists" (Jacobsen, 2003). In other words, "safety-in-numbers denotes the tendency for the number of accidents to increase less than in proportion to traffic volume" (Elvik & Goel, 2019).

In the scientific literature, the SiN effect is generally observed across various modes of transportation, particularly among pedestrians and for passenger cars. However, this study focuses on the most well-documented and extensively studied subtype of the SiN effect: accidents involving cyclists and motor vehicles.

The decision to focus on accidents involving cyclists and motor vehicles — in this study as in most other research on the SiN effect — is explained in part by the fact that drivers' behavioral adaptation and their growing familiarity with the presence of cyclists are often cited as explanations for the SiN effect. According to this hypothesis, motorists are more mindful of the potential presence of cyclists in locations and during times when cyclists are more numerous and become better able to interact with them safely (Elvik & Goel, 2019; Jacobsen, 2003), particularly because these motorists are more likely to ride bicycles themselves in those locations at times.

In addition to behavioral adaptation, the scientific literature proposes several other possible explanations for the SiN effect. A second hypothesis is that the relationship between the number of cyclists and safety actually works in the opposite direction: the "numbers-in-safety" hypothesis. This hypothesis posits that it is primarily the quality of infrastructure that serves as the true driver, improving safety while attracting more cyclists (Elvik & Goel, 2019; Heydari & Elvik, 2023). A third hypothesis concerns traffic congestion: a high volume of vulnerable road users can lead to a reduction in the speed of motorized traffic, thereby giving motorists more time to react to potential conflicts and reducing both the number and severity of potential collisions (Kröyer, 2015).

The "safety-in-density" hypothesis also suggests that cyclists riding in groups are more visible to motorists and that individual risk is diluted within a group (Johnson, 2021). A fifth hypothesis is that a change in the composition of the cycling population, as the number of cyclists increases, could explain a decrease in risk; for example, "early adopters" are thought to be the cyclists most likely to take risks (Castro, 2018). Finally, another hypothesis is that locations or times characterized by high cyclist volume also have low motorized traffic volume, which logically reduces the number of potential conflicts between cyclists and motor vehicles.

Although the "safety-in-numbers" (SiN) effect has already been the subject of numerous international studies (Elvik & Bjørnskau, 2017; Elvik & Goel, 2019), the evidence remains limited for Belgium. The objective of this study was therefore to verify the existence and extent of the safety-in-numbers effect in Belgium with regard to accidents involving cyclists and motor vehicles. The hypothesis is that the SiN effect observed in other countries is also present in Belgium. The analysis is conducted at two levels: first, at the provincial level ("macro level"), and second, at the road segment level ("micro level").

The analysis draws on several data sources. At the macro level, accident data (from police records) are combined with mobility data from the Federal Mobility Survey in Belgium. At the micro level, accident data is combined with Telraam data, which comes from cameras that record real-time traffic flows on specific road segments. Neither the Federal Survey nor the Telraam data had previously been used to analyze accident risk and the "safety-in-numbers" effect.

Both datasets were subjected to both descriptive and multivariate analyses. All analyses are cross-sectional in nature. This means that differences between locations (in this case, provinces and road segments) are examined over a single period, rather than tracking changes in a specific location over time, as is the case in a longitudinal study.

Both the analysis at the provincial level and the one conducted at the road segment level highlight the presence of a statistically significant "safety-in-numbers" effect in Belgium. According to the provincial analysis, a doubling of the number of cyclists is accompanied by an increase in the number of accidents involving a cyclist and a motor vehicle of about two-thirds in the simplest model, and about half in a more sophisticated model (the "final model"), which controls for motor vehicle traffic volume and population density. The number of accidents involving cyclists therefore increases less rapidly than the number of cyclists, which is an indication of the existence of a safety-in-numbers effect. At the road segment level, the increase is 74%, but this effect varies greatly depending on the context. Thus, the SiN effect is significantly more pronounced at locations

with cycling infrastructure and in densely populated areas. In these contexts, a doubling of the number of cyclists results in only about a 15% increase in accidents involving a cyclist and a motor vehicle.

The observed variability in the SiN effect is consistent with the international literature. A meta-analysis by Elvik and Goel (2019) reports an average increase of approximately 32% in the number of accidents when the volume of cyclists doubles, while highlighting significant heterogeneity among studies depending on the geographic context and the characteristics of the sites analyzed.

The results of this study must be interpreted with several important caveats. First, this is a cross-sectional analysis; therefore, the results cannot be interpreted from a longitudinal perspective. In other words, the study shows that, in areas with a high number of cyclists, the risk of a collision with a motor vehicle per kilometer cycled is lower than in areas with few cyclists. However, it does not demonstrate that an increase in the number of cyclists at a given location — all other things being equal — leads to a decrease in the number of collisions.

Second, the "safety-in-numbers" effect is primarily a statistical observation of a less-than-proportional relationship between the number of cyclists and the risk of accidents. The direction of this relationship remains uncertain: a higher number of cyclists may be associated with greater safety, but the relationship may also work in the opposite direction — a safer environment may attract more cyclists — and both phenomena may also be influenced simultaneously by external factors. Again, the identification of a SiN effect does not mean that an increase in the number of cyclists will automatically lead to improved safety.

It also means that the existence of a SiN effect should under no circumstances be interpreted as a reason to abandon safety measures. On the contrary, improving road safety remains essential, both through the implementation of safe infrastructure and through measures aimed at positively influencing the behavior of road users.

1 Introduction

L'effet safety-in-numbers (SiN) désigne le phénomène selon lequel, dans les lieux ou durant les périodes où le nombre de cyclistes est plus élevé, le risque d'être impliqué dans un accident de la circulation est plus faible que dans d'autres lieux ou durant d'autres périodes (Jacobsen, 2003). Autrement dit, le nombre d'accidents augmente avec le nombre de cyclistes, mais pas de manière proportionnelle, ce qui entraîne une diminution du risque par kilomètre parcouru (Elvik & Goel, 2019).

Du point de vue des politiques publiques, l'effet SiN constitue un phénomène particulièrement intéressant. Comme les autres modes de transport, la pratique du vélo comporte inévitablement un certain risque d'accident, mais elle est également largement encouragée en raison de ses bénéfices en matière de qualité de vie, de santé et d'environnement (Bouwen et al., 2022). Dans cette perspective, le concept de safety-in-numbers est particulièrement pertinent puisqu'il postule que le risque individuel d'accident diminue à mesure que le nombre de cyclistes augmente, alors que les avantages liés à l'usage du vélo demeurent inchangés.

Bien que l'effet SiN ait déjà fait l'objet de nombreuses études au niveau international (Elvik & Bjørnskau, 2017 ; Elvik & Goel, 2019), les données probantes restent limitées pour la Belgique. La présente étude examine dès lors dans quelle mesure cet effet est également observable dans notre pays, tant au niveau macro (provinces) qu'au niveau micro (tronçons de voirie). L'accent est mis sur les accidents impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés, qui constituent le contexte le plus étudié dans la littérature existante.

Les données de mobilité utilisées dans cette étude proviennent, d'une part, des données Telraam (au niveau des tronçons de voirie) et, d'autre part, de l'Enquête fédérale sur les comportements de mobilité. Les données Telraam sont des données de trafic collectées au moyen de capteurs intelligents. Elles permettent de connaître le nombre de piétons, de cyclistes, de voitures et de camions qui empruntent un tronçon de voirie donné. L'Enquête fédérale est une enquête portant sur les comportements de mobilité de plus de 10.000 adultes résidant en Belgique.

L'objectif de cette étude est d'examiner l'existence et l'ampleur de l'effet safety-in-numbers en Belgique.

2 Revue de la littérature

2.1 Définition et délimitation

L'effet safety-in-numbers (SiN) désigne le phénomène selon lequel, dans les lieux ou durant les périodes où le nombre de piétons ou de cyclistes est plus élevé, le risque, pour ces usagers, d'être impliqués dans un accident de la circulation est plus faible que dans d'autres lieux ou durant d'autres périodes (Jacobsen, 2003). L'effet SiN implique que lorsque le nombre de piétons ou de cyclistes augmente, le nombre d'accidents impliquant des piétons ou des cyclistes augmente de manière moins que proportionnelle. Autrement dit, plus le nombre de piétons ou de cyclistes est élevé, plus le risque d'accident par kilomètre parcouru diminue (Elvik & Goel, 2019).

L'effet SiN décrit ainsi un phénomène agrégé à l'échelle de la population. Il ne s'agit pas d'une courbe d'apprentissage individuelle, selon laquelle le risque d'accident d'un cycliste diminuerait au fur et à mesure qu'il acquiert de l'expérience ou développe de meilleures compétences (Oppe, 1991), mais bien d'une diminution du risque au niveau collectif à mesure que le nombre de cyclistes augmente. Cette diminution du risque collectif se traduit néanmoins par une réduction du risque d'accident pour chaque cycliste pris individuellement.

L'expression « safety-in-numbers » a été utilisée pour la première fois comme titre d'une publication de Jacobsen (2003) : *Safety in numbers: more walkers and bicyclists, safer walking and bicycling*, publiée dans la revue *Injury Prevention*. Dans cet article, Jacobsen a comparé le nombre de personnes se déplaçant à pied ou à vélo dans différentes populations ou différents lieux (tant aux États-Unis qu'en Europe) au nombre d'accidents impliquant des véhicules motorisés, des piétons et des cyclistes. Il a ainsi constaté que le risque d'être impliqué dans un accident avec un véhicule motorisé est inversement proportionnel au nombre de cyclistes et de piétons ; en d'autres termes, il a mis en évidence un effet safety-in-numbers.

Le phénomène de safety-in-numbers peut être étudié aussi bien au moyen d'une approche transversale que d'une approche longitudinale. L'étude de Jacobsen (2003) précitée constitue un exemple d'étude transversale, dans laquelle différents lieux (par exemple des tronçons de voirie ou des pays) sont comparés à un moment donné. Les études transversales montrent que le risque d'accident est plus faible dans les lieux où le volume de cyclistes est élevé que dans ceux où il est faible (Elvik & Bjørnskau, 2017 ; Elvik & Goel, 2019). Toutefois, même si un grand nombre d'études transversales mettent en évidence cette relation, elles ne permettent pas de conclure qu'une augmentation du nombre de cyclistes dans un lieu donné rend effectivement ce lieu plus sûr. Pour cela, une approche longitudinale (ou analyse de séries temporelles) est nécessaire : celle-ci examine si les lieux où la pratique du vélo augmente au fil des années connaissent également une diminution du risque d'accident. Une étude réalisée au Royaume-Uni, fondée sur une longue série chronologique nationale (Aldred et al., 2017), met en évidence un effet safety-in-numbers longitudinal, le risque d'accident diminuant à mesure que le nombre de cyclistes augmente (Aldred et al., 2017).

Dans la littérature, l'effet SiN est le plus souvent associé aux cyclistes. Toutefois, ce phénomène a également été documenté pour les piétons et même pour les véhicules motorisés. L'origine du concept remonte à la « loi de Smeed » de 1949, qui porte sur le risque d'accident lié au trafic motorisé. Smeed a mis en évidence une relation inverse entre le nombre de véhicules motorisés pour 1.000 habitants dans un pays (considéré comme une mesure rudimentaire de l'exposition) et le nombre de tués de la route par véhicule (Aldred et al., 2017). Autrement dit, plus le nombre de véhicules motorisés est élevé, plus le nombre de tués de la route par véhicule est faible.

La plupart des études consacrées à l'effet SiN portent sur les accidents impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés. L'une des raisons est que l'adaptation comportementale des automobilistes et leur familiarisation avec la présence des cyclistes sont souvent avancées comme explication potentielle de l'effet SiN. Selon cette hypothèse, les automobilistes, dans les lieux et durant les périodes où les cyclistes sont plus nombreux, anticipent davantage leur présence potentielle et adaptent leur comportement de conduite en conséquence.

Les méta-analyses d'Elvik et Bjørnskau (2017) ainsi que d'Elvik et Goel (2019) n'ont pas inclus d'études portant sur les accidents unilatéraux. Outre le fait que, dans ce type d'accidents, le comportement des automobilistes ne joue généralement aucun rôle, cette exclusion s'explique également par le faible nombre de sources de données offrant des informations complètes et de qualité sur les accidents unilatéraux. Cela ne signifie toutefois pas qu'il soit impossible d'étudier un effet SiN pour les accidents unilatéraux impliquant un cycliste

— ou, plus largement, pour les collisions entre cyclistes. Elvik et Bjørnskau (2017) renvoient par exemple aux études de Schepers (2012) et de Schepers & Heinen (2013), qui montrent qu'un effet SiN peut également être mis en évidence pour ces accidents. Cet effet apparaît toutefois moins marqué que pour les accidents impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés.

2.2 Ampleur

2.2.1 International

L'ampleur de l'effet safety-in-numbers est largement documentée. Le document de référence en matière de recherche sur le safety-in-numbers est la méta-analyse précitée d'Elvik et Bjørnskau (2017), ainsi que sa mise à jour réalisée par Elvik et Goel (2019). Ces méta-analyses n'ont retenu que des études portant sur le nombre d'accidents impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés (voir paragraphe 2.1). La méta-analyse d'Elvik et Bjørnskau (2017) comprend 15 études, tandis que celle d'Elvik et Goel (2019) en recense 45.

Dans les études consacrées à l'effet safety-in-numbers, le nombre d'accidents impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés est modélisé notamment en fonction du volume de cyclistes. Ces modèles estiment un coefficient de régression associé au volume de cyclistes. Ce coefficient représente l'élasticité du nombre d'accidents par rapport au nombre de cyclistes et indique donc dans quelle mesure le nombre d'accidents varie en fonction d'une variation du volume de cyclistes. Un coefficient inférieur à 1 signifie que le nombre d'accidents augmente de manière moins que proportionnelle par rapport au nombre de cyclistes. Plus le coefficient de régression est faible, plus l'effet safety-in-numbers est marqué.

Elvik et Bjørnskau (2017) obtiennent un coefficient de régression moyen de 0,43 pour les cyclistes. Dans la méta-analyse plus récente d'Elvik et Goel (2019), ce coefficient moyen est légèrement plus faible, aux alentours de 0,40. Cette valeur correspond au coefficient moyen observé dans la première publication ayant introduit le terme « safety-in-numbers », à savoir celle de Jacobsen en 2003. Un coefficient de 0,40 signifie qu'une augmentation de 1% du nombre de cyclistes s'accompagne d'une augmentation de 0,40% du nombre d'accidents. Une augmentation de 100% du nombre de cyclistes (c'est-à-dire un doublement) s'accompagne d'une augmentation de 32% du nombre d'accidents ($[(1+100/100)^{0,40}-1]\times100$).

Dans leur méta-analyse, Elvik et Goel (2019) mettent en évidence un effet SiN plus marqué au niveau macro (par exemple les villes ou les pays) qu'au niveau micro (par exemple les carrefours). Selon Elvik et Goel (2019), le coefficient moyen est de 0,26 au niveau macro et de 0,45 au niveau micro. Tous les coefficients mentionnés sont issus d'études transversales.

La Figure 1 présente, sur l'axe des abscisses, les coefficients de régression rapportés dans l'ensemble des études incluses dans la méta-analyse d'Elvik et Goel (2019). Il montre qu'une variabilité importante se cache derrière le coefficient de régression moyen de 0,40. Les effets SiN observés varient de pratiquement zéro à un. Cela signifie que, dans certaines études, le nombre d'accidents de cyclistes augmente presque proportionnellement au volume de cyclistes (= effet SiN faible), tandis que dans d'autres, il n'augmente que faiblement malgré une forte croissance du volume de cyclistes (= effet SiN fort). Dans ce dernier cas, il s'agit d'un effet safety-in-numbers marqué.

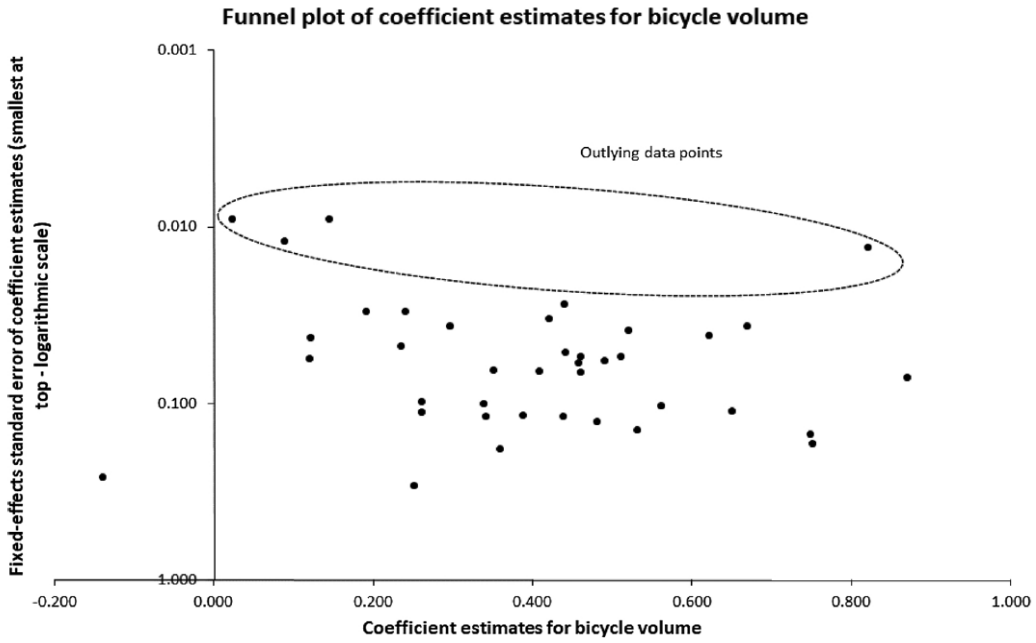


Figure 1 Ampleur de l'effet SiN (axe des abscisses), telle que rapportée dans les études reprises dans la méta-analyse d'Elvik et Goel (2019).

2.2.2 Belgique

Nous présentons ci-dessous plusieurs études belges contenant des analyses de l'effet SiN.

Analyse au niveau national

Dans une étude de Vandenbulcke-Plasschaert (2011), *Spatial analysis of bicycle use and accident risks for cyclists*, une analyse spatiale de la relation entre la part des cyclistes et le risque d'accident des cyclistes a été réalisée. La part des cyclistes a été calculée comme la proportion de la population effectuant ses déplacements domicile-travail à vélo dans l'ensemble des déplacements pendulaires, sur la base du Census belge de 2001. Le recensement de 2001 était le dernier recensement classique de grande ampleur réalisé en Belgique, au cours duquel ont notamment été recueillies des informations socio-économiques, mais également des données relatives aux déplacements domicile-travail. Depuis 2001, ces données concernant la population belge sont collectées différemment, par le couplage de bases de données administratives.

Le risque d'accident a été défini comme le nombre de cyclistes tués ou grièvement blessés au cours de la période 2002-2005, divisé par le temps total consacré aux déplacements domicile-travail à vélo selon le Census 2001. L'analyse ne porte que sur les accidents impliquant des cyclistes âgés de 18 à 65 ans, survenus en semaine, cette sélection étant utilisée comme mesure approximative des accidents survenus lors des déplacements domicile-travail.

L'analyse transversale de Vandenbulcke-Plasschaert (2011) montre que les communes où la part des déplacements domicile-travail effectués à vélo est élevée présentent un risque d'accident nettement plus faible que les communes où la part des navetteurs à vélo est plus faible. En d'autres termes, un effet SiN transversal a été mis en évidence.

Analyses au niveau régional

En 2026, Bruxelles Mobilité a analysé le risque d'accident des cyclistes sur la base des comptages annuels de cyclistes réalisés par ProVélo et du nombre total de cyclistes (gravement) blessés en Région de Bruxelles-Capitale. Sur la période 2010-2022, le nombre de cyclistes blessés semble augmenter moins rapidement que le nombre de cyclistes, ce qui suggère l'existence d'un effet SiN longitudinal. Pour les cyclistes grièvement blessés, l'effet SiN observé est encore plus marqué. Il s'agit toutefois d'un exercice de calcul qui ne tient pas compte d'autres facteurs externes.

Une deuxième étude, plus récente, est une analyse réalisée par Fietsberaad Vlaanderen (Baert & Lauwers, 2025). Depuis 2015, Fietsberaad constate simultanément une augmentation du nombre de kilomètres parcourus à vélo en Flandre, sur la base de l'Onderzoek Verplaatsingsgedrag (OVG), ainsi qu'une diminution

du risque, pour un cycliste, d'être blessé dans un accident de vélo. Le risque de décès à vélo a également diminué au cours de la même période. En d'autres termes, Fietsberaad met en évidence un effet SiN longitudinal. Cette analyse ne contrôle toutefois pas d'autres facteurs susceptibles d'influencer ces risques, tels que des adaptations des politiques publiques (par exemple, une réduction des limitations de vitesse) ou des mesures d'infrastructure (par exemple, les autoroutes cyclables).

2.3 Explications potentielles

La littérature ne permet pas d'attribuer l'effet safety-in-numbers à des facteurs causaux spécifiques. L'effet SiN demeure donc un constat purement corrélationnel. La littérature scientifique avance toutefois plusieurs explications potentielles de cet effet, dont les principales sont présentées ci-dessous.

Adaptation comportementale et familiarisation des automobilistes

L'une des explications les plus fréquemment citées est que les automobilistes adaptent leur comportement à mesure qu'ils sont davantage confrontés à des cyclistes et à des piétons. Lorsque les usagers vulnérables de la route deviennent plus nombreux, les conducteurs s'habituent davantage à leur présence et acquièrent une meilleure aptitude à interagir avec eux en toute sécurité (Elvik & Goel, 2019). Ce processus s'expliquerait en partie par la théorie de la détection du signal (Jacobsen, 2003) : les stimuli rares sont plus facilement ignorés, tandis qu'une plus forte présence de cyclistes accroît la vigilance des automobilistes et réduit leur temps de réaction. En outre, dans les régions où les cyclistes sont nombreux, les automobilistes sont souvent eux-mêmes cyclistes, ce qui les rend plus empathiques et plus sensibles à la vulnérabilité et au comportement des cyclistes sur la route (Jacobsen, 2003).

Infrastructures et hypothèse du « numbers-in-safety »

Selon cette hypothèse, le sens de la relation causale de l'effet SiN pourrait être inversé : ce n'est pas l'augmentation du nombre de cyclistes qui crée la sécurité, mais bien la qualité des infrastructures et des mesures de gestion du trafic, qui améliorent simultanément la sécurité et incitent davantage de personnes à utiliser le vélo (Elvik & Goel, 2019 ; Heydari & Elvik, 2023). Dans cette perspective, ce que nous observons comme un effet safety-in-numbers serait en réalité le reflet de certains choix de politique en matière d'infrastructures, tels que des pistes cyclables séparées ou des carrefours sécurisés. Les lieux rendus intrinsèquement plus sûrs grâce à des investissements dans les infrastructures encouragent davantage de personnes à effectuer leurs déplacements à pied ou à vélo, ce qui entraîne une augmentation simultanée de l'exposition (des volumes de trafic) et de la sécurité.

Répartition modale (modal split) et report modal (modal shift)

Une augmentation du volume de cyclistes peut s'accompagner d'une diminution du trafic motorisé, par exemple à la suite de plans locaux de mobilité ou de circulation. Les recherches menées par Schepers et Heinen (2013) sur un report modal – c'est-à-dire un transfert de la part relative de chaque mode de transport dans le trafic total – des courts déplacements en voiture vers le vélo ont montré que le nombre total de tués sur les routes n'augmentait pas. Cette stabilisation est attribuée à l'effet combiné d'une diminution du nombre de voitures particulières et de l'apparition d'un effet safety-in-numbers. Bien que cette étude ait mis en évidence une augmentation du nombre de blessés graves, celle-ci était entièrement imputable à une hausse des accidents unilatéraux impliquant un cycliste, lesquels ne sont généralement pas pris en compte dans les estimations traditionnelles de l'effet SiN. Alors que le report modal décrit un processus évoluant dans le temps (approche longitudinale), cette logique peut être transposée au concept de répartition modale à l'échelle géographique (approche transversale), où les lieux caractérisés par une forte proportion de cyclistes présentent souvent une faible proportion de trafic motorisé, réduisant ainsi le risque de collision avec des véhicules motorisés.

Congestion du trafic et réduction des vitesses

Un volume élevé de cyclistes et de véhicules motorisés peut engendrer une forme mécanique de sécurité par la réduction des vitesses. Lorsque de nombreux cyclistes partagent la chaussée avec les voitures, ils obligent souvent le trafic motorisé à circuler plus lentement, ce qui peut réduire le nombre et la gravité des accidents. Dans les zones urbaines très fréquentées, la congestion laisse davantage de temps aux automobilistes pour réagir aux conflits potentiels et leur offre une plus grande marge d'erreur, ce qui peut diminuer le risque pour chaque cycliste. Dans les cas extrêmes, une très forte proportion de cyclistes peut même empêcher physiquement les voitures de circuler plus vite que le flux de cyclistes (Kröyer, 2015 ; Prato et al., 2014).

Circulation en groupe et « safety-in-density »

Le concept de « safety-in-density » suggère que les cyclistes sont plus en sécurité lorsqu'ils circulent en groupes ou en pelotons, à l'image de l'effet protecteur observé dans un troupeau d'animaux. Au sein d'un groupe, le risque individuel est dilué ; lors d'une collision avec un automobiliste à un carrefour, ce sont principalement les premiers et les derniers cyclistes du groupe qui sont directement exposés au risque le plus élevé, tandis que les autres bénéficient d'une certaine « protection » ou restent dissimulés au sein du groupe. En outre, un groupe compact de cyclistes constitue un signal visuel plus fort pour les automobilistes qu'un cycliste isolé, ce qui augmente les chances d'être remarqué (Johnsson et al., 2021).

Évolution de la composition du groupe de cyclistes

La diminution du risque individuel peut également être liée à une évolution des profils démographiques et techniques de la population cycliste à mesure que celle-ci s'élargit (Elvik & Bjørnskau, 2017). Lorsque la pratique du vélo se démocratise, la proportion de cyclistes expérimentés et inexpérimentés peut évoluer, ou davantage de cyclistes appartenant à certaines classes d'âge peuvent venir grossir les rangs des usagers. Dans certains contextes, une amélioration apparente de la sécurité peut résulter d'un phénomène d'auto-sélection : lorsque le niveau de sécurité est faible, seuls les cyclistes les plus enclins à prendre des risques osent circuler, tandis qu'avec l'augmentation du volume de cyclistes, le groupe devient plus diversifié (Castro et al., 2018). Par ailleurs, le processus d'apprentissage individuel lié à la pratique du vélo peut également jouer un rôle : les « premiers » cyclistes circulant dans des lieux où l'on pratique peu le vélo acquièrent progressivement, grâce à leur participation répétée à la circulation, davantage d'expérience et d'aptitudes pour comprendre et maîtriser les situations potentiellement dangereuses (Elvik, 2014).

3 Méthodologie et données

3.1 Description des données

3.1.1 Accidents

Source

Les données officielles de Statbel relatives aux accidents de la circulation ont été utilisées comme source pour le nombre d'accidents. Ces données sont basées sur les enregistrements par la police des accidents de la circulation avec dommages corporels. Un accident de la circulation avec dommages corporels est défini comme « tout accident dans lequel au moins un véhicule circule sur une route publique ou sur une route privée à laquelle (une partie de) la circulation a accès, et dans lequel au moins une personne est blessée ou décède ». Un vélo est considéré comme un véhicule. Les accidents unilatéraux de cyclistes – c'est-à-dire les accidents n'impliquant qu'un seul cycliste – relèvent donc également de cette définition.

Sous-enregistrement

Les données relatives aux accidents ne sont pas exhaustives. Certains accidents ne sont pas enregistrés parce que la police n'en a pas été informée, par exemple parce que les blessures semblaient peu graves ou ne se sont manifestées que plus tard, parce qu'aucun tiers n'était impliqué (Lammar, 2006), ou encore, parce que l'ambulance avait déjà évacué le cycliste blessé avant l'arrivée de la police sur les lieux. Le sous-enregistrement concerne tous les types d'accidents, mais il est plus important pour les cyclistes que pour les autres usagers de la route, en particulier pour les accidents unilatéraux impliquant un cycliste (Nuyttens, 2013).

Une étude de Vandenbulcke-Plasschaert (2011) consacrée aux accidents de cyclistes en Région de Bruxelles-Capitale montre que le degré de sous-enregistrement peut varier selon le lieu. Ainsi, le taux d'enregistrement est plus faible dans les zones où les limitations de vitesse sont basses (30 km/h) et dans les endroits où des mesures de modération de la circulation sont en vigueur. Selon l'auteur, cela s'explique par la faible différence de vitesse entre les modes de transport lents et rapides, ce qui fait que les accidents impliquant un cycliste sont souvent moins graves et, dès lors, moins fréquemment signalés à la police. L'étude montre également que le taux d'enregistrement est plus faible à proximité d'équipements tels que les institutions européennes, les établissements d'enseignement supérieur, les centres commerciaux, les infrastructures culturelles et les hôpitaux. Là encore, l'auteur relie ce phénomène à une moindre variation des vitesses pratiquées et à des accidents moins graves.

Les types de lieux décrits par Vandenbulcke-Plasschaert (2011) sont généralement des lieux où le trafic cycliste est supérieur à la moyenne. Si les résultats de cette étude peuvent être généralisés à l'ensemble de la Belgique et à tous les niveaux géographiques (du niveau infra-local au niveau supra-local), cela signifie que les zones urbanisées se caractérisent à la fois par un trafic cycliste plus important et par une sous-estimation plus marquée du nombre d'accidents impliquant un cycliste. Cette combinaison est susceptible de renforcer artificiellement l'effet safety-in-numbers.

Étant donné que l'effet safety-in-numbers se réfère avant tout aux accidents corporels impliquant un cycliste et des véhicules motorisés, et que les accidents unilatéraux impliquant un cycliste sont encore davantage sous-déclarés que les autres accidents de cyclistes dans les données d'accidents (basées sur les enregistrements de la police), ces accidents ne sont pas pris en compte dans l'analyse des données de la présente étude. Cette approche permet déjà de réduire en partie l'impact potentiel du sous-enregistrement sur les résultats. En outre, une analyse distincte est réalisée pour les accidents graves, lesquels sont moins affectés par le sous-enregistrement que l'ensemble des accidents.

Il n'est pas possible d'appliquer une correction du sous-enregistrement selon le lieu, que ce soit en fonction des tronçons de voirie Telraam ou des provinces, puisqu'aucune donnée ne permet de calculer un facteur de correction spécifique à chaque lieu. Les données Telraam sont des données de trafic collectées au moyen de capteurs intelligents. Elles permettent de connaître le nombre de piétons, de cyclistes, de voitures et de camions qui empruntent un tronçon de voirie donné.

Coordonnées géographiques

La police ne procède pas à un enregistrement direct des coordonnées géographiques x/y sur le lieu de l'accident. La Police fédérale déduit les coordonnées x/y à partir d'autres informations géographiques figurant dans les données officielles relatives aux accidents, telles que les noms de rues, les numéros de maisons et les bornes hectométriques. Grâce à cette méthode, la Police fédérale est en mesure d'attribuer des coordonnées x/y à 90% des accidents corporels impliquant un cycliste et des véhicules motorisés. Au cours de la période 2015-2021, ce pourcentage s'établissait autour de 86% ; entre 2022 et 2024, il atteignait plutôt 97%. L'augmentation observée à partir de 2022 est due à une nouvelle méthode de calcul des coordonnées x/y mise en œuvre par la Police fédérale[1].

Les accidents corporels pour lesquels il n'est pas possible d'attribuer des coordonnées x/y sont par exemple des accidents survenus sur de longues routes situées en zone rurale, où il n'y a ni bornes hectométriques ni habitations à proximité. Cela explique en partie pourquoi le pourcentage d'accidents géolocalisés varie d'une région à l'autre. Pour la période 2015-2024, en ce qui concerne les accidents corporels impliquant un cycliste et des véhicules motorisés, ce pourcentage est de 91% en Flandre, de 82% en Wallonie et de 89% en Région de Bruxelles-Capitale. Par rapport aux autres accidents corporels, les accidents impliquant un cycliste surviennent proportionnellement plus souvent en agglomération (European Commission, 2025). Ils se voient donc plus fréquemment attribuer des coordonnées x/y que les autres accidents corporels.

Sélection des accidents impliquant un cycliste

Les accidents unilatéraux impliquant un cycliste ont été exclus tant de l'analyse au niveau des provinces que de celle réalisée au niveau des tronçons de voirie. L'analyse au niveau provincial porte sur les accidents corporels impliquant un cycliste et des voitures particulières ; l'analyse au niveau des tronçons de voirie porte sur les accidents corporels impliquant un cycliste et l'ensemble des véhicules motorisés. Dans le présent rapport, il a été choisi de considérer comme cyclistes les utilisateurs de vélos classiques, de vélos électriques et de speed pedelecs.

3.1.2 Données de mobilité

3.1.2.1 Province

Source

Les données de mobilité ventilées par province proviennent de l'Enquête fédérale sur la mobilité en Belgique relative aux comportements de déplacement des habitants de Belgique, réalisée par le Service public fédéral Mobilité et Transports (SPF Mobilité et Transports, 2025).

Le choix de cette enquête s'explique par le fait que les données sont récentes, couvrent une année complète, concernent l'ensemble de la Belgique et permettent une ventilation par région et par province.

Caractéristiques des données

L'Enquête fédérale a été réalisée de la mi-septembre 2024 à la mi-septembre 2025. Au total, 14.400 adultes ont tenu un « carnet de déplacements ». Les mineurs ne sont pas inclus dans l'étude.

Les données ont été collectées selon le principe d'une « boucle de déplacement », définie comme l'ensemble des déplacements effectués entre le départ du domicile et le retour à celui-ci. Une même personne peut effectuer plusieurs boucles de déplacement au cours d'une même journée.

Au cours de chaque boucle, le répondant peut effectuer plusieurs arrêts intermédiaires et utiliser plusieurs modes de transport. Pour chaque boucle, seul le mode de déplacement principal est enregistré. Les modes de déplacement secondaires ne sont enregistrés que pour les déplacements en train. Cela signifie, par exemple, que lorsqu'une personne voyage en train et effectue un trajet à vélo vers ou depuis la gare, tant les kilomètres parcourus en train que ceux parcourus à vélo sont enregistrés. En revanche, ce n'est pas le cas pour d'autres

[1] Cette nouvelle méthode de calcul ne constitue pas toujours une amélioration, car depuis 2022, un plus grand nombre d'accidents corporels dont la localisation est incertaine se voient malgré tout attribuer des coordonnées x/y. Ainsi, pour les accidents survenus sur des voiries de plus de 300 mètres sans localisation précise, les coordonnées du centre géographique de la voirie sont désormais souvent attribuées. Cette attribution moins précise des coordonnées x/y est susceptible d'introduire un certain bruit (limité) dans les données.

combinaisons, telles qu'une boucle « vélo-bus ». Il s'agit d'une limite des données, mais son impact sur l'analyse est probablement limité, car ce type de combinaison avec le vélo (autre qu'avec le train) est peu fréquent et la sous-estimation des déplacements à vélo qui en résulte varie vraisemblablement peu d'une province à l'autre.

La distance parcourue n'a pas été demandée dans cette enquête. Elle a été estimée par le SPF Mobilité et Transports sur la base du lieu de départ, du lieu de destination, du mode de déplacement et de la durée du trajet indiquée par le répondant.

Traitement des données

Le rapport public de l'Enquête fédérale sur la mobilité en Belgique ne fournit pas de ventilation provinciale des kilomètres parcourus. À la demande de Vias, le SPF Mobilité et Transports a dès lors constitué un fichier indiquant le nombre moyen de kilomètres parcourus par personne et par jour, ventilé selon le mode de déplacement et la province. Afin de calculer le nombre total de kilomètres parcourus à vélo par les adultes chaque année dans chaque province, ces moyennes ont été multipliées par 365 (le nombre de jours dans une année) et par la population adulte de chaque province. Les mêmes calculs ont été effectués pour les kilomètres parcourus en voiture, puis le résultat a été divisé par le taux moyen d'occupation des voitures, qui est de 1,19 selon l'Enquête fédérale. Cette correction est nécessaire parce que les données de l'enquête portent sur les kilomètres parcourus par des personnes (y compris les passagers), alors que, dans le cadre de l'étude de l'effet safety-in-numbers, ce sont les kilomètres parcourus par véhicule qui sont pertinents.

Échantillon

L'échantillon final de l'Enquête fédérale comprend 13.613 habitants de Belgique, dont 8.203 Flamands, 4 181 Wallons et 1.229 Bruxellois. Afin d'obtenir un échantillon représentatif, les données brutes ont été pondérées en fonction du sexe, de l'âge, de la région du domicile et du niveau de formation.

3.1.2.2 Comptages de trafic Telraam

Méthode de mesure

Telraam compte et classe les usagers de la route au moyen d'un capteur installé à une fenêtre située au premier étage (Figure 2). Il permet également d'estimer la distribution des vitesses (ainsi que la vitesse V85) des voitures. Telraam utilise l'intelligence artificielle pour compter et classifier les véhicules avec une grande précision selon quatre catégories de modes de transport : les deux-roues (vélos, cyclomoteurs et motos), les piétons (y compris les poussettes), les voitures particulières et les véhicules lourds (camionnettes, camions, autobus, remorques et tracteurs). Deux types de capteurs sont actuellement utilisés : les modèles V1 et S2. La principale différence est que le capteur S2 est également capable de compter le trafic pendant les heures d'obscurité. Telraam effectue les comptages dans les deux sens de circulation.

Telraam ne collecte aucune information sur la localisation exacte d'un point de comptage. Les dispositifs Telraam sont en revanche associés à un tronçon de voirie délimité par des carrefours de part et d'autre du point de comptage. Les tronçons peuvent ainsi être très courts, mais également s'étendre sur plusieurs kilomètres.

Pour chaque tronçon, un habitant peut fournir des informations relatives aux caractéristiques objectives de la voirie ainsi qu'à sa perception subjective de celle-ci, par exemple la présence de pistes cyclables, le caractère à sens unique ou non de la rue, la limitation de vitesse ou encore le niveau de sécurité perçu (score de sécurité sur une échelle de 10 points).

Figure 2 Capteur Telraam S2 et détection des usagers de la route (Source : https://telraam.net/).

Données brutes

Une sélection spatiale de l'ensemble des dispositifs Telraam présents en Belgique a été réalisée, en ne retenant que ceux qui avaient été installés pendant au moins un an (n=4.453). Cette période d'un an peut toutefois comporter des intervalles pour lesquels les données sont manquantes. Les premiers comptages de la base de données ont débuté en avril 2018 et celle-ci s'étend jusqu'en avril 2025. Les comptages n'ont donc pas tous été réalisés simultanément.

Les données brutes de Telraam présentent une résolution temporelle de 15 minutes. Pour la présente étude, le jeu de données d'origine a été agrégé sous la forme du nombre moyen d'usagers de la route par heure, pour 13 périodes (l'ensemble de l'année et chacun des mois), avec une distinction entre les jours de semaine et les week-ends. Ces données ont été mises à disposition pour ce projet par l'organisation Telraam (cf. https://telraam.net).

Extrapolation en vue d'estimer les volumes durant les heures d'obscurité

La plupart des sites (n=3.895) ne disposent pas de données Telraam pendant la nuit (c'est-à-dire durant les heures d'obscurité). Afin d'estimer ces données manquantes, nous utilisons les dispositifs Telraam qui ont effectivement effectué des mesures de nuit. À partir de ces 558 dispositifs, une *Average Belgian Curve* est calculée, c'est-à-dire une courbe moyenne horaire établie sur l'ensemble des 558 sites. Pendant les heures de jour, cette courbe moyenne est comparée aux comptages observés sur chaque site. Il peut ainsi être conclu, par exemple, qu'un site présente un trafic supérieur de 50% à la moyenne (ventilé par mode de transport) ; dans ce cas, les valeurs de l'*Average Belgian Curve* sont également majorées de 50% pour les heures de nuit. Les données effectivement observées durant la journée sont, quant à elles, conservées telles quelles.

Pour les sites disposant de comptages nocturnes (n = 558), seule la répartition modale est déterminée pour la journée et non pour la nuit. La répartition modale est calculée pour chaque site à partir des *overlapping hours* (c'est-à-dire les plages horaires de 6h à 8h et de 18h à 21h, qui sont entièrement diurnes en mai, juin, juillet et août, et entièrement nocturnes en novembre, décembre, janvier et février). Cette méthode peut conduire à une surestimation de la part des cyclistes pendant la nuit, étant donné que les heures de pointe présentent vraisemblablement une proportion de cyclistes plus élevée que les heures nocturnes, alors que la répartition modale observée durant les heures de pointe est appliquée à l'ensemble de la nuit.

Au niveau mensuel, une approche légèrement différente est adoptée pour les mois ne comportant aucune observation nocturne. Dans ce cas, la *Yearly Average Curve* du site concerné est utilisée et les comptages diurnes permettent de déterminer si le nombre de véhicules observés durant ce mois est supérieur ou inférieur de x % à la moyenne annuelle. Ce facteur est ensuite appliqué à la *Yearly Average Curve* pour les heures de nuit de ce site.

Les données effectivement observées sont toujours conservées. Seules les données manquantes sont complétées au moyen des estimations décrites ci-dessus afin d'obtenir des courbes de trafic 24h/24 et 7j/7 pour chaque site Telraam.

Nettoyage des données

Une sélection finale des dispositifs Telraam est ensuite réalisée afin de garantir la qualité des données. Même lorsqu'elles sont limitées, les données peuvent être complétées grâce à la méthode d'extrapolation. Nous

estimons toutefois que l'incertitude associée aux données extrapolées devient alors trop importante et préférons ne pas les utiliser. Ainsi, un dispositif Telraam doit avoir effectué des mesures durant au moins quatre mois différents. En outre, un filtrage est appliqué sur la base d'un nombre minimal de comptages individuels disponibles : les dispositifs dont le nombre d'observations individuelles se situe sous le 10^{e} percentile de l'ensemble de la base de données sont exclus. Cette procédure aboutit à un échantillon final de 3.684 dispositifs Telraam.

3.1.3 Couplage des données d'accidents et des données de mobilité

3.1.3.1 Couplage au niveau provincial

Le Tableau 1 présente un aperçu des données relatives aux accidents et à la mobilité utilisées pour l'analyse au niveau des provinces.

Contrairement à l'analyse réalisée au niveau des tronçons Telraam, la catégorie « autre trafic » ne comprend ici que les voitures particulières. La raison en est que cette catégorie représente de loin le plus grand nombre de kilomètres parcourus, ce qui rend les déplacements déclarés dans cette catégorie les plus fiables.

Tableau 1 Caractéristiques des données couplées relatives aux accidents et à la mobilité au niveau provincial

	Données relatives aux accidents	**Données de mobilité**
Population	Population adulte	Population adulte
Période d'observation	Année complète 2024	Année complète du 16/09/2024 au 15/09/2025
Définition du cycliste	Tous les vélos, y compris les speed pedelecs	Tous les vélos, y compris les speed pedelecs
Définition des autres usagers	Voitures particulières, telles qu'enregistrées par la police lors de l'enregistrement des accidents	Voitures particulières, telles que déclarées par les répondants

Les données relatives aux accidents et les données de mobilité ont été fusionnées en un seul jeu de données pour l'analyse au moyen d'un couplage basé sur la variable commune « province ».

3.1.3.2 Couplage au niveau des tronçons Telraam

Le Tableau 2 présente un aperçu des données relatives aux accidents et à la mobilité utilisées pour l'analyse au niveau des tronçons Telraam.

Tableau 2 Caractéristiques des données couplées relatives aux accidents et à la mobilité au niveau des tronçons

	Données relatives aux accidents	**Données de mobilité**
Population	Population totale (enfants + adultes)	Population totale (enfants + adultes)
Période d'observation	De 2015 à 2024 inclus (10 ans)	Une année comprise entre 2018 et 2025 pour chaque tronçon Telraam
Définition du cycliste	Tous les vélos, y compris les speed pedelecs	Deux-roues : tous les vélos, cyclomoteurs et motos
Définition des autres usagers	Voiture particulière / camion / camionnette / autobus / tram / trolleybus / véhicule agricole (à l'exclusion des deux-roues motorisés)	Voitures particulières et véhicules lourds (camionnettes, camions, autobus, remorques et tracteurs)

Les tronçons Telraam (ainsi que leurs attributs) sont reliés géographiquement aux accidents survenus sur ces tronçons (Figure 3). À cette fin, une zone tampon d'un rayon de 20 mètres est créée autour de chaque tronçon. Tous les accidents situés à l'intérieur de cette zone tampon sont supposés s'être produits sur le tronçon concerné. Cette méthode inclut donc également les accidents survenus aux carrefours délimitant le tronçon.

Pour que l'analyse du safety-in-numbers soit pertinente en pratique, une condition indispensable est qu'un nombre statistiquement suffisant d'accidents soit disponible sur les différents tronçons de voirie. Concrètement, cela signifie qu'au moins 10 à 20% des sites doivent avoir enregistré un ou plusieurs accidents.

Comme ce seuil minimal n'est pas atteint avec les données d'accidents d'une seule année, une période plus longue est prise en considération. Les comptages effectués par Telraam sont supposés constituer une bonne mesure de l'intensité du trafic sur cette même période plus longue. Des évolutions locales intervenues durant cette période peuvent toutefois introduire un biais. Il peut s'agir, par exemple, de modifications des infrastructures (comme l'aménagement de pistes cyclables ou la modification de la limitation de vitesse) ou de variations du volume de trafic qui s'écartent de la tendance générale (par exemple la création de nouveaux pôles d'attraction, l'introduction d'un plan de circulation ou des travaux de voirie).

Figure 3 Illustration du couplage des accidents à un tronçon Telraam. Les étoiles rouges représentent les accidents impliquant un cycliste ; la ligne verte délimite le tronçon Telraam et la zone rouge correspond à la zone tampon de 20 mètres autour du tronçon. Tous les accidents situés dans cette zone tampon sont associés au tronçon Telraam.

3.2 Modélisation

La nature des deux ensembles distincts de données de mobilité nécessite le recours à deux méthodes différentes mais complémentaires pour étudier la relation entre l'exposition des cyclistes et les accidents de la circulation : la régression de puissance et la régression binomiale négative. Ces deux modèles sont adaptés à l'analyse d'un effet safety-in-numbers. Ils reposent tous deux sur une relation de puissance entre l'exposition et les accidents, ce qui permet d'interpréter des élasticités en reliant la variation en pourcentage du nombre d'accidents à une variation en pourcentage de l'exposition des cyclistes.

Bien que les deux modèles présentent une forme fonctionnelle similaire, ils diffèrent fondamentalement par leur spécification statistique, leurs hypothèses et leur domaine d'application. Les deux modèles sont d'abord présentés d'un point de vue conceptuel, avant de justifier leur utilisation dans le cadre de cette étude.

Régression de puissance

La relation entre l'exposition des cyclistes et les accidents peut être représentée, dans son échelle d'origine, par une fonction de puissance :

$$Y_i = \alpha \cdot x_i^{\beta_1} \cdot \varepsilon_i$$

où Y_i représente le nombre d'accidents, x_i l'exposition des cyclistes et ε_i un terme d'erreur multiplicatif.

Après transformation logarithmique, le modèle devient linéaire par rapport aux paramètres :

$$\log(Y_i) = \beta_0 + \beta_1 \log(x_i) + \varepsilon_i$$

avec $\beta_0 = \log(\alpha)$. Cette transformation permet d'estimer le modèle au moyen de techniques de régression linéaire.

Le paramètre β_1 s'interprète directement comme une élasticité : une augmentation de 1% de l'exposition des cyclistes s'accompagne d'une variation de β_1% du nombre d'accidents.

Le modèle est estimé au moyen de la méthode des moindres carrés ordinaires (Ordinary Least Squares – OLS), qui minimise la somme des carrés des résidus sur l'échelle logarithmique.

Régression binomiale négative

Le modèle binomial négatif repose lui aussi sur une relation de puissance, mais celle-ci est spécifiée au niveau de la valeur attendue :

$$\mu_i = \mathbb{E}[Y_i] = \alpha \cdot x_i^{\beta_1}$$

où μ_i représente le nombre attendu d'accidents.

Comme dans la régression log-log, une transformation logarithmique est appliquée, mais sous la forme d'une fonction de lien :

$$\log(\mu_i) = \beta_0 + \beta_1 \log(x_i)$$

La variable dépendante suit une distribution binomiale négative, qui autorise la présence de surdispersion :

$$\text{Var}(Y_i) = \mu_i + \kappa\mu_i^2$$

Ce modèle est donc particulièrement adapté aux données de comptage caractérisées par de faibles valeurs (avec présence de valeurs nulles) et par une variance supérieure à la moyenne. Les paramètres sont estimés par la méthode du maximum de vraisemblance.

À l'instar de la régression log-log, le paramètre β_1 peut être interprété comme une élasticité. Une augmentation de 1% de l'exposition des cyclistes s'accompagne d'une variation de β_1% du nombre attendu d'accidents.

Données Telraam

Les données Telraam se caractérisent par un faible nombre d'accidents impliquant un cycliste et des véhicules motorisés. Au total, 3.688 accidents corporels impliquant un cycliste et un véhicule motorisé ont été enregistrés sur l'ensemble des tronçons au cours des dix dernières années, soit en moyenne environ 1,0 accident par tronçon (voir Tableau 5). Une proportion importante des tronçons, à savoir 2.244 sur 3.684 (60,9%), n'a enregistré aucun accident.

Pour ce type de données — des données de comptage présentant une distribution asymétrique et une forte proportion de valeurs nulles — la régression binomiale négative constitue un choix approprié. Bien que la régression de Poisson soit également fréquemment utilisée pour les données de comptage, elle repose sur l'hypothèse que la moyenne est égale à la variance. Cette hypothèse n'est pas respectée dans le présent jeu de données, qui présente une surdispersion.

Données provinciales

Le jeu de données provincial est de petite taille et comporte un nombre limité d'observations (les dix provinces ainsi que la Région de Bruxelles-Capitale). Contrairement aux données Telraam, il ne comporte ni faibles effectifs ni valeurs nulles : chaque province enregistre un nombre substantiel d'accidents. La variable dépendante est donc moins nettement discrète, ce qui permet de recourir à une approche continue.

Dans ce contexte, la régression log-log constitue un choix approprié. Cette méthode dépend moins d'hypothèses complexes relatives à la distribution des données, ce qui représente un avantage dans le cas de petits échantillons.

Les résultats de la régression log-log sont en outre confrontés à ceux obtenus au moyen d'une régression binomiale négative. Cette comparaison permet d'évaluer dans quelle mesure les élasticités estimées sont robustes par rapport à la technique de modélisation retenue.

4 Résultats

4.1 Analyse au niveau provincial

4.1.1 Analyse descriptive

L'Enquête fédérale sur la mobilité en Belgique met en évidence d'importantes différences interrégionales en matière de mobilité cycliste. En moyenne, un adulte parcourt 1,5 kilomètre à vélo par jour. En Région flamande, cette distance est nettement plus élevée, avec 2,3 kilomètres, tandis qu'elle reste largement inférieure à la moyenne nationale en Région wallonne (0,2 km) et en Région de Bruxelles-Capitale (0,4 km). Au sein de chaque région, les variations sont relativement limitées (Figure 4), à l'exception de la province du Brabant flamand. Dans cette province, le nombre de kilomètres parcourus à vélo est sensiblement inférieur à celui observé dans les autres provinces flamandes.

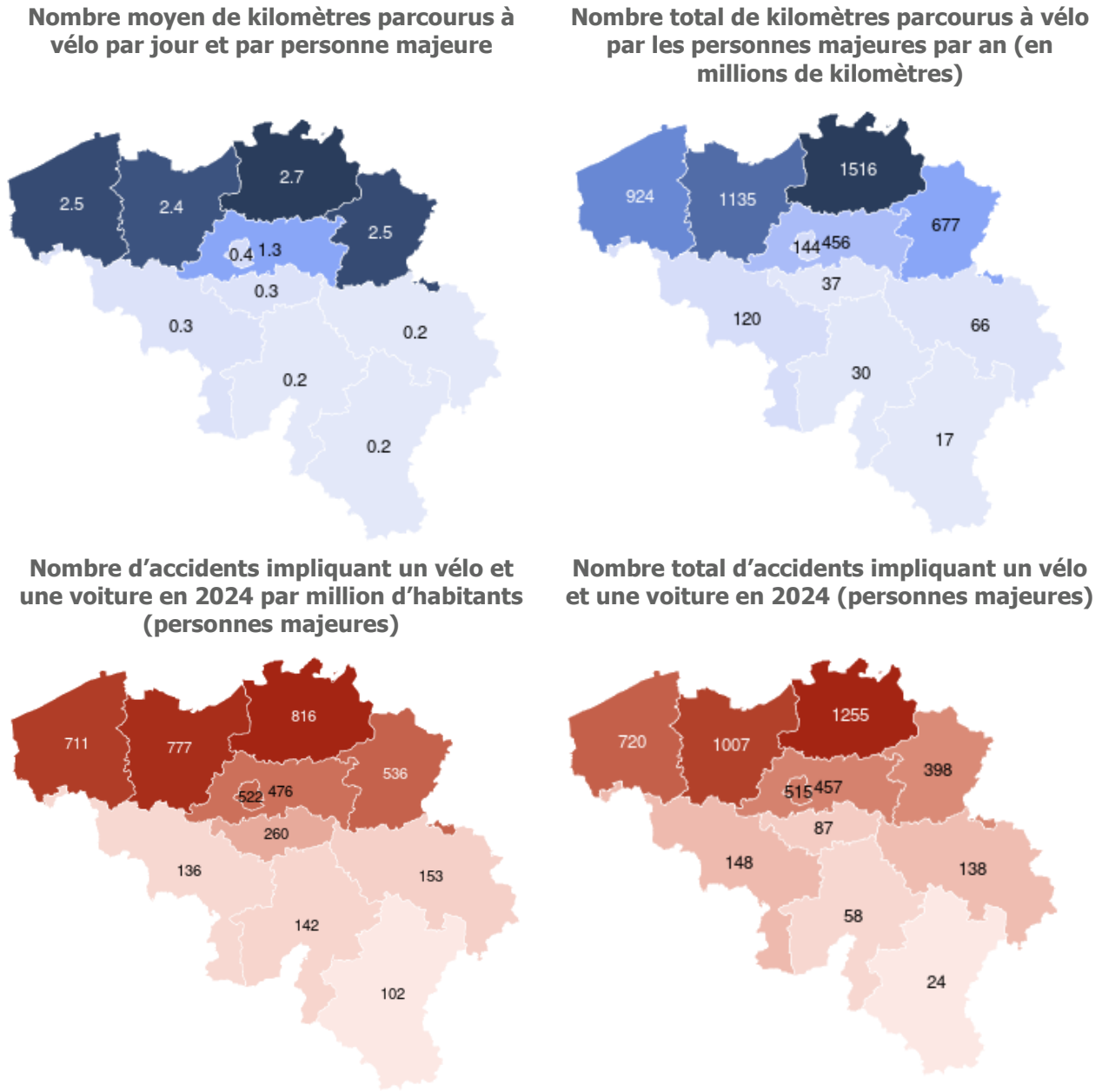


Figure 4 Chiffres clés relatifs aux kilomètres parcourus à vélo et aux accidents impliquant un cycliste.

Source : SPF Mobilité et Transports (2025) et Statbel (Direction générale Statistique – Statistics Belgium) | Traitement : Vias institute.

Les différences régionales en matière de mobilité cycliste observées dans l'Enquête fédérale sur la mobilité sont confirmées par l'*E-survey of Road Users' Attitudes* (ESRA : https://www.esranet.eu/). L'édition 2023 de l'enquête ESRA montre que 74% des Flamands utilisent le vélo au moins quelques fois par an, contre respectivement 55% en Région wallonne et 48% en Région de Bruxelles-Capitale (Wardenier, 2026).

Des différences interrégionales importantes apparaissent également en ce qui concerne le nombre d'accidents (Figure 4). En Région de Bruxelles-Capitale, le nombre d'accidents impliquant un vélo et une voiture par million d'habitants (hors mineurs) s'élève à 522. Dans toutes les provinces wallonnes, cette valeur est plus faible et varie entre 102 dans la province de Luxembourg et 260 dans le Brabant wallon. Les provinces flamandes affichent des valeurs plus élevées, à l'exception du Brabant flamand (476). La valeur la plus élevée est observée dans la province d'Anvers, avec 816 accidents par million d'habitants.

Les données policières montrent que 51% des accidents de cyclistes enregistrés impliquent une voiture particulière comme opposant (Figure 5). Cette proportion varie selon les provinces et est généralement plus élevée dans les provinces wallonnes que dans les provinces flamandes. Les accidents unilatéraux (présentés dans la figure sous la catégorie « Aucun opposant ») sont enregistrés de manière moins complète et la qualité de l'enregistrement peut en outre varier d'une province à l'autre. L'analyse du safety-in-numbers présentée dans ce rapport porte sur les accidents impliquant un cycliste et des voitures particulières (au niveau provincial) ainsi que sur les accidents impliquant un cycliste et l'ensemble des véhicules motorisés (au niveau des tronçons).

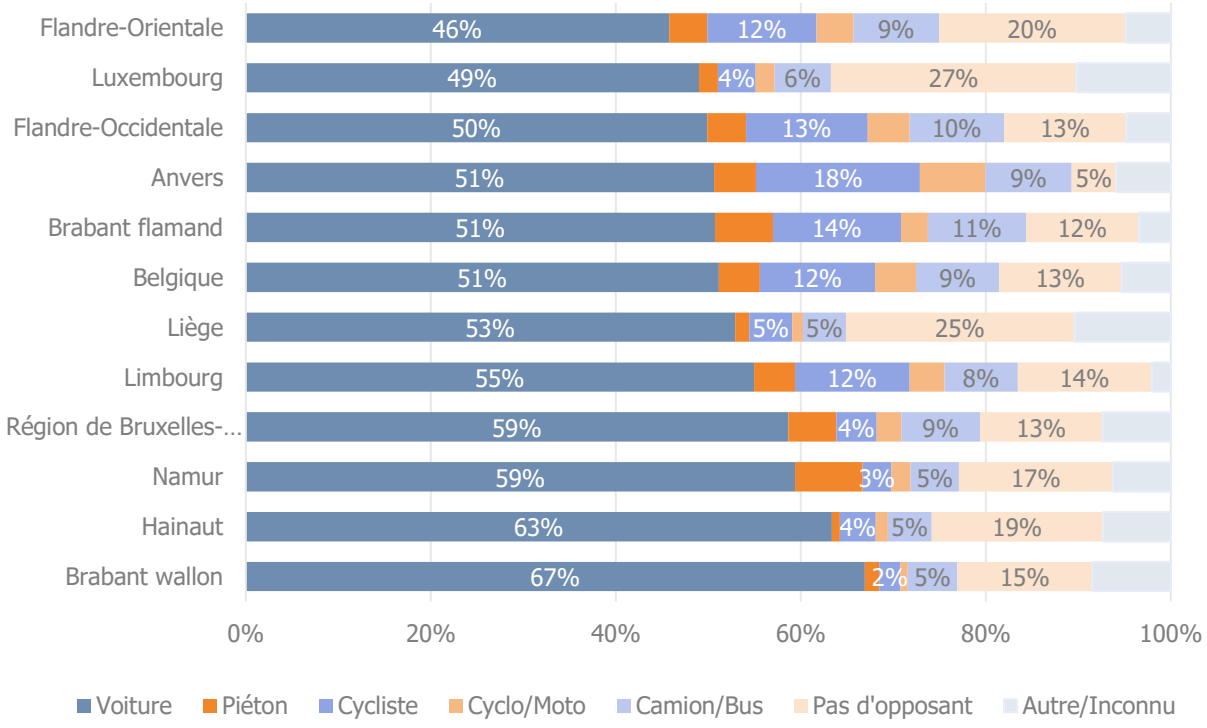


Figure 5 Opposant aux cyclistes majeurs impliqués dans un accident de vélo (2024).

Source : Statbel (Direction générale Statistique – Statistics Belgium) | Traitement : Vias institute.

La Figure 6 présente la part des kilomètres parcourus à vélo dans chaque province par rapport au nombre total de kilomètres parcourus à vélo en Belgique. Ainsi, par exemple, 30% de l'ensemble des kilomètres parcourus à vélo en Belgique le sont dans la province d'Anvers. Cette part est comparée, dans la figure, à la part des accidents impliquant un vélo et une voiture dans chaque province. Pour la plupart des provinces, ces deux parts sont très proches, ce qui indique que ces deux indicateurs sont liés.

Dans les quatre provinces où le nombre de kilomètres parcourus à vélo est le plus élevé – toutes situées en Région flamande –, la part des kilomètres parcourus à vélo est systématiquement supérieure à la part des accidents impliquant un vélo et une voiture. Dans les autres provinces, c'est l'inverse qui est observé. Cette

constatation – relativement peu d'accidents dans les provinces où le trafic cycliste est important, et inversement – semble indiquer l'existence d'un effet safety-in-numbers. Cette hypothèse est examinée plus en détail au moyen d'une modélisation statistique au chapitre 4.1.2.

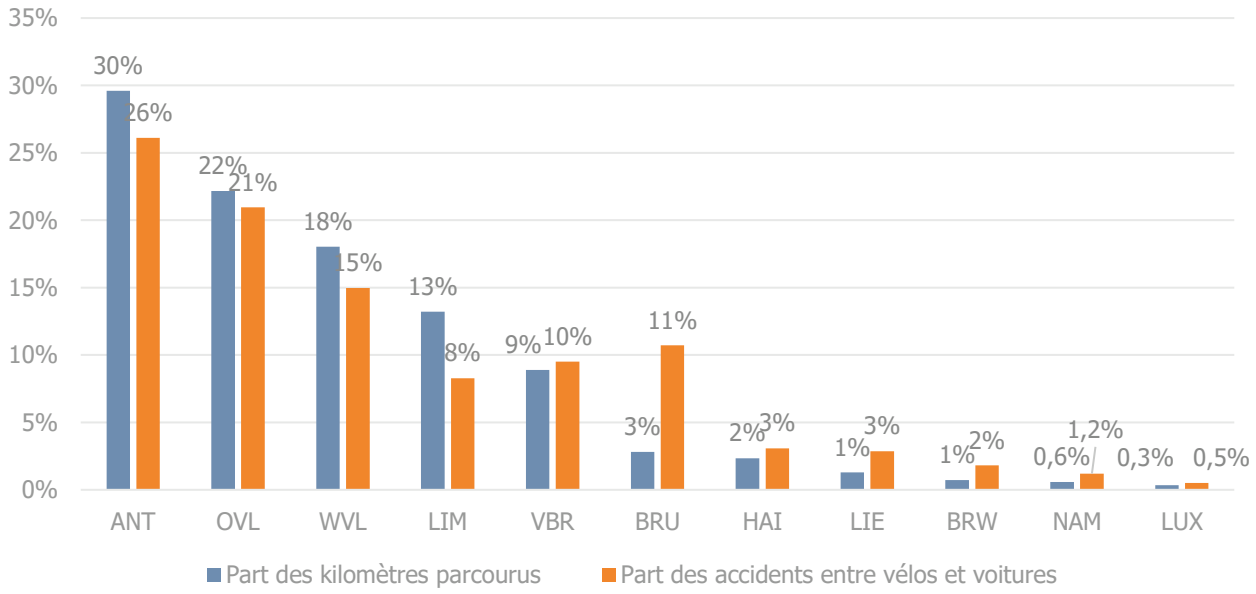


Figure 6 Part des kilomètres parcourus à vélo par province dans le total des kilomètres parcourus à vélo en Belgique, comparée à la part des accidents impliquant un vélo et une voiture.

Source : SPF Mobilité et Transports (2025) et Statbel (Direction générale Statistique – Statistics Belgium) | Traitement : Vias institute.

La matrice de corrélation ci-dessous (Figure 7) présente les relations entre les différentes variables retenues dans la modélisation statistique au niveau provincial. Des corrélations d'environ ±0,7 ou plus entre les variables explicatives peuvent indiquer un degré élevé de multicolinéarité. Dans cette analyse, la corrélation la plus forte est observée entre les kilomètres parcourus à vélo et les kilomètres parcourus en voiture (r = 0,81).

Une forte multicolinéarité peut affecter la stabilité d'un modèle, car il devient plus difficile de distinguer la contribution propre de variables explicatives fortement corrélées. Il peut en résulter des variations importantes des coefficients de régression à la suite de faibles modifications des données.

Le VIF (Variance Inflation Factor) a été utilisé afin de vérifier si les corrélations entre les variables explicatives affectaient la fiabilité des estimations du modèle. Le VIF permet de contrôler que les variables explicatives ne sont pas à ce point similaires qu'elles compromettent la fiabilité des résultats. Toutes les variables retenues présentent une valeur de VIF inférieure à cinq, ce qui indique un niveau limité de multicolinéarité.

Kilomètres parcourus à vélo	Kilomètres parcourus en voiture	Densité de population	
1,00	0,81	0,41	**Kilomètres parcourus à vélo**
	1,00	0,25	**Kilomètres parcourus en voiture**
		1,00	**Densité de population**

Figure 7 Matrice de corrélation de l'analyse au niveau provincial.

4.1.2 Analyse multivariée

4.1.2.1 Petit échantillon

L'analyse de l'effet safety-in-numbers sur la base des provinces belges est, par nature, limitée à un petit échantillon, à savoir les dix provinces belges et la Région de Bruxelles-Capitale (N = 11). Malgré cette taille réduite, les provinces présentent une variation importante tant du volume de cyclistes que du nombre d'accidents impliquant un cycliste (Figure 4). Cette variabilité est essentielle, car elle permet d'identifier la relation entre l'exposition et les accidents ; en l'absence d'une variation suffisante, il serait en effet impossible d'estimer l'effet safety-in-numbers.

Dans le même temps, la faible taille de l'échantillon accroît le risque de surapprentissage (*overfitting*) lors de l'estimation de modèles de régression comportant plusieurs variables explicatives. Il y a surapprentissage lorsqu'un modèle est trop complexe par rapport aux données disponibles, de sorte qu'il modélise non seulement la relation sous-jacente, mais également les fluctuations aléatoires des données. Cela conduit à des estimations instables des coefficients.

Dans certains domaines de la statistique, il existe des règles empiriques concernant le nombre maximal de variables explicatives pouvant être incluses dans un modèle, comme la recommandation de disposer de dix observations par variable estimée dans le cadre d'une régression logistique (Peduzzi et al., 1996). En revanche, il n'existe pas de règle analogue généralement admise pour la régression de puissance et la régression binomiale négative, qui sont utilisées dans l'analyse provinciale.

La taille du jeu de données n'est toutefois pas le seul facteur déterminant pour la fiabilité d'un modèle. La validité du modèle peut également être évaluée au moyen de plusieurs critères diagnostiques, tels que la stabilité des coefficients estimés, la présence d'une multicolinéarité entre les variables explicatives et le pouvoir prédictif du modèle. En ce qui concerne ce dernier, une distinction est opérée entre la qualité d'ajustement *in-sample* (par exemple au moyen de l'AIC) et les performances prédictives *out-of-sample*, qui sont évaluées dans cette étude au moyen d'une validation croisée *leave-one-out* (LOOCV). La LOOCV consiste à exclure successivement une observation de l'estimation du modèle, puis à utiliser cette observation pour évaluer les performances prédictives du modèle. Cette combinaison de critères permet d'apprécier la stabilité des modèles, même dans un contexte de taille d'échantillon limitée.

Au regard de ces considérations, l'analyse provinciale présentera également le modèle de référence issu de la littérature (Elvik & Bjørnskau, 2017 ; Elvik & Goel, 2019), dans lequel le volume de cyclistes et le volume du trafic automobile sont tous deux inclus comme variables explicatives. Comme indiqué précédemment, ce choix repose sur une base théorique solide, mais implique également une complexité relativement élevée du modèle au regard du nombre d'observations. Une attention particulière est dès lors accordée à la robustesse des résultats et les coefficients estimés sont interprétés avec la prudence requise. Dans un troisième et dernier modèle, l'impact de la densité de population sur le nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture est également examiné. Les mêmes critères diagnostiques sont analysés et la même prudence est appliquée lors de l'interprétation des résultats.

4.1.2.2 Modélisation statistique

Modèle 1

Dans le premier modèle, estimé au moyen d'une régression de puissance, le nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture est expliqué exclusivement par le volume de cyclistes (exprimé en kilomètres parcourus à vélo). Les résultats montrent qu'une augmentation de 1% du volume de cyclistes s'accompagne d'une augmentation de 0,75% du nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture. Ce coefficient est statistiquement différent de zéro, ce qui indique l'existence d'une relation positive claire entre le volume de cyclistes et le nombre d'accidents. En outre, ce coefficient diffère également de manière significative de 1 (niveau de signification : * $p < 0,05$), ce qui implique que l'augmentation du nombre d'accidents est moins que proportionnelle à l'augmentation du volume de cyclistes. En d'autres termes, un effet safety-in-numbers est observé : un doublement du volume de cyclistes entraîne une augmentation d'environ 69% ($2^{0,753}$) du nombre d'accidents, ce qui traduit un risque relativement plus faible par cycliste lorsque le volume de cyclistes est plus élevé.

La Figure 8 présente les valeurs observées (cercles pleins) et les valeurs estimées (cercles vides) du nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture par province. De manière générale, les valeurs estimées sont proches des valeurs observées, ce qui témoigne d'un bon ajustement du modèle. Pour deux provinces, les valeurs observées et prédites diffèrent toutefois sensiblement. À Bruxelles, le nombre réel d'accidents est nettement supérieur à celui prédit sur la base du volume de cyclistes, ce qui laisse penser que d'autres facteurs pourraient intervenir. À l'inverse, dans la province du Limbourg, le modèle surestime le nombre d'accidents au regard des kilomètres parcourus à vélo. Ces écarts suggèrent une possible hétérogénéité entre les provinces qui n'est pas entièrement expliquée par le volume de cyclistes. Les modèles suivants examinent l'impact potentiel du volume de trafic automobile et de la densité de population sur le nombre d'accidents.

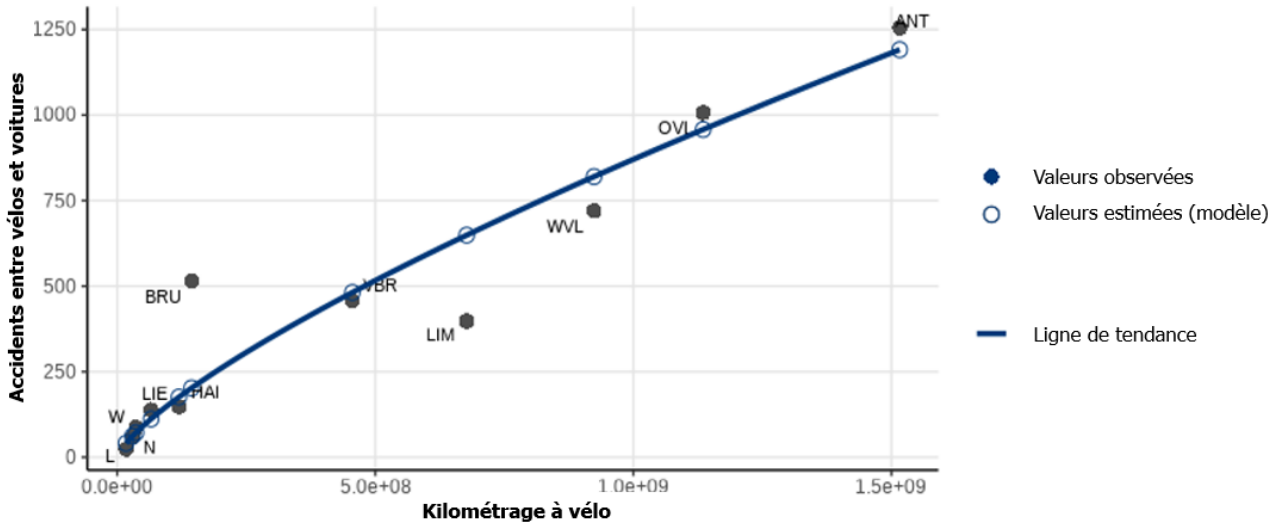


Figure 8 Résultats d'un modèle safety-in-numbers évaluant l'impact du volume de cyclistes.

Modèle 2

Le modèle de base proposé dans la littérature scientifique comprend, outre le volume de cyclistes, le volume du trafic automobile comme variable explicative (Elvik & Bjørnskau, 2017 ; Elvik & Goel, 2019). Le volume du trafic automobile est donc introduit comme variable explicative dans un deuxième modèle. Toutefois, l'ajout de cette variable n'a pratiquement aucune incidence sur le coefficient associé au volume de cyclistes : un doublement du volume de cyclistes entraîne toujours une augmentation d'environ 68% ($2^{0,749}$) du nombre d'accidents. En outre, le coefficient associé au volume du trafic automobile n'est pas statistiquement significatif et se caractérise par un large intervalle de confiance, ce qui traduit une faible précision et une stabilité limitée. Cela suggère que, dans ce modèle, le volume du trafic automobile n'exerce pas d'influence substantielle sur le nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture et n'apporte pas de pouvoir explicatif supplémentaire au modèle.

Modèle 3

Dans un troisième et dernier modèle, la densité de population, définie comme le nombre d'habitants par kilomètre carré, est ajoutée au volume de cyclistes et au volume du trafic automobile en tant que variable explicative. La densité de population apparaît comme un prédicteur statistiquement significatif du nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture. Un doublement de la densité de population entraîne une augmentation d'environ 27% ($2^{0,341}$) du nombre d'accidents. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les zones densément peuplées se caractérisent par un réseau routier plus dense, un plus grand nombre de carrefours, une intensité de trafic plus élevée et davantage d'interactions entre les usagers de la route. Tous ces facteurs augmentent le risque de conflits potentiels. En outre, les navetteurs se rendant à vélo vers les villes sont pris en compte dans le nombre d'accidents impliquant un cycliste, mais pas dans la densité de population.

L'inclusion de la densité de population influence l'élasticité estimée du volume de cyclistes. Dans ce modèle, un doublement du volume de cyclistes entraîne une augmentation de 51% ($2^{0,599}$) du nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture. Ce coefficient est statistiquement différent à la fois de 0 et de 1. Ce résultat confirme l'existence d'un effet safety-in-numbers.

La diminution du coefficient de régression associé au volume de cyclistes après l'ajout de la densité de population s'explique par la corrélation positive entre ces deux variables. La densité de population agit comme un facteur de confusion (*confounder*)[2] dans la relation entre le volume de cyclistes et les accidents. Lorsque cette variable n'est pas prise en compte, une partie de son effet est attribuée au volume de cyclistes, ce qui peut conduire à une sous-estimation de l'effet safety-in-numbers. En d'autres termes, la densité de population masque partiellement l'ampleur réelle de cet effet. En modélisant explicitement cette variable, cet effet de confusion est partiellement éliminé. L'effet safety-in-numbers apparaît alors plus marqué : un doublement du volume de cyclistes entraîne une augmentation de 51% du nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture particulière, contre une augmentation de 69% dans le premier modèle. Comme dans le modèle 2, le coefficient associé au volume du trafic automobile n'est pas statistiquement significatif.

Sélection du modèle

Au total, trois modèles ont été estimés (Tableau 3), en augmentant progressivement le nombre de variables explicatives. Le choix du modèle final repose sur plusieurs critères diagnostiques, notamment la stabilité des coefficients estimés, la présence éventuelle de multicolinéarité, les performances *in-sample* (AIC et R^2 ajusté) ainsi que les performances prédictives *out-of-sample*, évaluées au moyen d'une validation croisée *leave-one-out* (LOOCV). Compte tenu du nombre limité d'observations (N = 11), une attention particulière est accordée au risque de surapprentissage, de sorte que les performances *out-of-sample* sont considérées comme plus importantes que la seule amélioration de l'ajustement du modèle.

Le modèle de base, comprenant uniquement le volume de cyclistes, fournit déjà une explication satisfaisante et stable de la variation du nombre d'accidents, avec un R^2 ajusté élevé et des coefficients cohérents (Tableau 3). En revanche, l'ajout du volume du trafic automobile (modèle 2) n'apporte aucune valeur ajoutée : son coefficient n'est pas statistiquement significatif et présente une forte incertitude, tandis que les performances globales du modèle ne s'améliorent pas. Le modèle 3, qui inclut également la densité de population, montre en revanche une nette amélioration tant des performances *in-sample* que *out-of-sample*. L'AIC diminue sensiblement et les résultats de la LOOCV indiquent une amélioration importante de la précision des prédictions. La densité de population constitue un déterminant pertinent sur le plan conceptuel et agit comme facteur de confusion dans la relation entre le volume de cyclistes et les accidents impliquant un cycliste et une voiture.

Bien que la valeur très élevée du R^2 ajusté du modèle 3 puisse être en partie influencée par le faible nombre d'observations, l'amélioration des performances du modèle est confirmée par les résultats de la LOOCV, ce qui témoigne d'un pouvoir explicatif supplémentaire réel. Sur la base de ces éléments, le modèle 3 est retenu comme modèle final, tout en appelant à la prudence dans l'interprétation des résultats compte tenu du nombre limité de points de données.

[2] Un facteur de confusion (*confounder*) est une variable qui est associée à la fois à la variable explicative et à la variable dépendante, et qui peut dès lors biaiser la relation estimée entre ces deux variables.

Afin de vérifier la robustesse des résultats, les mêmes modèles ont également été estimés au moyen d'une régression binomiale négative. Cette approche conduit à des coefficients de régression similaires (non repris dans le présent rapport) et aboutit aux mêmes conclusions de fond.

4.1.2.3 Conclusion de l'analyse au niveau provincial

L'analyse des données provinciales met clairement en évidence la présence d'un effet safety-in-numbers. Dans le modèle de base, sans variables de contrôle, un doublement du volume de cyclistes entraîne une augmentation d'environ deux tiers du nombre d'accidents impliquant un cycliste et une voiture. Lorsque le volume du trafic automobile et la densité de population sont pris en compte, cette augmentation est ramenée à environ la moitié, ce qui traduit un avantage relatif plus marqué en matière de sécurité lorsque le trafic cycliste augmente. Le volume du trafic automobile ne joue pas un rôle significatif, tandis que la densité de population constitue un déterminant important : un doublement de la densité de population s'accompagne d'une augmentation d'environ un quart du nombre d'accidents.

Compte tenu de la taille limitée de l'échantillon, il est préférable de communiquer les résultats sous une forme arrondie : un doublement du volume de cyclistes entraîne une augmentation du nombre d'accidents d'environ deux tiers dans le modèle le plus simple et d'environ la moitié dans le modèle le plus complet, tandis qu'un doublement de la densité de population s'accompagne d'une augmentation d'environ un quart.

Tableau 3 Résultats des trois modèles safety-in-numbers (régression de puissance), niveau provincial.

	Modèle 1 Volume de cyclistes	Modèle 2 Volume de cyclistes + Volume du trafic automobile	Modèle 3 Volume de cyclistes + Volume du trafic automobile + Densité de population
Coefficients			
Constante	-8,84*** [-12,36;-5,33]	-9,19*** [-29,68;11,30]	-12,81 [-21,70;-3,93]
log(Kilomètres parcourus à vélo)	0,75*** [0,57;0,94]	0,75*** [0,41;1,09]	0,60*** [0,44;0,75]
log(Kilomètres parcourus en voiture)	/	0,02 [-1,11;1,15]	0,22 [-0,27;0,71]
log(Densité de population)	/	/	0,34*** [0,21;0,47]
Statistiques du modèle			
N	11	11	11
VIF	/	<3	<3,5
R^2 ajusté	0,89	0,88	0,98
AIC	15,52	17,52	-1,15
Log-vraisemblance (LOOCV)	-1,04	-1,39	-0,21
Erreur quadratique moyenne (LOOCV)	0,20	0,26	0,05

Remarque : Signification : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05

4.2 Analyse au niveau des tronçons

4.2.1 Analyse descriptive

Au total, 3 684 dispositifs Telraam sont inclus dans l'analyse (Tableau 4, Figure 9). Il s'agit de tous les tronçons Telraam en Belgique sur lesquels un capteur a été installé pendant au moins un an et pour lesquels un volume suffisant de données a été collecté durant cette période. Un tronçon moyen mesure près de 200 mètres de long ; l'ensemble des tronçons représente plus de 700 kilomètres. La majorité des tronçons (77,1%) se situe en Flandre. Les provinces du Brabant flamand et d'Anvers comptent le plus grand nombre de dispositifs Telraam. Ceux-ci sont principalement installés sur des voiries locales où la limitation de vitesse est de 30 ou 50 km/h.

Pour l'ensemble des tronçons Telraam, la répartition modale est la suivante : 12,3% de véhicules lourds, 62,3% de voitures particulières, 17,5% de deux-roues et 7,9% de piétons. Par tronçon, cela correspond à une intensité journalière de [moyenne ± écart-type] :

- 366,7 ± 448,7 véhicules lourds
- 2047,8 ± 2216,9 voitures particulières
- 405,2 ± 465,6 deux-roues
- 157,8 ± 330,7 piétons

Tableau 4 Caractéristiques des dispositifs Telraam.

	Total (N=3684)
Longueur du tronçon Telraam	Moyenne: 197,14 m (ET: 151,92 m) Total: 726,3 km
Région	
Bruxelles	312 (8,5%)
Flandre	2841 (77,1%)
Wallonie	531 (14,4%)
Province	
Bruxelles	312 (8,5%)
Anvers	767 (20,8%)
Limbourg	255 (6,9%)
Flandre orientale	518 (14,1%)
Brabant flamand	1028 (27,9%)
Flandre occidentale	273 (7,4%)
Liège	232 (6,3%)
Luxembourg	10 (0,3%)
Hainaut	94 (2,6%)
Namur	127 (3,4%)
Brabant wallon	68 (1,8%)
V85 (vitesse non dépassée par 85% des conducteurs)	Moyenne: 41,66 km/h (ET: 12,24 km/h)
<25 km/h	199 (5,4%)
25-35 km/h	925 (25,1%)
35-60 km/h	2280 (61,9%)
60-80 km/h	247 (6,7%)
80-100 km/h	22 (0,6%)
>100 km/h	2 (0,05%)
Données manquantes	9 (0,2%)
Limitation de vitesse (déclarée par les citoyens ; non disponible pour tous les sites)	
20 km/h	56 (1,5%)
30 km/h	804 (21,8%)
50 km/h	821 (22,3%)
70 km/h	50 (1,4%)
Autre ou non précisée	1953 (53,0%)

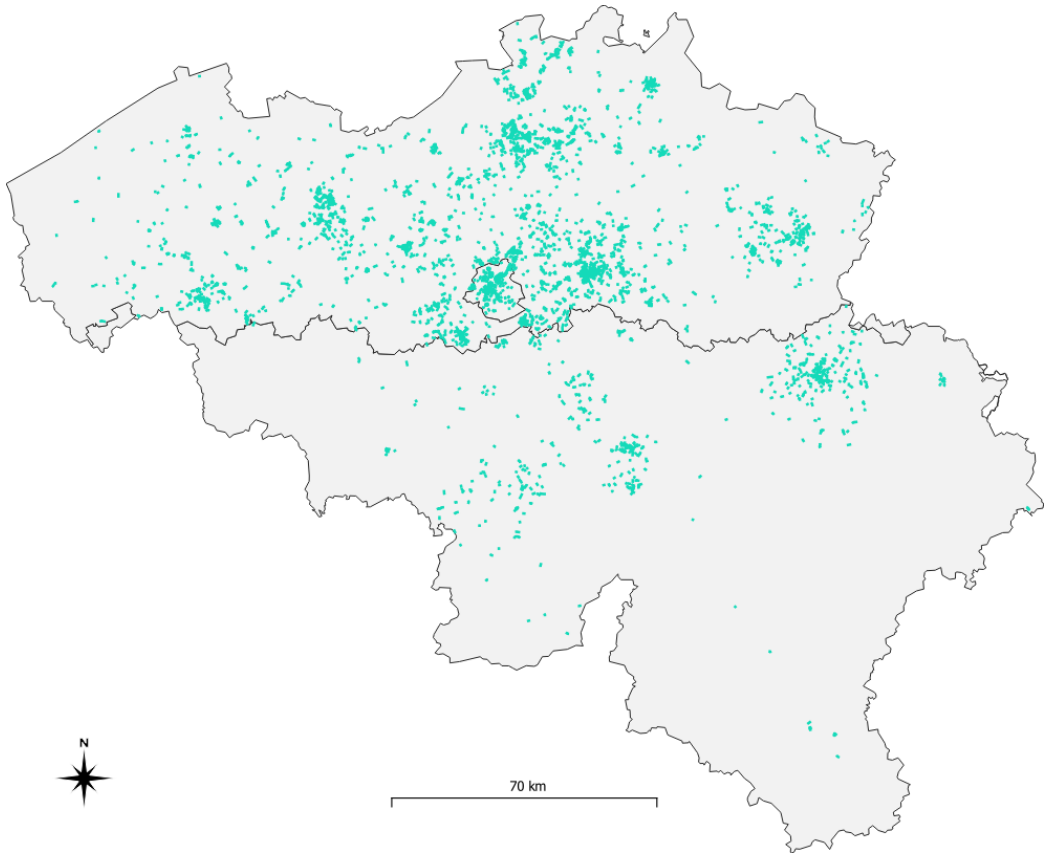


Figure 9 Les 3.684 tronçons Telraam inclus dans l'analyse.

Au cours des dix dernières années, 4.843 accidents corporels impliquant un cycliste se sont produits sur l'ensemble des tronçons Telraam, soit 1,31 accident par tronçon (Tableau 5). Ce nombre tombe à 1,00 lorsqu'on ne considère que les accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Dans environ un cas sur dix, il s'agit d'un accident ayant entraîné des blessures graves ou un décès.

Tableau 5 Description des accidents impliquant un cycliste sur les tronçons Telraam.

Accidents 2015-2024	**Total (N=3684)**
Tous les accidents impliquant un cycliste	Moyenne : 1,31 (ET: 2,56) Total: 4843
Accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé	Moyenne : 1,00 (ET: 2,04) Total: 3688
Accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé avec cycliste grièvement blessé ou décédé	Moyenne : 0,10 (ET: 0,35) Total: 365

La Figure 10 illustre la relation entre les accidents et les intensités de trafic, en prenant la ville d'Alost comme exemple. L'analyse de régression examinera si, et dans quelle mesure, le nombre d'accidents peut être expliqué notamment par l'intensité du trafic cycliste. La figure suggère qu'un plus grand nombre de cyclistes est associé à un plus grand nombre d'accidents, mais elle montre également que cette relation n'est pas parfaitement linéaire.

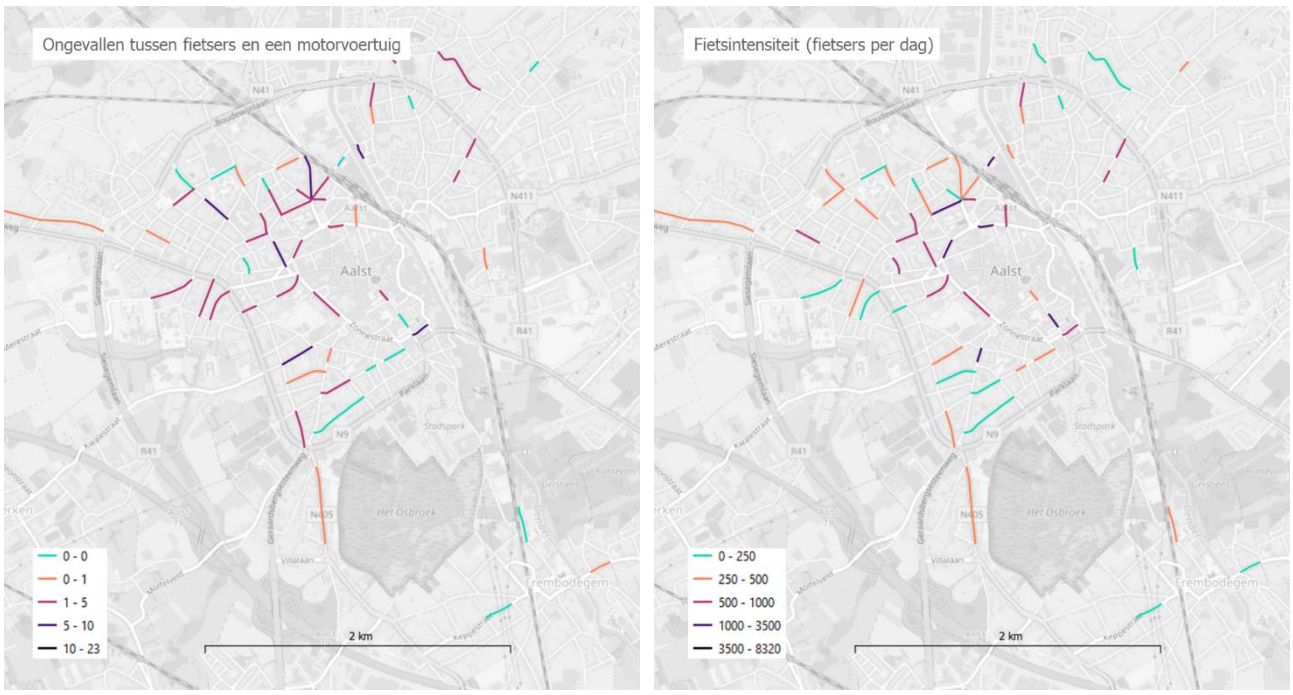


Figure 10 Illustration des tronçons Telraam dans la ville d'Alost. À gauche : nombre d'accidents corporels impliquant un cycliste et un véhicule motorisé par tronçon ; à droite : comptages de cyclistes réalisés par Telraam sur chaque tronçon.

Les relations entre les variables explicatives ont été examinées au moyen d'une matrice de corrélation. Celle-ci fournit une indication de la présence éventuelle d'une multicolinéarité dans l'analyse de régression et a été analysée avant l'estimation des modèles. Les corrélations entre les variables (coefficient r de Pearson) sont illustrées à la Figure 11, où le rouge représente une corrélation positive et le bleu une corrélation négative.

Pour chaque variable dépendante des modèles, le Variance Inflation Factor (VIF) est également calculé afin d'évaluer l'influence potentiellement perturbatrice de la multicolinéarité. Toutes les variables finalement retenues dans les modèles présentent une valeur de VIF inférieure à cinq, ce qui indique tout au plus une multicolinéarité modérée. Cette valeur est généralement interprétée comme indiquant que la multicolinéarité n'est pas suffisamment importante pour compromettre l'interprétation du modèle.

Figure 11 Matrice de corrélation de l'analyse au niveau des tronçons. Avg_motorised = intensité du trafic motorisé ; Avg_bike = intensité du trafic cycliste ; Length_m = longueur du tronçon ; PopDens = densité de population. La transformation logarithmique de chaque variable est également représentée.

4.2.2 Analyse multivariée

4.2.2.1 Modèle de base

Dans le modèle de base, le nombre d'accidents impliquant un cycliste et des véhicules motorisés (somme pour la période 2015 à 2024 incluse) est estimé sur la base du volume de trafic motorisé, du volume de cyclistes et de la longueur du tronçon. Les résultats montrent qu'un doublement du nombre de cyclistes entraîne une augmentation de 74% ($2^{0,797}$) du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé, et non une augmentation de 100% (Figure 12, Tableau 6). Le coefficient associé au volume de cyclistes est statistiquement différent à la fois de 0 et de 1 (niveau de signification : * $p < 0,05$). Cela confirme l'existence d'un effet safety-in-numbers. Une augmentation du nombre de cyclistes entraîne bien une hausse du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé, mais cette hausse est moins que proportionnelle : l'élasticité est inférieure à 1. Le risque pour chaque cycliste diminue donc.

Le modèle montre également que le volume de trafic motorisé n'est pas significatif. Autrement dit, c'est le volume de cyclistes, et non le volume de trafic motorisé, qui détermine le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Une hypothèse est que le nombre de véhicules motorisés est généralement très élevé et que son niveau exact n'est dès lors plus déterminant. Il est également possible qu'il existe une interaction entre le volume de trafic motorisé et la présence d'infrastructures cyclables : lorsque le volume de véhicules motorisés est plus élevé, les cyclistes sont peut-être mieux protégés, de sorte que ce volume n'exerce pas d'effet direct sur le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé.

La longueur du tronçon est en revanche statistiquement significative : les tronçons plus longs enregistrent davantage d'accidents, mais cette augmentation est moins que proportionnelle. Une explication évidente est que les accidents se concentrent aux carrefours (Aldred et al., 2018) ; qu'un tronçon soit long ou court, il comporte presque toujours deux carrefours, à savoir un à son début et un à son extrémité. Les accidents survenus à ces carrefours sont inclus dans le jeu de données. Dans des études antérieures, où les accidents aux carrefours sont parfois exclus, on suppose souvent que le nombre d'accidents augmente linéairement avec la longueur du tronçon (β=1). Dans ce cas, la « longueur » est intégrée au modèle comme variable d'exposition (offset), autrement dit en calculant le nombre d'accidents par mètre de voirie. Cette approche ne constituerait toutefois pas le meilleur choix dans la présente analyse.

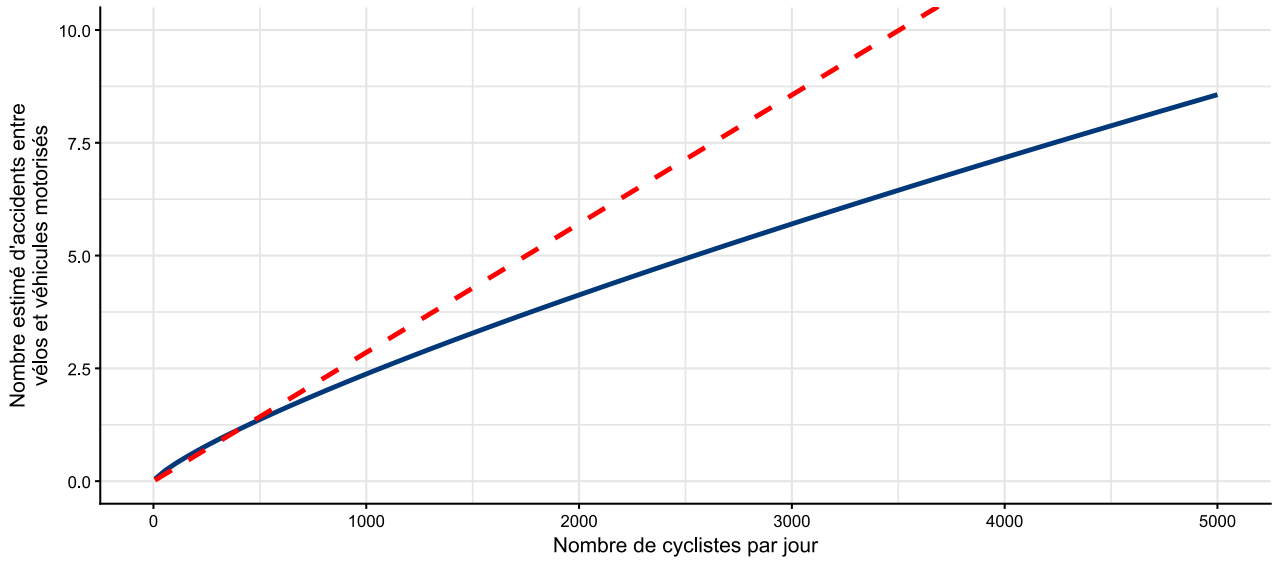


Figure 12 Résultats du modèle de base de safety-in-numbers (ligne bleue). Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne. La ligne rouge en pointillés montre la relation qui serait observée si le nombre d'accidents augmentait proportionnellement au volume de cyclistes (ancrée au volume moyen de cyclistes).

4.2.2.2 Modèle de base portant uniquement sur les accidents graves

Lorsque seuls les accidents mortels et les accidents avec blessés graves sont sélectionnés (au moins un cycliste grièvement ou mortellement blessé), l'effet safety-in-numbers est légèrement plus marqué : un doublement du nombre de cyclistes entraîne une augmentation de 71% ($2^{0,771}$) du nombre d'accidents impliquant un cycliste et des véhicules motorisés (Figure 13, Tableau 6). Dans ce modèle également, le volume de trafic motorisé n'est pas significatif, tandis que la longueur du tronçon l'est.

Le risque de sous-enregistrement est plus faible pour les accidents de cyclistes les plus graves. Par rapport à une analyse portant sur les accidents légers, une analyse fondée uniquement sur les accidents graves repose donc sur un jeu de données plus complet. Ces accidents étant toutefois plus rares, le jeu de données comprend beaucoup plus de tronçons sans aucun accident, ce qui rend le modèle moins stable. Dans la littérature, les résultats concernant l'effet safety-in-numbers selon la gravité des accidents ne sont pas davantage univoques : certaines analyses mettent en évidence un effet plus marqué pour les accidents les plus graves (Meade, 2019 [niveau national] ; Schepers, 2012), tandis que d'autres ne constatent aucune différence (Aldred, 2018 ; Leich, 2011) ou observent un effet plus faible (Meade, 2019 [niveau des tronçons]).

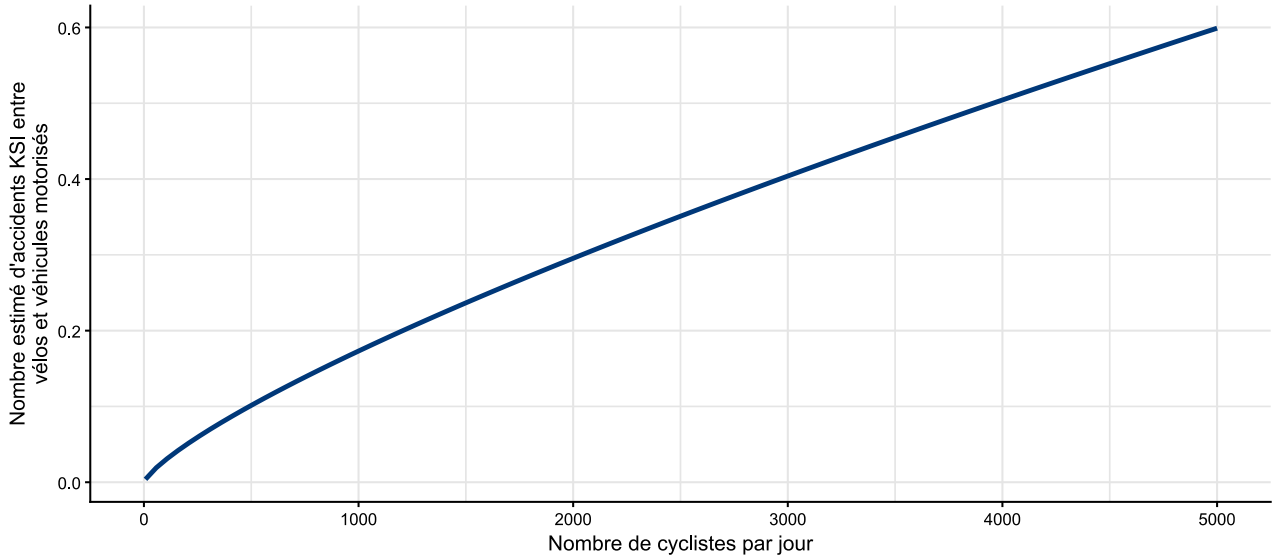


Figure 13 Résultats du modèle de base de safety-in-numbers, portant uniquement sur les accidents graves. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne. KSI = Killed and Seriously Injured.

4.2.2.3 Présence d'infrastructures cyclables

Pour 40% des tronçons Telraam, aucune information n'est disponible concernant la présence de pistes cyclables. La modélisation ne porte donc que sur une sélection (aléatoire) de tronçons pour lesquels les informations sont suffisantes. Le jeu de données comprend 578 tronçons dotés d'infrastructures cyclables (17,5% de pistes cyclables et 82,5% de bandes cyclables/marquages) et 1.618 tronçons dépourvus d'infrastructures cyclables. En moyenne, le nombre de cyclistes est plus élevé sur les tronçons pourvus d'infrastructures cyclables que sur ceux qui en sont dépourvus, avec respectivement 496 et 384 cyclistes par jour.

Le modèle binomial négatif met en évidence un effet d'interaction significatif : le volume de cyclistes et la présence ou l'absence d'infrastructures cyclables exercent conjointement un effet sur le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Cela signifie qu'à volume de cyclistes identique, le nombre attendu d'accidents varie selon la présence ou non d'infrastructures cyclables. Les résultats montrent qu'en présence d'infrastructures cyclables, un doublement du nombre de cyclistes entraîne seulement 35% ($2^{0,432}$) d'accidents supplémentaires impliquant un cycliste et un véhicule motorisé, et non 100% (Figure 14, Tableau 6). En situation de trafic mixte, c'est-à-dire en l'absence d'infrastructures cyclables spécifiques, un doublement du nombre de cyclistes entraîne une augmentation de 75% ($2^{0,432+0,374}$) du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. En l'absence de pistes cyclables, l'effet safety-in-numbers reste donc relativement modeste. À l'inverse, il est nettement plus marqué en présence d'infrastructures cyclables.

Une ventilation plus fine de la variable « infrastructures cyclables » entre pistes cyclables et bandes cyclables/marquages apporte des enseignements supplémentaires. En présence d'une piste cyclable, un doublement du nombre de cyclistes n'entraîne qu'une augmentation de 25% du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé ; en présence d'une bande cyclable ou de marquages, cette augmentation est de 37%. Cela montre que le risque d'accident n'est pas identique pour ces deux types d'infrastructures cyclables.

Une analyse réalisée par Meade (2019) à Édimbourg aboutit à une conclusion comparable en ce qui concerne les infrastructures cyclables : l'effet safety-in-numbers y était principalement observé sur les routes dotées de telles infrastructures. Dans d'autres études, ce type d'analyse n'était pas possible en raison de la présence limitée d'infrastructures cyclables spécifiques (par exemple à Londres : Aldred, 2018).

La Figure 14 montre qu'en présence d'infrastructures cyclables (pour N cyclistes < 3.500), le nombre d'accidents impliquant un cycliste et des véhicules motorisés est plus élevé qu'en l'absence de telles infrastructures, mais que l'effet safety-in-numbers y est plus marqué. Il peut sembler surprenant que des accidents corporels impliquant un cycliste et des véhicules motorisés se produisent également sur des tronçons dotés d'infrastructures cyclables. Toutefois, de nombreux accidents surviennent aux carrefours qui délimitent le tronçon ; même en présence d'infrastructures cyclables, des conflits restent donc possibles. Par ailleurs, certaines publications scientifiques considèrent le trafic mixte comme plus sûr qu'une séparation des usagers de la route ; le contexte est toutefois déterminant, notamment dans les zones urbaines où les vitesses sont faibles et où cet effet est vraisemblablement surtout lié à la réduction de la vitesse. Ces constats montrent que la relation entre les infrastructures cyclables et les accidents impliquant un cycliste n'est pas univoque et qu'elle reste une question ouverte, dans laquelle le contexte spécifique et l'aménagement de l'environnement routier jouent un rôle décisif.

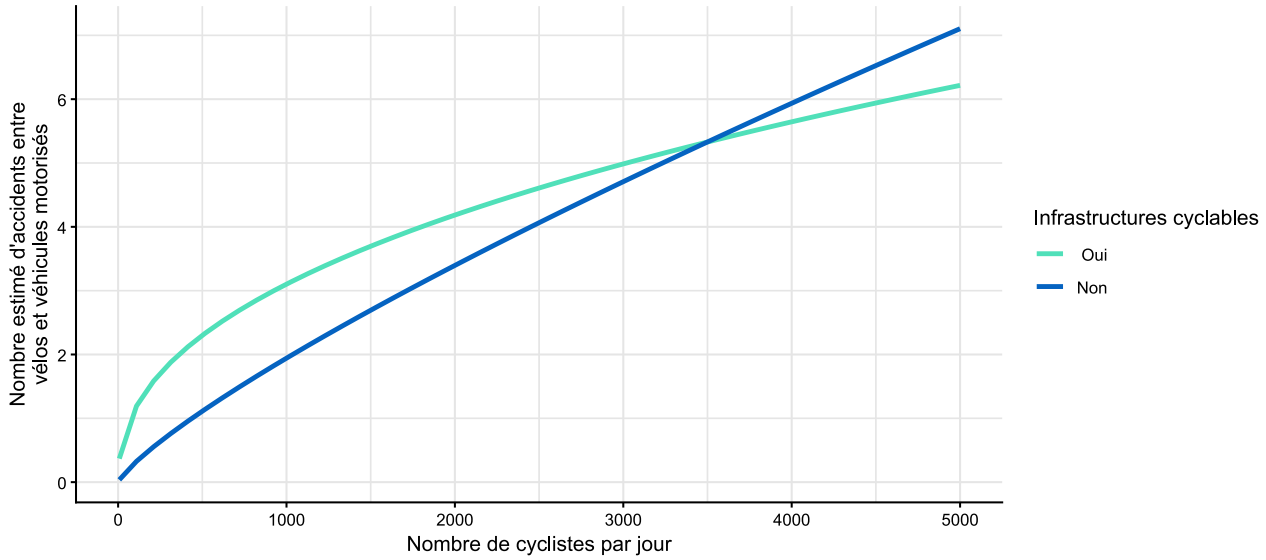


Figure 14 Résultats d'un modèle safety-in-numbers examinant l'incidence des infrastructures cyclables. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne.

4.2.2.4 Modèle intégrant la densité de population

Étant donné qu'une forte densité de population est associée à un usage plus important du vélo, mais qu'elle peut également entraîner davantage d'interactions, l'incidence de la densité de population sur l'effet safety-in-numbers est examinée.

La densité de population au 1er janvier 2025 par secteur statistique en Belgique est reliée géographiquement aux dispositifs Telraam. Lorsqu'un tronçon traverse plusieurs secteurs statistiques, il est attribué au secteur dans lequel se situe la plus grande partie de sa longueur. Les dispositifs Telraam sont ensuite répartis en trois groupes comprenant chacun un tiers des observations : un groupe caractérisé par la densité de population la plus élevée, un groupe présentant une densité moyenne et, enfin, un groupe affichant la densité la plus faible. Les seuils retenus sont de 1.709 habitants par km² et de 4.267 habitants par km².

La modélisation montre qu'en cas de forte densité de population, un doublement du nombre de cyclistes entraîne une augmentation de 37% ($2^{0,868-0,414}$) du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé (Figure 15, Tableau 6). Lorsque la densité de population est moyenne, un doublement du nombre de cyclistes entraîne une augmentation de 58% ($2^{0,868-0,204}$) de ces accidents, contre 82% ($2^{0,868}$) lorsque la densité de population est faible. Un effet safety-in-numbers est donc toujours observé, mais il est plus marqué dans les zones davantage urbanisées, définies ici comme les zones à forte densité de population. Il importe toutefois de souligner que le risque d'accident entre un cycliste et un véhicule motorisé est également le plus élevé dans les zones les plus densément peuplées.

Dans ce modèle, le volume de trafic motorisé est également significatif : une augmentation du trafic motorisé entraîne une hausse du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Dans la Figure 15, les courbes se déplacent respectivement vers le haut ou vers le bas lorsque le volume de trafic motorisé est supérieur ou inférieur à la moyenne. Cet effet reste toutefois limité.

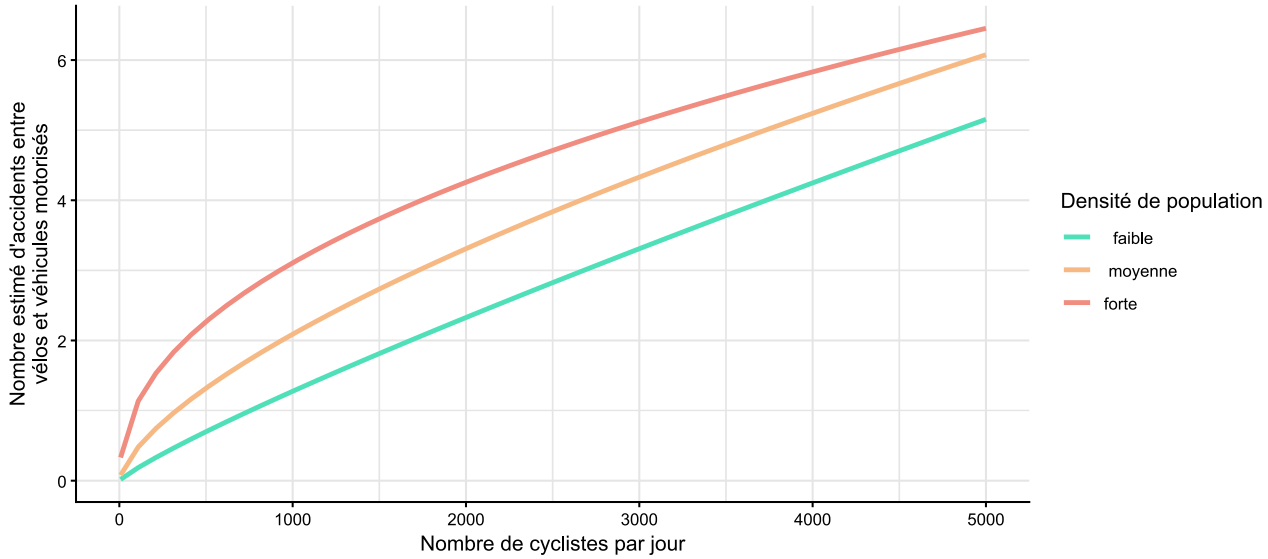


Figure 15 Résultats d'un modèle safety-in-numbers examinant l'incidence de la densité de population. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne.

4.2.2.5 Modèle étendu

Enfin, un modèle est estimé en intégrant simultanément les variables « présence d'infrastructures cyclables » et « densité de population ».

C'est principalement la présence d'infrastructures cyclables qui détermine la forme de la courbe (Figure 16, Tableau 6). En présence d'infrastructures cyclables et dans un contexte de forte densité de population, la courbe est la plus plate, ce qui signifie que, quel que soit le nombre de cyclistes, le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé reste presque constant : un doublement du nombre de cyclistes ne s'accompagne que d'une augmentation de 15% de ces accidents. Un effet safety-in-numbers marqué est également observé dans les zones à densité moyenne ou faible : le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé augmente de 41% lorsque la densité de population est faible et de 21% lorsqu'elle est moyenne, toujours dans l'hypothèse d'un doublement du nombre de cyclistes.

En l'absence d'infrastructures cyclables, l'effet safety-in-numbers est toujours plus faible, mais demeure présent. En cas de doublement du nombre de cyclistes, le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé augmente de 78% dans les zones à faible densité de population, de 53% dans les zones à densité moyenne et de 46% dans les zones à forte densité. En l'absence d'infrastructures cyclables, l'effet safety-in-numbers est donc le plus marqué lorsque la densité de population est élevée.

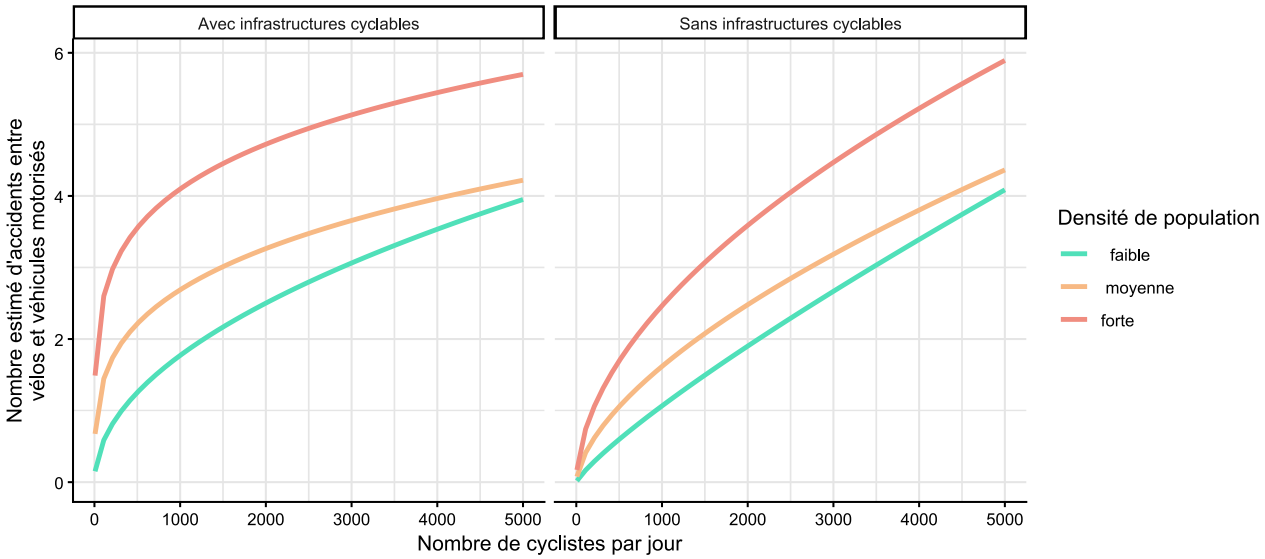


Figure 16 Résultats d'un modèle safety-in-numbers examinant simultanément l'incidence des infrastructures cyclables et de la densité de population. Le volume de trafic motorisé et la longueur du tronçon sont maintenus constants à leur valeur moyenne.

4.2.2.6 Conclusions de l'analyse au niveau des tronçons (Telraam)

L'analyse au niveau des tronçons met clairement en évidence la présence d'un effet safety-in-numbers : dans tous les modèles, le coefficient associé au volume de cyclistes est significatif et inférieur à 1 (Tableau 6). L'effet safety-in-numbers est plus marqué en présence d'infrastructures cyclables et il se renforce également à mesure que la densité de population augmente.

Tableau 6 Résultats des modèles safety-in-numbers (régression binomiale négative), niveau des tronçons.

	Modèle de base	Modèle de base (accidents graves)	Modèle de base + infrastructures cyclables	Modèle de base + densité de population	Modèle de base + infrastructures cyclables + densité de population
Coefficients					
Constante	-6,4209***	-10,2180***	-2,8581***	-9,7194***	-5,6643***
log(Volume de cyclistes)	0,7970***	0,7714***	0,4319***	0,8678***	0,4985***
log(Volume de trafic motorisé)	0,0064	0,0227	-0,0302	0,1168***	0,0512
log(Longueur)	0,3275***	0,5599***	0,2351***	0,5790***	0,4530***
log(Volume de cyclistes) : absence d'infrastructures	/	/	0,3738***	/	0,3364***
log(Volume de cyclistes) : densité de population moyenne	/	/	/	-0,2045*	-0,2183
log(Volume de cyclistes) : forte densité de population	/	/	/	-0,4137***	-0,2934**
Statistiques du modèle					
N	3684	3684	2196	3684	2196
AIC	9210	1793	5806	8912	5647

Remarque : Signification : 0 '***' 0,001 '**' 0,01 '*' 0,05

5 Discussion

5.1 Résumé des principaux résultats

La présente étude met en évidence l'existence d'un effet safety-in-numbers (SiN) en Belgique, et ce à différents niveaux ainsi que pour différents sous-groupes (forte versus faible densité de population, présence versus absence d'infrastructures cyclables). L'ampleur de cet effet varie selon le niveau d'analyse (macro versus micro) et selon les variables explicatives intégrées dans les modèles.

Pour l'analyse au niveau provincial (niveau macro), les données relatives aux accidents ont été couplées aux données de mobilité issues de l'Enquête fédérale du SPF Mobilité et Transports portant sur une année (partiellement chevauchante). Cette analyse montre qu'un doublement du volume de cyclistes s'accompagne d'une augmentation d'environ deux tiers du nombre d'accidents dans le modèle le plus simple. Dans un modèle plus complet (le « modèle final »), contrôlant le volume du trafic automobile et la densité de population, cette augmentation est ramenée à environ la moitié. Le nombre d'accidents augmente donc moins rapidement que le volume de cyclistes, ce qui met en évidence un effet safety-in-numbers. Cet effet est statistiquement significatif.

L'analyse réalisée au niveau des tronçons de voirie (niveau micro) met également en évidence un effet SiN. Cette analyse s'appuie sur un jeu de données unique et particulièrement riche (données Telraam), comprenant des comptages de trafic de longue durée au niveau des tronçons de voirie, couplés aux données d'accidents. Les résultats montrent qu'un doublement du nombre de cyclistes s'accompagne d'environ 74% d'accidents supplémentaires impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. L'effet SiN apparaît en outre plus marqué sur les sites équipés d'infrastructures cyclables (bandes cyclables ou pistes cyclables) ainsi que dans les zones à forte densité de population. En particulier, sur les voiries dotées d'infrastructures cyclables situées dans des zones densément peuplées, un doublement du volume de cyclistes ne s'accompagne que d'une augmentation limitée des accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé, à savoir environ +15%, ce qui témoigne d'un effet SiN très prononcé. Tous les effets SiN mis en évidence sont statistiquement significatifs.

	En cas de doublement (+100%) du nombre de cyclistes…	
Niveau provincial (macro)	**+69%** d'accidents cyclistes–voitures (modèle avec le seul volume de cyclistes) **+68%** d'accidents cyclistes–voitures (modèle avec volume de cyclistes et volume du trafic automobile) **+51%** d'accidents cyclistes–voitures (modèle avec volume de cyclistes, volume du trafic automobile et densité de population)	
Niveau des tronçons (micro)	**+74%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés **+71%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés avec décès ou blessés graves	
	Avec infrastructures cyclables (piste cyclable ou bande cyclable/marquages)	**+35%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Piste cyclable	**+25%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Bande cyclable / marquages	**+37%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Sans infrastructures cyclables	**+75%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Forte densité de population	**+37%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Densité de population moyenne	**+58%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Faible densité de population	**+82%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Avec infrastructures cyclables et forte densité de population	**+15%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Avec infrastructures cyclables et densité de population moyenne	**+21%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés

	Avec infrastructures cyclables et faible densité de population	**+41%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Sans infrastructures cyclables et forte densité de population	**+46%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Sans infrastructures cyclables et densité de population moyenne	**+53%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés
	Sans infrastructures cyclables et faible densité de population	**+78%** d'accidents cyclistes–véhicules motorisés

5.2 Comparaison avec la littérature : ampleur de l'effet et variables explicatives

Ampleur de l'effet SiN

Selon la méta-analyse d'Elvik et Bjørnskau (2017), le coefficient de régression moyen observé pour les cyclistes est de 0,43. Une mise à jour réalisée par Elvik et Goel (2019) rapporte une valeur légèrement inférieure, de 0,40. Ce coefficient implique qu'un doublement du nombre de cyclistes s'accompagne d'une augmentation attendue d'environ 32% du nombre d'accidents.

Cette estimation moyenne de 32% masque toutefois une variabilité considérable. Les coefficients de régression rapportés dans les études reprises dans la méta-analyse – toutes fondées sur des analyses transversales – varient approximativement entre zéro et un. Cela signifie que, dans certaines études, le nombre d'accidents augmente presque proportionnellement au volume de cyclistes (effet SiN faible), tandis que dans d'autres, seule une augmentation limitée est observée (effet SiN fort).

Les différences observées dans l'ampleur des effets SiN sont notamment liées au niveau géographique de l'analyse, selon qu'elle est réalisée au niveau micro (par exemple les carrefours), au niveau méso (par exemple les zones urbaines) ou au niveau macro (par exemple les villes ou les régions). Les méta-analyses montrent que l'effet SiN est généralement plus marqué au niveau macro qu'au niveau micro (Elvik & Bjørnskau, 2017 ; Elvik & Goel, 2019).

Dans notre étude, les effets SiN observés sont, dans l'ensemble, légèrement plus faibles que ceux rapportés par Elvik et Goel (2019). Alors que ces auteurs font état d'une augmentation d'environ 32% du nombre d'accidents en cas de doublement du volume de cyclistes, notre analyse aboutit à une augmentation d'environ 50% dans l'analyse macro (modèle final) et de 74% dans l'analyse micro (modèle de base). Selon le nombre et le type de variables explicatives retenues, les résultats varient toutefois fortement : de 50% à 69% dans l'analyse macro et de 15% à 82% dans l'analyse micro.

Cette variabilité est cohérente avec les résultats de la méta-analyse précitée, qui met également en évidence une forte hétérogénéité en fonction du nombre et du type de variables explicatives ainsi que de l'unité géographique d'analyse. En outre, les effets SiN observés dans notre analyse macro sont légèrement plus marqués que ceux du modèle de base de notre analyse micro. Ce résultat concorde également avec les conclusions des méta-analyses.

Ni les méta-analyses, ni la présente étude ne mettent en évidence un effet de type « hazard-in-numbers ». Autrement dit, le risque auquel est exposé un cycliste individuel ne semble jamais augmenter lorsque le nombre de cyclistes augmente.

Enfin, il convient de rappeler que cette étude repose sur des données transversales, comparant différents lieux au cours d'une même période. Plusieurs auteurs soulignent toutefois que les effets observés dans des analyses transversales ne se retrouvent pas nécessairement dans des analyses longitudinales. Une analyse longitudinale étudie en effet un même lieu à différents moments, ce qui permet d'examiner l'évolution de l'effet SiN dans le temps. Le fait que les zones où le trafic cycliste est important soient plus sûres ne signifie donc pas automatiquement qu'un lieu donné devient plus sûr à mesure que le trafic cycliste y augmente (Aldred, 2017). Aldred a réalisé à la fois une analyse transversale et une analyse longitudinale : il a observé un effet SiN plus marqué dans l'analyse transversale, tout en mettant également en évidence un effet longitudinal significatif. Notre étude, fondée sur un protocole transversal, démontre donc un effet SiN transversal, mais pas nécessairement un effet SiN longitudinal. Les données Telraam, qui permettent aujourd'hui de réaliser une

analyse transversale très fine, ne couvrent pas encore une période suffisamment longue pour permettre une analyse de séries temporelles. Il est dès lors recommandé de poursuivre les recherches sur l'effet longitudinal (voir chapitre 6 « Recommandations »).

Volume du trafic motorisé

Le volume de cyclistes constitue à lui seul un puissant prédicteur du nombre d'accidents impliquant un cycliste. Dans l'analyse provinciale, cette variable explique à elle seule près de 90% de la variance du nombre d'accidents. Ce résultat peut toutefois s'expliquer en partie par la corrélation positive entre le volume de cyclistes et d'autres variables explicatives, telles que le volume du trafic automobile et la densité de population.

En ce qui concerne le trafic motorisé, Elvik et Goel (2019) rapportent un coefficient de régression moyen de 0,40. Cela implique qu'un doublement du volume du trafic motorisé entraîne, en moyenne, une augmentation d'environ 32% du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Dans notre étude, le volume du trafic motorisé ne joue toutefois aucun rôle significatif dans le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Plusieurs explications peuvent être avancées.

Premièrement, le volume du trafic motorisé est peut-être déjà si élevé dans le contexte étudié que les variations supplémentaires n'apportent qu'une faible valeur explicative. Cela suggère que l'effet du trafic motorisé sur le nombre d'accidents pourrait s'atténuer lorsque l'intensité du trafic devient importante, ce qui traduit une relation non linéaire.

Deuxièmement, la relation entre le volume du trafic motorisé et les accidents pourrait être modulée par la présence d'infrastructures cyclables : dans les zones où l'intensité du trafic est plus élevée, des aménagements supplémentaires sont peut-être réalisés afin de mieux protéger les cyclistes (par exemple des infrastructures cyclables séparées ou des limitations de vitesse adaptées), ce qui atténue ou masque l'effet direct du volume de trafic motorisé sur le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Notre analyse de l'effet SiN, ventilée selon le type d'infrastructure (analyse au niveau des tronçons), confirme que certains types d'infrastructures cyclables, tels que les pistes cyclables séparées et les marquages au sol, sont associés à un effet SiN plus marqué que les sites qui en sont dépourvus.

Une dernière explication possible – surtout pertinente pour l'analyse au niveau provincial – est que le volume du trafic automobile varie moins fortement d'une province belge à l'autre que le trafic cycliste. Les modèles statistiques tirent leur pouvoir explicatif des différences entre les observations. Comme l'usage du vélo varie davantage entre les provinces que le volume du trafic automobile, il est plus difficile pour le modèle d'identifier un effet propre au trafic automobile, ce qui explique que cette variable n'apparaisse pas comme un facteur significatif dans les modèles.

Variables explicatives autres que le nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé

Outre le volume de cyclistes et le volume du trafic motorisé, deux variables explicatives supplémentaires sont prises en compte dans l'estimation du nombre d'accidents impliquant un cycliste : la densité de population et les infrastructures cyclables.

La densité de population n'occupe qu'une place limitée dans la littérature consacrée à l'effet SiN. Une explication possible est que, dans de nombreux pays – en particulier en dehors des zones urbaines et des centres de villages –, les volumes de trafic cycliste restent relativement faibles. La variation ou le niveau d'exposition sont alors souvent insuffisants pour estimer de manière fiable des modèles SiN. En Belgique, les volumes de trafic cycliste sont généralement plus élevés, y compris en dehors des villes et des centres de villages, ce qui permet d'analyser statistiquement l'interaction entre le volume de cyclistes, la densité de population et les accidents. Cela confère à notre étude une valeur ajoutée évidente par rapport à la littérature existante.

Dans les zones densément peuplées, le nombre d'accidents impliquant un cycliste est plus élevé que dans les zones peu peuplées. Ce résultat peut s'expliquer par le fait que les zones densément peuplées présentent un réseau routier plus dense, un plus grand nombre de carrefours, une intensité de trafic plus élevée et davantage d'interactions entre les usagers de la route. Tous ces éléments augmentent la probabilité de conflits potentiels.

Tant dans l'analyse micro que dans l'analyse macro, nous observons que l'effet safety-in-numbers se renforce lorsque la densité de population augmente. Cela peut s'expliquer par le fait que la densité de population agit comme un facteur de confusion (*confounder*) dans la relation entre le volume de cyclistes et les accidents.

Lorsque cette variable n'est pas intégrée au modèle, une partie de son effet est attribuée au volume de cyclistes, ce qui peut conduire à une sous-estimation ou à un masquage de l'effet safety-in-numbers. En contrôlant l'effet de la densité de population dans la modélisation, ce phénomène de masquage disparaît et l'effet safety-in-numbers apparaît plus marqué.

Certaines caractéristiques des sources de données utilisées peuvent également contribuer à l'effet SiN plus marqué observé dans les zones densément peuplées. Ainsi, les navetteurs se rendant à vélo vers les villes sont comptabilisés dans le nombre d'accidents impliquant un cycliste, mais pas dans la densité de population ni dans le nombre de kilomètres parcourus à vélo, ce qui influence le risque calculé pour les villes par rapport aux zones non urbaines. En outre, le sous-enregistrement des accidents impliquant un cycliste peut jouer un rôle, dans la mesure où les zones urbanisées connaissent proportionnellement davantage d'accidents légers, lesquels sont moins souvent enregistrés. Cela peut renforcer l'effet SiN observé en milieu urbain.

L'analyse micro montre en outre que l'effet SiN est particulièrement marqué sur les voiries équipées d'infrastructures cyclables dans les zones urbanisées. Dans de tels contextes, un doublement du nombre de cyclistes n'entraîne qu'une augmentation d'environ 15% du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé, contre environ 46% dans les situations de trafic mixte sans infrastructures cyclables. La combinaison d'aménagements cyclables et d'un environnement urbain est donc associée à un nombre relativement faible d'accidents supplémentaires par cycliste additionnel.

Les sources de données utilisées ne permettent pas de tester empiriquement le rôle des différentes explications potentielles de l'effet SiN (voir chapitre 2.3). Il n'est par exemple pas possible de déterminer dans quelle mesure la familiarisation des automobilistes avec les environnements où la présence de cyclistes est importante, ainsi que les adaptations du comportement de conduite qui en découlent, contribuent à l'effet observé. L'étude montre toutefois que l'effet SiN est nettement plus marqué sur les voiries équipées d'infrastructures cyclables que sur celles qui en sont dépourvues. Ce constat ne suffit cependant pas à confirmer l'hypothèse du numbers-in-safety, selon laquelle ce sont des infrastructures sûres qui attirent davantage de cyclistes, plutôt qu'un nombre plus élevé de cyclistes qui améliore la sécurité. Il demeure en effet impossible de déterminer si les infrastructures cyclables attirent les cyclistes ou si les décideurs publics investissent prioritairement dans ces infrastructures sur les sites déjà fortement fréquentés par les cyclistes. La présente étude ne permet donc pas de confirmer l'existence d'un effet numbers-in-safety, mais ses résultats sont compatibles avec cette hypothèse.

Le lien observé entre la densité de population et l'effet SiN peut également indiquer que la congestion du trafic joue un rôle. Selon cette hypothèse, un volume élevé de cyclistes et de véhicules motorisés pourrait produire un effet mécanique de sécurité par la réduction des vitesses. Cette explication ne peut pas non plus être testée directement à l'aide des données disponibles. Les résultats semblent toutefois aller dans ce sens.

5.3 Limites de l'étude

Analyse au niveau provincial

La principale limite de l'analyse au niveau provincial réside dans la taille réduite de l'échantillon (les dix provinces belges et la Région de Bruxelles-Capitale). Cette limitation est inhérente à la structure institutionnelle de la Belgique et ne peut donc être évitée. Un jeu de données de cette taille comporte un risque de surapprentissage, qui est toutefois partiellement contrôlé en évaluant les performances prédictives *out-of-sample* au moyen de la validation croisée LOOCV (*leave-one-out cross-validation*) (voir le chapitre 4.1.2.1 pour une explication plus détaillée).

La taille limitée de l'échantillon se traduit par des intervalles de confiance relativement larges autour des coefficients estimés. C'est pourquoi les résultats sont présentés sous une forme arrondie : un doublement du volume de cyclistes entraîne une augmentation du nombre d'accidents d'environ deux tiers dans le modèle le plus simple et d'environ la moitié dans le modèle le plus complet.

Une autre limite réside dans la faible variation du nombre de kilomètres parcourus à vélo par personne et par jour entre, d'une part, les provinces flamandes et, d'autre part, les provinces wallonnes. Cette faible variabilité réduit la puissance statistique de la modélisation.

Analyse au niveau des tronçons

Une limite importante de l'analyse au niveau micro est que les données relatives aux accidents couvrant une période de dix ans (2015-2024) sont couplées à des comptages de trafic portant uniquement sur une année. De plus, ces comptages n'ont pas été réalisés simultanément, ce qui constitue une limitation méthodologique supplémentaire. Cela implique que les évolutions de l'usage du vélo et des infrastructures au cours de cette période ne sont pas explicitement prises en compte dans l'analyse. Or, en Flandre, l'usage du vélo a fortement augmenté ces dernières années, avec une hausse d'environ 69% des kilomètres parcourus à vélo sur une période de sept ans (Baert & Lauwers, 2025).

Par ailleurs, les tronçons étudiés ne sont pas entièrement représentatifs de l'ensemble des voiries belges, dans la mesure où les dispositifs Telraam ne sont pas installés de manière aléatoire et où les voiries limitées à 30 km/h et 50 km/h sont surreprésentées. Il est également possible que les dispositifs Telraam soient plus souvent installés sur des sites où des préoccupations existent déjà en matière de sécurité routière.

En outre, dans les données Telraam, la catégorie « cyclistes » englobe en réalité l'ensemble des deux-roues, ce qui ne permet pas de distinguer les différents types de véhicules, tels que les vélos, les motos ou les cyclomoteurs. Leur position sur la chaussée pouvant différer, il est probable que leur effet safety-in-numbers respectif diffère également. En Allemagne, Leich et al. (2011) ont réalisé une analyse comparable à partir des données Eco-counter : cette base de données fournit des comptages précis portant exclusivement sur les cyclistes dans 997 sites, mais ne comporte pas de données sur le trafic motorisé.

Le choix d'inclure les accidents survenant aux carrefours qui délimitent les tronçons est délibéré. Nous estimons que l'intensité du trafic sur une branche d'un carrefour influence effectivement le nombre d'accidents qui s'y produisent. La relation entre l'intensité du trafic et le nombre d'accidents sur un tronçon de voirie pourrait toutefois être plus forte si les accidents aux carrefours étaient exclus. Cette approche présenterait cependant l'inconvénient d'augmenter fortement le nombre de sites sans accident dans le jeu de données, ce qui compliquerait l'estimation des modèles. Une interaction avec la présence d'infrastructures cyclables est également possible : en présence de pistes cyclables, les cyclistes apparaissent parfois « soudainement » au carrefour, ce qui peut surprendre les conducteurs de véhicules motorisés. Il est donc possible que davantage d'accidents se produisent aux carrefours lorsque des infrastructures cyclables sont présentes que lorsqu'elles sont absentes. Exclure les accidents survenus aux carrefours de la modélisation conduirait probablement à mettre en évidence des avantages encore plus importants en matière de sécurité (et donc un effet SiN encore plus marqué) sur les tronçons équipés d'infrastructures cyclables par rapport aux tronçons qui en sont dépourvus.

Enfin, les imprécisions éventuelles des coordonnées x/y des accidents dans la base de données policière peuvent introduire du bruit dans le couplage entre les accidents et les tronçons de voirie. Il est possible qu'un accident soit attribué, à tort, ou non attribué à un tronçon Telraam, ce qui peut affecter la précision de l'estimation du nombre d'accidents.

Les deux analyses

Tant pour l'analyse au niveau micro que pour celle au niveau macro, les informations relatives au nombre d'accidents reposent sur les enregistrements de la police. Ces données sont sujettes à un sous-enregistrement qui concerne tous les usagers de la route, mais qui est particulièrement marqué pour les cyclistes, en particulier pour les accidents légers et les accidents unilatéraux impliquant un cycliste. Une étude de Vandenbulcke-Plasschaert (2011) consacrée aux accidents de cyclistes en Région de Bruxelles-Capitale montre en outre que le taux d'enregistrement est plus faible dans les zones où la limitation de vitesse est de 30 km/h ainsi que dans les endroits où des mesures de modération de la circulation sont en vigueur. Comme il s'agit souvent également de lieux où le trafic cycliste est relativement important, il est possible que le sous-enregistrement renforce en partie l'effet SiN observé. Meade (2019) suggère également, dans le contexte écossais, que le sous-enregistrement pourrait conduire à un effet SiN artificiellement plus marqué.

À l'heure actuelle, il n'existe en Belgique aucune base de données combinant à la fois des informations géographiques détaillées et des données complètes sur les accidents impliquant un cycliste. Ces informations ne sont pas davantage disponibles dans les données médicales gérées par le SPF Santé publique. Il n'est donc pas encore possible d'analyser l'effet SiN indépendamment de l'impact du sous-enregistrement. Cette limitation ne remet toutefois pas en cause les tendances observées, mais elle invite à la prudence dans l'interprétation des mécanismes sous-jacents.

5.4 Pistes de recherche futures

Une piste de recherche intéressante consiste à élargir l'analyse à d'autres types d'accidents et à d'autres modes de transport.

Premièrement, en ce qui concerne les autres types d'accidents, la présente étude s'est limitée aux accidents impliquant un cycliste et des véhicules motorisés. Idéalement, une analyse complète de la relation entre le volume de cyclistes et le risque lié à la pratique du vélo devrait également tenir compte de la fréquence des accidents unilatéraux de cyclistes ainsi que des collisions entre cyclistes. Étant donné que le concept de safety-in-numbers renvoie aux effets protecteurs d'une forte présence de cyclistes sur la sécurité du cycliste individuel lors des interactions avec le trafic motorisé, notre analyse s'est moins intéressée aux accidents n'impliquant pas de véhicules motorisés. Toutefois, lorsqu'il s'agit d'évaluer l'impact d'un éventuel report modal, par exemple du déplacement en voiture vers le vélo, il convient également de prendre en compte les accidents unilatéraux de cyclistes ainsi que les collisions entre cyclistes.

Selon Baert et Lauwers (2025), « les collisions entre cyclistes […] sont presque aussi importantes pour la sécurité des cyclistes que les accidents impliquant un cycliste et une voiture. Avec l'augmentation du nombre de cyclistes, davantage d'espace doit leur être consacré afin de réduire les interactions avec le trafic motorisé. Les recommandations destinées aux gestionnaires de voirie doivent tenir compte de cette évolution. Les infrastructures doivent être conçues dans une perspective durable. » Cette observation souligne l'importance d'une analyse globale des risques d'accident auxquels sont exposés les cyclistes, en tenant compte de l'ensemble des partenaires de collision potentiels et pas uniquement des véhicules motorisés. Les collisions entre cyclistes constituent à cet égard une cause d'accident encore peu étudiée, qui mérite d'être approfondie dans de futures recherches.

Deuxièmement, en ce qui concerne les autres modes de transport, il serait intéressant de réaliser des analyses comparables pour les voitures particulières, les deux-roues motorisés et les piétons. À cet égard, on peut se référer à la loi de Smeed de 1949, selon laquelle le nombre de tués sur les routes augmente moins que proportionnellement au degré de motorisation. Cela suggère que des mécanismes comparables à l'effet safety-in-numbers pourraient également exister pour d'autres catégories d'usagers de la route que les cyclistes.

Dans la mesure où la littérature décrit toujours le safety-in-numbers comme un phénomène descriptif et corrélationnel, il est recommandé de poursuivre les recherches sur le rôle causal éventuel des attentes des usagers de la route en fonction des volumes de trafic, sur le rôle spécifique des infrastructures, sur l'influence du sentiment de sécurité et de la sécurité objective dans le choix des modes de déplacement, sur le rôle éventuel de l'évolution du profil des cyclistes lorsque leur nombre augmente, sur les effets protecteurs potentiels du déplacement à vélo en groupe ainsi que sur d'autres facteurs susceptibles de contribuer aux effets safety-in-numbers.

Enfin, il est recommandé de mener des recherches supplémentaires sur un effet safety-in-numbers longitudinal, c'est-à-dire dépendant du temps, afin de déterminer si une augmentation du volume de cyclistes sur un même site s'accompagne effectivement d'une diminution du risque, tout en tenant compte autant que possible des relations causales potentielles, en particulier des modifications apportées aux infrastructures.

6 Recommandations

Le safety-in-numbers constitue un constat purement statistique d'une relation moins que proportionnelle entre le volume de cyclistes et la sécurité des cyclistes. Ni la littérature ni la présente étude ne permettent de déterminer la nature du lien entre ces deux éléments. Cela signifie que trois mécanismes peuvent être à l'œuvre :

- Une augmentation de la pratique du vélo entraîne une amélioration de la sécurité (par exemple, parce qu'un nombre plus élevé de cyclistes conduit à davantage d'investissements dans les infrastructures cyclables ou à une meilleure anticipation de la part des automobilistes)
- Une amélioration de la sécurité entraîne une augmentation de la pratique du vélo (les cyclistes privilégient peut-être les infrastructures sûres et, lorsque celles-ci deviennent plus sûres, le choix du vélo peut devenir plus attrayant)
- Des facteurs tiers influencent à la fois le volume de cyclistes et leur sécurité (degré d'urbanisation, densité, etc.)

L'existence d'un effet safety-in-numbers ne peut donc pas être invoquée pour justifier l'absence de nouveaux investissements dans l'amélioration de la sécurité routière. Outre la recommandation générale de continuer à investir dans la sécurité des cyclistes afin de maximiser les effets positifs du vélo sur la santé, nous formulons ci-dessous plusieurs recommandations découlant directement de cette étude.

Mesures

L'analyse des données Telraam met en évidence un effet SiN plus marqué sur les voiries équipées d'infrastructures cyclables que sur celles qui en sont dépourvues, ainsi que dans les zones densément peuplées par rapport aux zones peu peuplées. Dans les zones densément peuplées dotées d'infrastructures cyclables, un doublement du nombre de cyclistes ne s'accompagne que d'une augmentation d'environ 15% du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Tous sites confondus, cette augmentation est d'environ 74%.

Ces résultats suggèrent que les cyclistes supplémentaires peuvent être accueillis dans des conditions relativement plus sûres sur les itinéraires dotés d'infrastructures cyclables et dans les environnements urbains. Lorsque les pouvoirs publics souhaitent encourager la pratique du vélo, l'arrivée d'un cycliste supplémentaire sur un itinéraire équipé d'infrastructures cyclables (pistes ou bandes cyclables) entraînera donc une augmentation moins importante du nombre d'accidents que si ce nouveau cycliste emprunte un itinéraire qui en est dépourvu. De même, l'arrivée d'un cycliste supplémentaire en milieu urbain entraînera une hausse moins marquée du nombre d'accidents impliquant un cycliste et un véhicule motorisé. Les politiques publiques peuvent en tenir compte en orientant activement les cyclistes vers des infrastructures cyclables spécifiques, telles que les autoroutes cyclables ou les voies cyclables séparées, en particulier à court terme, même si cela les oblige à parcourir une distance légèrement plus longue. À plus long terme, il convient d'aménager, partout où cela est possible, des infrastructures cyclables sûres offrant les itinéraires les plus directs possibles. Lorsque l'espace est limité, il est préférable de faire supporter le détour aux automobilistes.

Le fait que des accidents impliquant un cycliste et des véhicules motorisés continuent de se produire même en présence d'infrastructures cyclables peut éventuellement s'expliquer par le fait qu'ils surviennent principalement aux extrémités des tronçons de voirie Telraam, c'est-à-dire aux carrefours. Nous recommandons dès lors de miser sur la sécurisation des carrefours, par exemple au moyen de feux de circulation sans conflits, ainsi que sur des transitions sûres entre les pistes cyclables et les zones de trafic mixte, afin de réduire le nombre d'accidents aux carrefours.

Même indépendamment de l'effet SiN, l'aménagement d'infrastructures cyclables sûres et de qualité reste une condition essentielle pour garantir la sécurité des déplacements à vélo. Cela implique non seulement de séparer autant que possible, tant dans l'espace que dans le temps, le trafic motorisé du trafic non motorisé, mais également de maîtriser la vitesse du trafic motorisé conformément aux principes d'un *Safe System* ou de la Vision Zéro (Nieuwkamp & Schoeters, 2018 ; Slootmans et al., 2024 ; Wegman & Schepers, 2024). Il est particulièrement important d'aménager des infrastructures cyclables, de préférence séparées de la chaussée, dans les lieux où le volume de cyclistes est élevé ou est appelé à le devenir. Lorsque de telles infrastructures font défaut ou ne peuvent être aménagées, une gestion cohérente des vitesses doit être mise en œuvre, en limitant la vitesse sur les voiries à usage mixte empruntées à la fois par les cyclistes et les véhicules motorisés à un niveau réduisant au minimum le risque de lésions permanentes pour le cycliste en cas de collision.

Outre les mesures d'infrastructure, des mesures axées sur les comportements peuvent également contribuer à améliorer la sécurité routière des cyclistes, notamment celles qui renforcent l'attention mutuelle entre les usagers de la route, par exemple au moyen de la formation à la conduite et de campagnes de sécurité routière sensibilisant notamment les cyclistes aux facteurs contextuels qui augmentent le risque d'accident, tels que la conduite sous l'influence de substances. La technologie, comme les systèmes d'aide à la conduite, et une conception réfléchie des véhicules peuvent également contribuer à prévenir les collisions et à en limiter les conséquences pour les usagers concernés (cf. Slootmans, 2026, pour un aperçu). Une application cohérente et visible des règles de circulation auprès des conducteurs et des cyclistes, par exemple au moyen de contrôles portant sur les véhicules, l'alcool, la vitesse et les distractions, constitue également une condition importante pour encourager des comportements sûrs et renforcer l'efficacité des autres mesures de sécurité routière. En résumé, tous les éléments d'une approche *Safe System* doivent être mobilisés afin de parvenir à terme à zéro tué et zéro blessé dans la circulation (European Commission, 2022). Comme le soulignent Wegman et Schepers (2024), sur la base d'une analyse des possibilités de mettre en œuvre une politique Vision Zéro à l'égard des cyclistes aux Pays-Bas, cet objectif constitue un défi particulier. Il est essentiel de poursuivre les investissements dans des infrastructures routières et cyclables sûres, dans des véhicules sûrs (tant les véhicules motorisés que les vélos eux-mêmes), dans des usagers de la route compétents et aptes à participer à la circulation, tout en accordant une attention particulière au respect de vitesses sûres et au déploiement des technologies lorsque celles-ci peuvent contribuer à améliorer la sécurité.

Encourager la pratique du vélo ?

L'effet safety-in-numbers peut être considéré comme un indicateur de la capacité d'un système de transport à absorber en toute sécurité un volume supplémentaire de trafic cycliste. Il ne peut toutefois pas être interprété comme un mécanisme par lequel une augmentation du nombre de cyclistes entraînerait automatiquement des conditions plus sûres. Les décideurs publics ne peuvent donc pas attendre une augmentation spontanée de la pratique du vélo avant de prendre des mesures visant à la rendre plus sûre. L'effet SiN résulte probablement en partie d'une adaptation du comportement des conducteurs (par exemple sous l'effet de campagnes de sensibilisation ou d'une meilleure anticipation de la présence de cyclistes), mais aussi d'investissements dans des infrastructures cyclables sûres et dans des mesures de sécurité routière. Il peut dès lors être renforcé par des politiques publiques appropriées, sans toutefois pouvoir s'y substituer.

En outre, l'effet safety-in-numbers implique que, même si le nombre d'accidents augmente de manière moins que proportionnelle lorsque le volume de cyclistes progresse, le nombre absolu d'accidents impliquant un cycliste continue néanmoins d'augmenter. La présente étude s'est par ailleurs limitée aux collisions entre cyclistes et véhicules motorisés. Les accidents unilatéraux impliquant un cycliste et les collisions entre cyclistes n'ont pas été pris en compte. La littérature met également en évidence des effets SiN pour les accidents unilatéraux impliquant un cycliste (Schepers, 2012), mais le nombre de ces accidents continue lui aussi d'augmenter à mesure que la pratique du vélo progresse. Pour atteindre à terme l'objectif de zéro mort et zéro blessé grave dans la circulation, il ne suffira donc pas de compter passivement sur les effets SiN.

Le débat sur la promotion du vélo ne peut être abordé sous le seul angle de la sécurité routière. Il ne peut être mené de manière pertinente qu'en mettant également en balance les autres coûts et bénéfices sociétaux associés aux différents modes de transport. Étant donné que le vélo obtient de meilleurs résultats que les véhicules motorisés en matière de qualité du cadre de vie, d'empreinte écologique et de bénéfices globaux pour la santé, ces aspects doivent eux aussi être pris en considération. Ainsi, Bouwen et al. (2022) ont montré que la pratique du vélo permet d'économiser chaque année 8,44 milliards d'euros en Belgique en termes de coûts sociétaux, grâce à ses effets bénéfiques nets sur la santé et à la réduction des émissions de CO_2. Il convient dès lors d'encourager l'usage du vélo, les bénéfices pour la société étant d'autant plus importants que les accidents et les victimes sont réduits au minimum.

Références

Aldred, R., Goel, R., Woodcock, J., & Goodman, A. (2017). Contextualising Safety in Numbers: A longitudinal investigation into change in cycling safety in Britain, 1991-2001 and 2001-2011. Injury Prevention, 25(3), 236–241. https://doi.org/10.1136/injuryprev-2017-042498

Aldred, R., Goodman, A., Gulliver, J., & Woodcock, J. (2018). Cycling injury risk in London: A case-control study exploring the impact of cycle volumes, motor vehicle volumes, and road characteristics including speed limits. Accident Analysis and Prevention, 117, 75–84. https://doi.org/10.1016/j.aap.2018.03.003

Baert, W. & Lauwers, D. (2025). Zijn fietsers bedreigd? Evolutie van het fietsrisico in Vlaanderen. Retrieved from https://assets.vlaanderen.be/raw/upload/v1740128890/repositories-prd/Wout_Baert_en_Dirk_Lauwers_neplkx.pptx

Bouwen, L., Dons, E. & Schoeters, A. (2022). L'impact du vélo sur la santé, le climat et l'économie en Belgique – Revue de la littérature et analyse coût-avantage d'une augmentation de l'utilisation du vélo en Belgique, Bruxelles: Institut Vias

Castro, A., Kahlmeier, S., & Gotschi, T. (2018). Corporate Partnership Board CPB Exposure-Adjusted Road Fatality Rates for Cycling and Walking in European Countries Discussion Paper. www.itf-oecd.org

Elvik, R. (2014). Towards a general theory of the relationship between exposure and risk.

Elvik, R., & Bjørnskau, T. (2017). Safety-in-numbers: A systematic review and meta-analysis of evidence. Safety Science, 92, 274–282. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2015.07.017

Elvik, R., & Goel, R. (2019). Safety-in-numbers: An updated meta-analysis of estimates. Accident Analysis and Prevention, 129, 136–147. https://doi.org/10.1016/j.aap.2019.05.019

European Commission (2025) Facts and Figures Cyclists. European Road Safety Observatory. Brussels, European Commission, Directorate General for Transport

European Commission (2022) Road Safety Thematic Report – Safe System Approach. European Road Safety Observatory. Brussels, European Commission, Directorate General for Transport.

FOD Mobiliteit en Vervoer. (2025). Federale enquête over de mobiliteit in België.

Heydari, S., & Elvik, R. (2023). Further compelling evidence for safety-in-numbers: It is more than meets the eye. Accident Analysis and Prevention, 179. https://doi.org/10.1016/j.aap.2022.106902

Jacobsen, P. L. (2003). Safety in numbers: More walkers and bicyclists, safer walking and bicycling. Injury Prevention, 9(3), 205–209. https://doi.org/10.1136/ip.9.3.205

Johnsson, C., Laureshyn, A., Dágostino, C., & De Ceunynck, T. (2021). The 'safety in density' effect for cyclists and motor vehicles in Scandinavia: An observational study. IATSS Research, 45(2), 169–175. https://doi.org/10.1016/j.iatssr.2020.08.003

Kröyer, H. R. G. (2015). Accidents between pedestrians, bicyclists and motorized vehicles: Accident risk and injury severity.

Lammar P. (2006) Haalbaarheidsstudie voor de correctie van de ongevallengegevens. Diepenbeek, Steunpunt Verkeersveiligheid

Leich, A., Nippold, R., Calvin, L., Tcheumadjeu, T., & Wagner, P. (2011). Analyzing and Evaluating Safety in Numbers for Cyclists in a Large Dataset.

Meade, M. S. (2019). Modelling and Analysing Cyclist Road Safety Performance in Scotland: a Safety in Numbers perspective.

Nieuwkamp, R. & Schoeters, A. (2018). Themadossier Verkeersveiligheid nr. 2. Fietsers. Brussel, België: Vias institute – Kenniscentrum Verkeersveiligheid

Nuyttens, N. (2013) Onderregistratie van verkeersslachtoffers. Vergelijking van de gegevens over zwaargewonde verkeersslachtoffers in de ziekenhuizen met deze in de nationale ongevallenstatistieken.

Oppe. (1991). Oppe 1991 Macroscopische modellen voor verkeer en veiligheid. SWOV.

Peduzzi P., Concato J., Kemper E., Holford T.R. & Feinstein A.R. (1996). A simulation study of the number of events per variable in logistic regression analysis.

Prato, C. G., Kaplan, S., Rasmussen, T. K., & Hels, T. (2014). Infrastructure and spatial effects on the frequency of cyclist-motorist collisions in the Copenhagen region. www.trafikdage.dk/artikelarkiv

Schepers, J. P., & Heinen, E. (2013). How does a modal shift from short car trips to cycling affect road safety? Accident Analysis and Prevention, 50, 1118–1127. https://doi.org/10.1016/j.aap.2012.09.004

Schepers, P. (2012). Does more cycling also reduce the risk of single-bicycle crashes? *Injury Prevention*, *18*(4), 240–245. https://doi.org/10.1136/injuryprev-2011-040097

Slootmans, F., Vervoort, M., Temmerman, P., Vandael Schreurs, K. & Denivelle, J. (2024). Diepteonderzoek fietsongevallen – Diepteonderzoek naar de oorzaken van ernstige ongevallen met fietsers in Vlaanderen , Brussel: Vias institute

Slootmans, F. (2026). Factsheet – Risicofactoren, ongevalsoorzaken en factoren die de ernst van een ongeval beïnvloeden, Brussel: Vias institute

Vandenbulcke-Plasschaert, G. (2011). Spatial analysis of bicycle use and accident risks for cyclists.

Wardenier, J. (2026). Query op de ESRA 2023-dataset [Niet-gepubliceerde data-analyse].

Wegman, F., & Schepers, P. (2024). Safe System approach for cyclists in the Netherlands: Towards zero fatalities and serious injuries? Accident Analysis & Prevention, 195, 107396. https://doi.org/10.1016/j.aap.2023.107396

Vias institute

Chaussée de Haecht 1405
1130 Bruxelles

+32 2 244 15 11

info@vias.be

www.vias.be