



Rapport n° 2021-R-20-FR

Interactions dans les zones piétonnes

Enquête sur les interactions entre les conducteurs et les piétons dans les zones piétonnes



SERVICE PUBLIC FÉDÉRAL
MOBILITÉ ET TRANSPORTS



Interactions dans les zones piétonnes

Enquête sur les interactions entre les conducteurs et les piétons dans les zones piétonnes

Rapport n° 2021-R-20-FR

Auteurs : Heike Martensen, Philip Temmerman & Brecht Pelssers

Éditeur responsable : Karin Genoe

Éditeur : Institut Vias – Centre de connaissance Sécurité Routière

Date de publication : 31/03/2021

Dépôt légal : D/2021/0779/95

Veuillez référer au document de la manière suivante : Martensen, H., Temmerman, P., & Pelssers, B. (2021) Interactions dans les zones piétonnes – Enquête sur les interactions entre les conducteurs et les piétons dans les zones piétonnes, Bruxelles, Belgique : Institut Vias – Centre de connaissance Sécurité Routière

This report includes a summary in English.

Cette étude a été rendue possible grâce au soutien financier du Service Public Fédéral Mobilité et Transports.

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier les villes de Bruxelles, Louvain et Ottignies-Louvain-la-Neuve, ainsi que les zones de police de Bruxelles-Capitale Ixelles, Louvain et Ottignies-Louvain-la-Neuve pour leur collaboration spontanée. Cette recherche a été rendue possible par leur autorisation de placer nos caméras sur leur territoire.

Relecture : Dr Tim De Ceunynck (LRM, Belgique).

Table des matières

Liste des tableaux et figures	5
Résumé	6
Summary	8
1 Introduction	9
2 Méthodologie	11
2.1 Sites d'observation	11
2.1.1 Louvain	11
2.1.2 Bruxelles	11
2.1.3 Ottignies - Louvain-la-Neuve	12
2.2 Collecte des images vidéo	12
2.3 Analyses des comportements et des conflits	13
2.4 Analyse détaillée Tiensestraat Louvain	16
3 Résultats	18
3.1 Analyses des comportements et des conflits	18
3.1.1 Nombre d'usagers et types d'interactions	18
3.1.2 Taille du groupe	18
3.1.3 Manœuvres et comportement	19
3.2 Analyse des conflits Louvain	20
3.2.1 Déterminants de la gravité du conflit	22
3.2.2 Infractions	25
3.3 Conclusion analyse du comportement et des conflits	27
4 Fonctionnement du logiciel automatique « Brisk »	29
4.1 Vitesses	29
4.2 Classification	30
4.3 Gravité du conflit	30
4.4 Conclusion application Brisk	31
5 Recommandations	32
5.1 Sensibilisation et politique criminelle	32
5.1.1 Exemple de Graz	32
5.1.2 Livreurs (de repas)	32
5.1.3 Tenir sa droite	33
5.2 Infrastructure	33
6 Conclusions	34
6.1 Est-il judicieux d'autoriser les cyclistes dans les zones piétonnes ?	34
6.2 Quels facteurs influencent le risque de conflits ?	34
6.3 Le traitement d'image automatique est-il valide ?	34
Références	35

Liste des tableaux et figures

Tableau 1	Périodes d'observation des sites	13
Tableau 2	TTC moyen et minimal pour les différents types de conflits à Louvain	20
Tableau 3	Analyse de régression logistique de la gravité des conflits : facteurs prédictifs pour $TTC_{min} < 1,5$ s.	22
Tableau 4	Infractions à la circulation routière constatées dans 121 conflits détectés	25
Tableau 5	Infractions à la circulation routière constatées par type d'utilisateur	26
Tableau 6	Infractions constatées ayant un lien ou non avec in conflit	26
Tableau 7	Aperçu des infractions commises par les livreurs	27
Tableau 8	Exactitude de la classification automatique des types d'utilisateurs par Brisk	30
Tableau 9	Évaluation de la gravité des conflits sur un échantillon de 121 conflits étudiés avec $TTC < 1,5$ s.	30
Figure 1	Site d'observation Louvain (Intersection de la Munstraat et de la Tiensestraat)	11
Figure 2	Site d'observation Bruxelles (Place de la Bourse)	12
Figure 3	Site d'observation - Louvain-la-Neuve (Grand-Place)	12
Figure 4	Systèmes de caméras temporaires	13
Figure 5	Heatmaps et zone sélectionnée Louvain	14
Figure 6	Heatmaps et zone sélectionnée Bruxelles	15
Figure 7	Heatmaps et zone sélectionnée Ottignies – Louvain-la-Neuve	15
Figure 8	Exemple de conflit grave ($TTC_{min} = 0,52$)	16
Figure 9	Répartition entre « passages libres », interactions et close passings dans les 3 zones d'observation	18
Figure 10	Taille du groupe des piétons lors de rencontres sans manœuvre visible (free flow), avec manœuvre d'évitement visible (interaction) et close passings (distance < 1 m)	19
Figure 11	Taille du groupe des cyclistes lors de rencontres sans manœuvre visible (free flow), avec manœuvre d'évitement visible (interaction) et close passings (distance < 1 m)	19
Figure 12	Répartition des manœuvres chez les cyclistes lors de close passings (distance < 1 m) et d'interactions normales	20
Figure 13	Répartition (en pourcentage) de la gravité du conflit pour les différents types d'interaction	21
Figure 14	Pourcentage de conflits ($T_{min} < 1,5$ sec) suivant la combinaison d'utilisateurs de la route. Le nombre d'interactions pour lesquelles le pourcentage a été calculé est indiqué au bas de chaque barre.	21
Figure 15	Situation dans laquelle deux cyclistes entrent en conflit	23
Figure 16	Conflit dans lequel le cycliste prend rapidement sa priorité entre une voiture et des piétons	24
Figure 17	Relation entre le nombre de cyclistes (BikeFrequency) et de piétons (PedFrequency) présents et le nombre de vitesses > 15 km/h.	24
Figure 18	Relation entre le nombre de cyclistes (BikeFrequency) et de piétons (PedFrequency) présents et le nombre d'interactions avec $TTC_{min} > 1,5$ s.	25
Figure 19	Boxplot des vitesses de trajet par type d'utilisateur (VM = Véhicule motorisé)	29
Figure 20	Exemple de conflit entre un cycliste et un véhicule motorisé	31
Figure 21	Sensibilisation dans une zone réservée aux piétons à Graz, Autriche	32
Figure 22	Passage étroit au début de la zone piétonne dans la Tiensestraat à Louvain	33

Résumé

Afin de cartographier les interactions entre les piétons et les autres usagers de la route, trois zones piétonnes ont été étudiées à l'aide de techniques d'observation vidéo. Une analyse globale des trois sites a montré qu'il y avait très peu de problèmes entre cyclistes et piétons à deux d'entre eux. Dans l'espace donné, les densités de trafic étaient suffisamment faibles pour permettre aux cyclistes de dépasser largement les piétons. Pour chaque site, on n'a relevé que deux cas où des cyclistes ont dépassé des piétons à une distance inférieure à un mètre, et aucune de ces situations n'a été considérée comme très risquée. Le troisième site - l'intersection de la Tiensestraat et de la Muntstraat à Louvain – était une place sur laquelle débouchaient trois routes relativement étroites. Dans cette situation, le premier échantillon d'observations a donné 16 situations avec des passages à une distance de moins d'un mètre, lesquels ont été considérés comme risqués. C'était particulièrement le cas avec des groupes de piétons plus importants que les cyclistes pouvaient difficilement éviter.

À hauteur de ce site, une analyse des conflits détaillée et automatisée a été réalisée. Quatre types d'interaction ont été étudiés : (1) les piétons avec les cyclistes ; (2) les cyclistes avec les cyclistes ; (3) les piétons avec les véhicules motorisés (principalement des cyclomoteurs et quelques camionnettes ou voitures) ; et (4) les cyclistes avec les véhicules motorisés. Pour chaque interaction, le « time to collision » (TTC) a été calculé : il s'agit du temps qu'il reste à deux usagers de la route sur une trajectoire de collision avant qu'une collision ne se produise s'ils maintiennent leur trajectoire et leur vitesse. Ce temps diminue à mesure qu'ils se rapprochent l'un de l'autre. Le TTC minimal est donc un indicateur de la gravité du conflit. Des recherches antérieures ont montré que les interactions avec un TTC inférieur à 1,5 seconde peuvent être considérées comme des situations critiques. Pour cette partie de l'étude, nous nous posons 3 questions d'étude : (1) quels sont les facteurs qui déterminent si les conflits sont critiques ou non ? (2) Le TTC est-il un bon indicateur de conflit ? Et (3) le traitement automatique des images peut-il remplacer les observateurs humains ?

Les interactions entre deux cyclistes étaient moins souvent graves que les autres types d'interaction. Pour tous les types d'interaction, il existe une forte relation entre la vitesse des véhicules impliqués et la gravité des conflits. Des vitesses de trajet plus élevées (la vitesse moyenne par usager de la route) constituaient un indicateur prévisionnel des interactions critiques avec une valeur TTC inférieure à 1,5 seconde. Les excès de vitesse étaient particulièrement fréquents chez les livreurs à vélo (ou à cyclomoteur).

En outre, le nombre d'usagers de la route présents a eu un effet limité sur la gravité du conflit. Dans les situations où il y avait 400 piétons ou moins par heure et 100 cyclistes ou moins, il y a eu très peu d'interactions critiques. Avec plus de 600 piétons et 150 cyclistes par heure, les situations critiques ont été relativement nombreuses.

Les excès de vitesse étaient l'infraction la plus courante dans les conflits, mais ils n'étaient également à l'origine du conflit que dans la moitié des cas. Deux autres types d'infraction : ne pas tenir sa droite et dépasser des piétons sans respecter une distance suffisante - ont été observés beaucoup moins fréquemment, mais lorsqu'ils l'ont été, ils étaient presque toujours liés à l'apparition d'un conflit.

L'évaluation du TTC_{min} (qui a été calculé à l'aide du logiciel de traitement automatique d'images Brisk) a montré qu'une grande partie des interactions avec un $TTC_{min} < 1,5$ étaient en fait tout à fait inoffensives. Le TTC_{min} est difficile à appliquer aux modes de déplacement actifs avec de petits véhicules légers, car ils peuvent changer de trajectoire beaucoup plus facilement que les véhicules motorisés à quatre roues. Par conséquent, l'identification des conflits avec un $TTC_{min} < 1,5$ semble exagérer la gravité des conflits. En même temps, ces situations comportent un potentiel de conflit et les risques comportementaux identifiés par leur relation avec le TTC (vitesse, densité élevée, ne pas tenir sa droite et ne pas tenir ses distances) peuvent effectivement entraîner des conflits graves, bien qu'avec une fréquence plus faible que ce que l'analyse du $TTC < 1,5$ semble indiquer.

Avec une précision de 94%, la catégorisation des usagers de la route par le logiciel de traitement automatique des images est assez précise, surtout si l'on tient compte de la qualité limitée des images (qui a été maintenue faible pour des raisons liées au respect de la vie privée). Les données de vitesse, en revanche, présentent trop de variations et certaines vitesses mesurées sont improbables.

Les recommandations préconisent de sensibiliser et de faire respecter la vitesse des cyclistes (cyclomotoristes), surtout si cela peut être réalisé dans le cadre d'un partenariat avec les employeurs des livreurs à vélo ou à cyclomoteur.

À partir d'une densité de piétons supérieure à 100 par heure et par mètre de route, l'espace doit être visuellement divisé entre piétons et cyclistes. À des densités supérieures à 200 piétons par heure et par mètre, l'utilisation conjointe par les cyclistes et les piétons n'est pas recommandée.

Summary

In order to evaluate the interactions between pedestrians and other road users, three pedestrian areas were investigated using video observation techniques. A global analysis of the three locations showed that there were very few problems between cyclists and pedestrians at two of them. For the space given, the intensities were low enough to allow cyclists to bypass pedestrians by a wide margin. For each location, only two instances were noted where cyclists passed pedestrians with a distance of less than one metre, and none of these situations were considered very risky. The third location - the intersection Tiensestraat and Muntstraat in Leuven - consisted of a square with three relatively narrow roads leading to it. In this situation, the first sample of observations yielded 16 situations with passages at a distance of less than one metre, which were considered risky. This was particularly often the case with larger groups of pedestrians that were difficult for the cyclists to avoid.

At this location an automated detailed conflict analysis was performed. Four types of interactions were studied: (1) pedestrians with cyclists; (2) cyclists with cyclists; (3) pedestrians with motor vehicles (mostly mopeds and some vans or cars); and (4) cyclists with motor vehicles. For each interaction, the "time to collision" (TTC) was calculated: the time that remains for two road users on a collision course before a collision would occur if they maintained their course and speed. This time decreases as they approach each other. The minimum TTC is therefore an indicator for the severity of the conflict. Previous research has shown that interactions with a TTC of less than 1.5 seconds can be considered critical situations. For this part of the study we had 3 research questions: (1) which factors determine whether conflicts are critical or not? (2) Is the TTC a good conflict indicator? And (3) can automatic image processing replace human observers?

Interactions between two cyclists were less likely to be critical than the other interaction types. For all interaction types, there was a strong relationship between the speed of the vehicles involved and the severity of the conflicts. Higher trajectory speeds (the average speed per road user) were predictive of critical interactions with a TTC_{min} value less than 1.5 seconds. Speed violations were particularly common among bicycle (or moped) delivery riders.

In addition, the number of road users present had an effect on the conflict severity. In situations with 400 pedestrians or less per hour and 100 cyclists or less, there were very few critical interactions. Above 600 pedestrians and 150 cyclists, there were many critical situations.

Speeding was the most common type of violation, but only in half of the cases was it also the cause of a conflict. Two other types of violations – failure to keep to the right and passing pedestrians without keeping a sufficient distance – were detected much less frequently, but when they were detected, they were almost always related to a conflict.

The evaluation of the TTC (calculated using the automatic image processing software Brisk) showed that a large proportion of the interactions with $TTC_{min} < 1.5$ were actually quite innocent. The TTC_{min} is difficult to apply to active travel modes with small light vehicles, because they can change their course much more easily than four-wheeled motor vehicles. Consequently, the identification of conflicts with $TTC_{min} < 1.5$ seems to exaggerate the seriousness of the conflicts. At the same time, these situations do contain conflict potential and the risks identified by their relation to the TTC_{min} (speed, high intensity, not keeping right, and not keeping distance) can indeed lead to serious conflicts - albeit with a lower frequency than the analysis of $TTC_{min} < 1.5$ seconds seems to indicate.

With an accuracy of 94%, the categorisation of road users by the automatic image processing software is quite accurate, especially considering the limited image quality (which was kept low for privacy reasons). The speed data, on the other hand, show too much variation and some measured speeds are implausible.

To tackle speed, sensitisation and enforcement actions with respect to the speed of cyclists and mopedists are recommended, especially if these can be realised within a partnership with employers of bicycle or moped delivery-riders.

From pedestrian intensities of more than 100 per hour per metre of road, the space should be visually divided between pedestrians and cyclists. At intensities higher than 200 per hour per metre, joint use of space of pedestrians and cyclists is not recommended.

1 Introduction

La marche et le vélo sont les meilleurs modes de transport pour se déplacer en ville, et tous deux peuvent apporter d'énormes bienfaits pour la santé, réduire les émissions de gaz à effet de serre, et améliorer la qualité de l'air local et la qualité de vie dans la ville. Presque toutes les villes ont donc inscrit dans leur programme la volonté de rendre la ville plus conviviale pour les piétons et les cyclistes.

L'aménagement de zones piétonnes constitue une façon de respecter ce programme. Les zones piétonnes peuvent faire partie de l'espace partagé car, outre les piétons, les cyclistes y sont aussi souvent autorisés. Dans une mesure très limitée, ces zones sont également utilisées par les véhicules motorisés (par exemple, les livreurs ou les cyclomotoristes). Le trafic mixte dans une zone piétonne est un avantage pour le commerce de détail car il combine un nombre accru de visiteurs et des possibilités de livraison. Il peut également être souhaitable pour la cyclabilité d'une ville que les cyclistes n'aient pas à faire de grands détours autour du centre. Toutefois, l'interaction cyclistes-piétons peut également poser des problèmes de sécurité.

Dans ce rapport, nous chercherons à savoir si l'interaction cyclistes-piétons pose un problème de sécurité routière et, le cas échéant, quels sont les facteurs qui y contribuent. Deux facteurs seront étudiés en particulier : la vitesse des usagers de la route impliqués et la densité du trafic, c'est-à-dire le nombre d'usagers de la route de chaque type présents à un moment donné. Il va sans dire que la vitesse des véhicules peut constituer un problème de sécurité routière, car elle augmente à la fois le risque de collisions et leur gravité (Pelssers et al., 2017). Toutefois, il n'est pas certain que ce soit également le cas dans une zone piétonne, les vitesses étant généralement très faibles. Le nombre de personnes présentes influence la possibilité pour les cyclistes d'ajuster leur trajectoire bien à l'avance afin de dépasser les piétons à une distance suffisante. C'est la situation optimale. Plus la place est fréquentée, plus le cycliste doit slalomer entre les piétons. La présence d'autres cyclistes (en grand nombre) peut également empêcher les conducteurs de maintenir une trajectoire appropriée, surtout lorsque les autres cyclistes slaloment également. Toutefois, il est également possible que les cyclistes disposant de beaucoup d'espace roulent à une vitesse plus élevée et provoquent ainsi des situations à risque.

Dans ce rapport, nous avons étudié la sécurité routière au moyen d'observations de comportements et de conflits. Traditionnellement, l'évaluation de la sécurité routière repose sur les données d'accidents rapportées par la police. Cette méthode présente toutefois un certain nombre de défauts. Les accidents impliquant des cyclistes et des piétons (surtout lorsqu'aucun véhicule motorisé n'est impliqué) sont fortement sous-déclarés. Nuyttens a constaté que seul un cycliste sur 5,5 grièvement blessé et admis à l'hôpital était également signalé par la police. Pour les piétons, cette proportion était d'un sur 2 et pour les conducteurs de deux-roues motorisés, d'un sur 2,2 (Nuyttens, 2013). De surcroît, les accidents sont des événements relativement rares et les chiffres ne sont souvent pas assez importants pour que l'on puisse généraliser à partir de cas individuels afin d'en déduire un risque général. La rareté des accidents donne également lieu à un dilemme moral : tant qu'il n'y a pas de blessés ou de morts, rien ne peut être fait pour améliorer la situation. Les observations de conflits peuvent être utilisées de manière proactive. Ces derniers ne dépendent pas des accidents et nécessitent des périodes d'observation plus courtes afin de formuler des évaluations de sécurité fiables.

Pour chaque paire d'usagers de la route, le « time to collision » (TTC) est mesuré sur la base de la vitesse et de la trajectoire des usagers de la route. Il est défini comme « le temps restant jusqu'à ce qu'une collision entre deux usagers de la route se produise s'ils continuaient à se déplacer sur leur trajectoire actuelle et à leur vitesse actuelle » (Hayward, 1972). Le TTC diminue tant que deux usagers de la route sont sur une trajectoire de collision. S'ils modifient ensuite leur trajectoire, le TTC augmente à nouveau. Lorsque les usagers de la route modifient leur trajectoire de telle sorte qu'ils ne sont plus sur une trajectoire de collision, la valeur cesse d'exister. Le TTC minimal (TTC_{min}) est une mesure de la gravité du conflit.

Les observations de conflits ont une tradition relativement longue (Arun et al., 2021). L'application aux usagers vulnérables de la route a considérablement augmenté ces dernières années (Johnsson, et al., 2018 ; Arun et al., 2021 ; Wu et al., 2018 ; Beitel et al., 2018). Ces études montrent toutefois également que pour les modes de déplacement actifs, tels que le vélo et la marche, le TTC n'est pas nécessairement la mesure de conflit la plus appropriée. En revanche, le traitement des images prend beaucoup de temps, mais le calcul du TTC est de plus en plus automatisé. Par conséquent, en plus de la question de fond, nous essayons également d'étudier deux aspects méthodologiques, à savoir l'adéquation de la mesure classique du conflit, TTC, pour la recherche dans des environnements non structurés tels qu'une zone piétonne, et une évaluation de la qualité d'un traitement d'image hautement automatisé par rapport à un observateur humain.

Dans ce rapport, nous décrivons la conception et les résultats d'une étude utilisant des techniques d'analyse vidéo pour cartographier les conflits entre les piétons et les autres usagers de la route dans trois zones piétonnes. La méthodologie (Chapitre 2) décrit d'abord les sites d'observation, puis la collecte et l'analyse des images vidéo. Les résultats (Chapitre 3) se concentrent dans un premier temps sur une analyse par observation humaine pour les trois sites, puis se focalisent sur les résultats d'une analyse automatisée de la Tiensestraat à Louvain – le site présentant le plus grand nombre de conflits. Dans le quatrième chapitre, nous nous penchons sur la question de l'adéquation du logiciel de traitement automatique des vidéos utilisé pour cette étude et dans le Chapitre 5, des mesures éventuelles sont avancées. Le Chapitre 6 résume à nouveau les conclusions.

2 Méthodologie

Dans cette étude, les interactions et les conflits entre les cyclistes et les piétons ont été observés dans les zones piétonnes où les cyclistes sont autorisés. Il a été décidé de sélectionner un site d'observation dans chacune des Régions belges, à savoir à Louvain (Flandre), Bruxelles (Région de Bruxelles-Capitale) et Ottignies-Louvain-la-Neuve (Wallonie).

2.1 Sites d'observation

2.1.1 Louvain

Le premier site d'observation sélectionné (cercle bleu) est situé dans une zone piétonne à l'intersection de la Muntstraat (ligne rouge) et de la Tiensestraat (ligne verte) à Louvain (Figure 1). Officiellement, le site étudié n'est pas une zone piétonne car les cyclistes y sont également autorisés, mais en termes de caractéristiques, ce lieu est similaire à la partie désignée comme zone piétonne. Dans la zone piétonne désignée, les cyclistes sont également autorisés en tout temps. Nous pouvons qualifier le site d'observation de rue commerçante/piétonne.

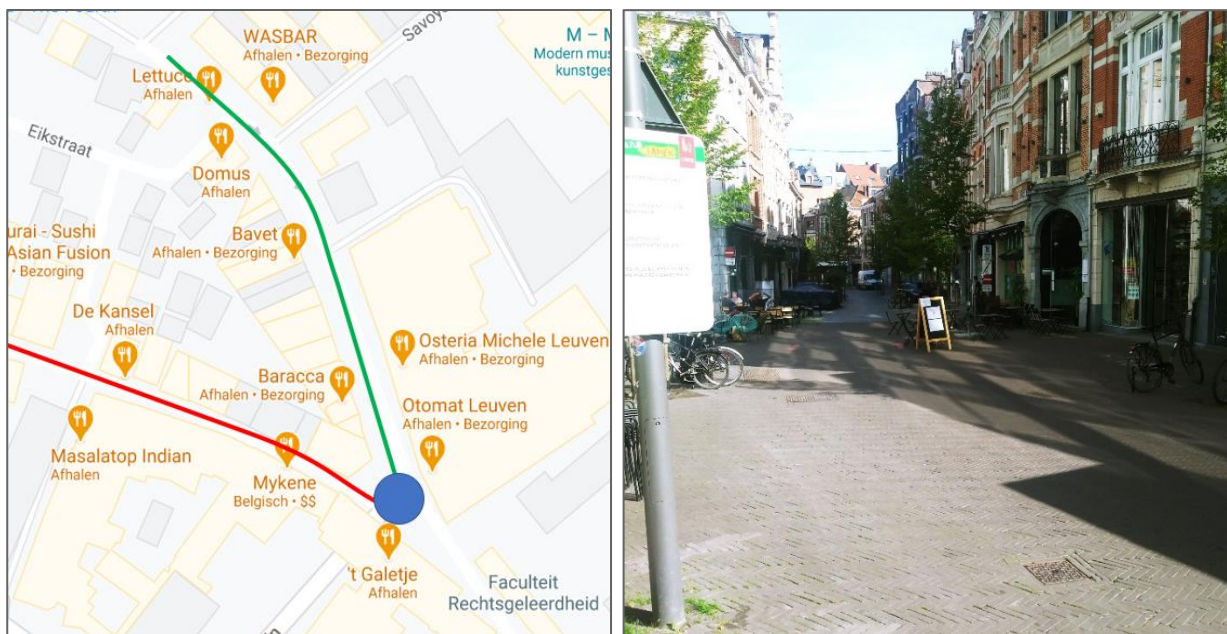


Figure 1 Site d'observation Louvain (Intersection de la Munstraat et de la Tiensestraat)

2.1.2 Bruxelles

Le deuxième site d'observation sélectionné (cercle bleu) est la Place de la Bourse à Bruxelles (Figure 2), une zone piétonne récemment aménagée. Il s'agit d'une grande place située devant la Bourse de Bruxelles. Les piétons et les cyclistes y sont autorisés.

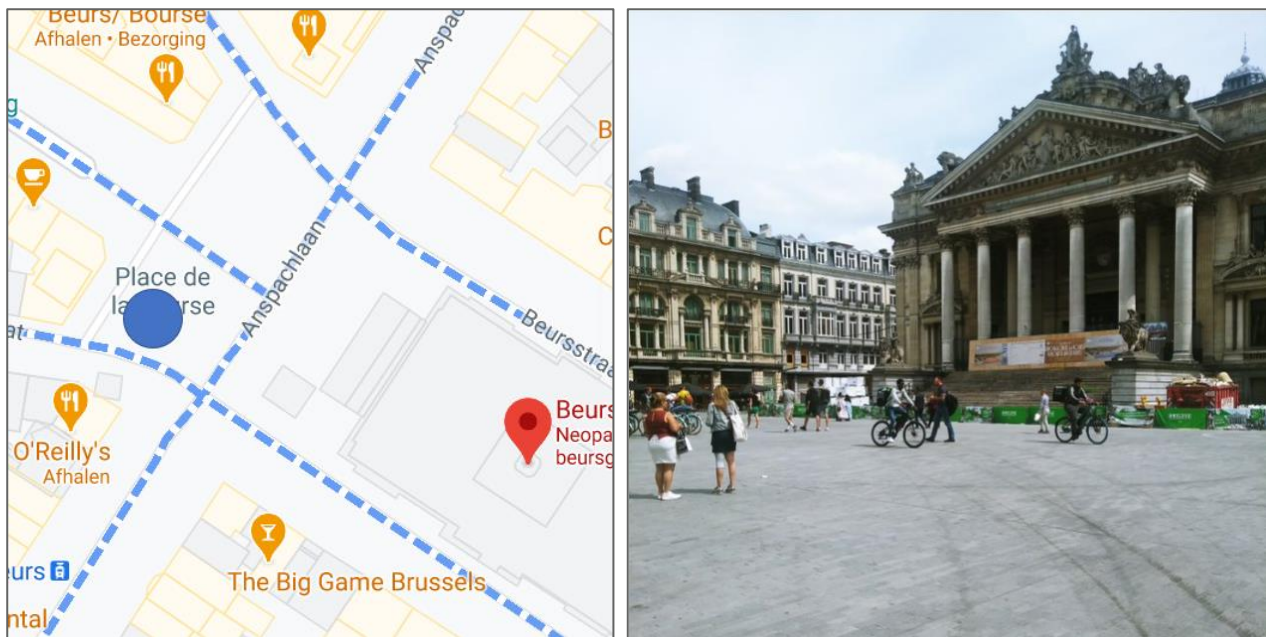


Figure 2 Site d'observation Bruxelles (Place de la Bourse)

2.1.3 Ottignies - Louvain-la-Neuve

Le dernier site d'observation est situé à Ottignies-Louvain-la-Neuve. Tout comme à Bruxelles, il s'agit d'une place, à savoir la Grand-Place. Là encore, les cyclistes y sont autorisés.

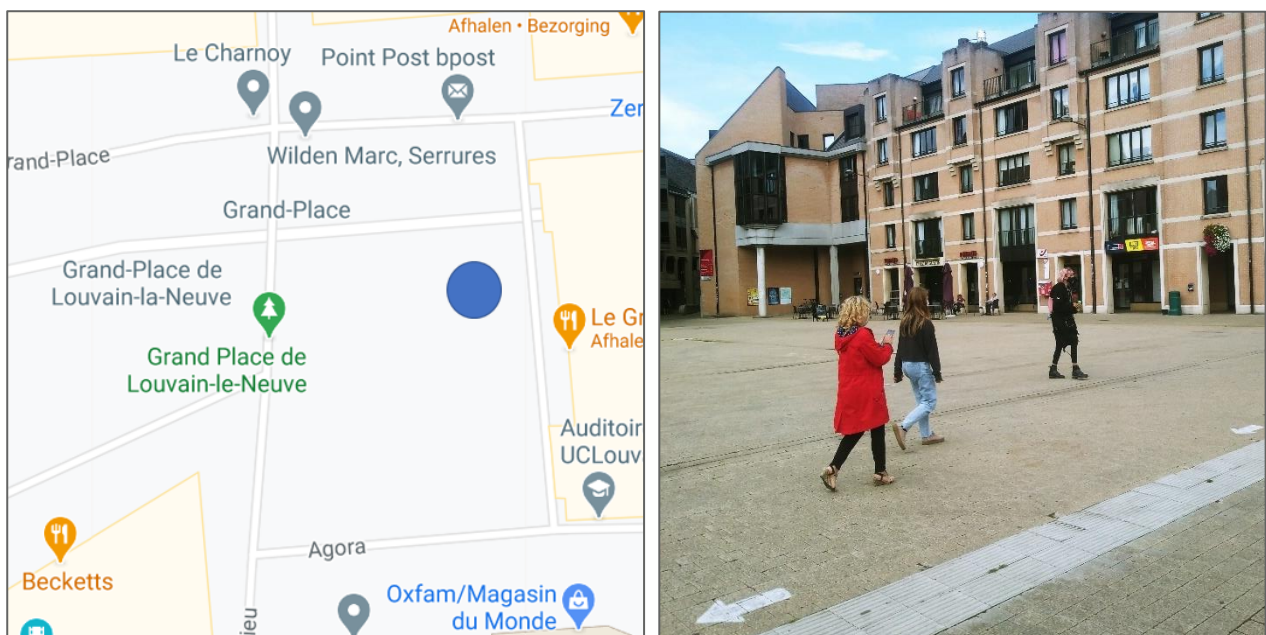


Figure 3 Site d'observation - Louvain-la-Neuve (Grand-Place)

2.2 Collecte des images vidéo

Les images vidéo ont été recueillies sur le terrain à l'aide de systèmes de caméras temporaires (Figure 4). Les images vidéo ont été utilisées pour l'observation des comportements et des conflits. Les images vidéo ont été collectées durant quatre jours entre 10h et 20h.

Les caméras sont des systèmes mobiles et autonomes, avec une caméra montée sur un mât extensible qui peut filmer à une hauteur de 6 mètres environ. Le système est équipé d'une batterie interne suffisamment puissante et d'une capacité de stockage permettant de filmer en continu pendant plusieurs jours. Les caméras

ont une faible résolution, de sorte qu'aucun visage ou plaque d'immatriculation ne peut être reconnu. Cela garantit le respect de la vie privée des piétons et des cyclistes.



Figure 4 Systèmes de caméras temporaires

Le Tableau 1 décrit les périodes d'observations. Toutes les images ont été collectées en août 2020. La période d'enregistrement se situe donc pendant les vacances scolaires. C'était aussi une période transitoire entre la première vague et la deuxième vague de Covid-19. Les taux de contamination étaient relativement faibles pendant la période d'enregistrement et les restrictions de contact avaient été assouplies. En dépit de cela, le comportement en matière de respect des distances n'était peut-être pas tout à fait normal.

Tableau 1 Périodes d'observation des sites

Site	Date
Louvain/Bruxelles	12/08/2020
	13/08/2020
	14/08/2020
	15/08/2020
Ottignies – Louvain-la-Neuve	26/08/2020
	27/08/2020
	28/08/2020
	29/08/2020

2.3 Analyses des comportements et des conflits

Sur la base des images vidéo des caméras, le comportement des cyclistes a été observé sur les différents sites d'observation. Pour chaque site, une zone a été sélectionnée dans laquelle on a vérifié si un cycliste interagissait ou non avec un piéton. Dans les analyses, un événement n'a été retenu que lorsque le(s) cycliste(s) et le(s) piéton(s) se trouva(en)t dans la zone sélectionnée. Dans chaque cas, une distinction a été faite entre trois types d'événements : le free-flow (flux libre), l'interaction et le close passing (passage rapproché).

- Free-flow : un cycliste et un piéton se croisent, se dépassent ou évitent un conflit sans que personne ne doive adapter sa vitesse ou son itinéraire. C'est la situation la plus souhaitable. Si un ajustement de l'itinéraire était nécessaire, le cycliste l'a prévu bien à l'avance.
- Interaction : un cycliste et/ou un piéton adapte(nt) sa (leur) vitesse ou modifie(nt) son (leur) trajet pour se croiser, dépasser ou éviter un conflit.
- Close passing : un cycliste et un piéton se croisent ou se dépassent à moins d'un mètre. La distance est estimée visuellement.

Si tel était le cas, l'enregistrement était rembobiné afin de vérifier si une manœuvre était effectuée par au moins un des usagers de la route. Si manœuvre il y avait, on la qualifiait de toute façon d'interaction. Les zones sélectionnées (Figure 5, Figure 6 et Figure 7) ont été choisies sur la base des heatmaps (cartes thermiques). Il s'agit de cartes qui montrent les principaux flux de cyclistes et de piétons sur le site d'observation. Ainsi, la probabilité d'enregistrer des interactions était la plus grande. Les cartes thermiques ont été générées à l'aide du logiciel « BriefCam » permettant une classification automatique des usagers de la route. Les limites suivantes ont été observées : un cycliste qui descend de son vélo et le pousse reste considéré par le logiciel comme un cycliste (alors qu'il est en fait un piéton). Les cyclistes rapides ont parfois été classés dans la catégorie des cyclomoteurs (= véhicules motorisés) et vice versa. La zone de couleur rouge est la plus fréquentée.

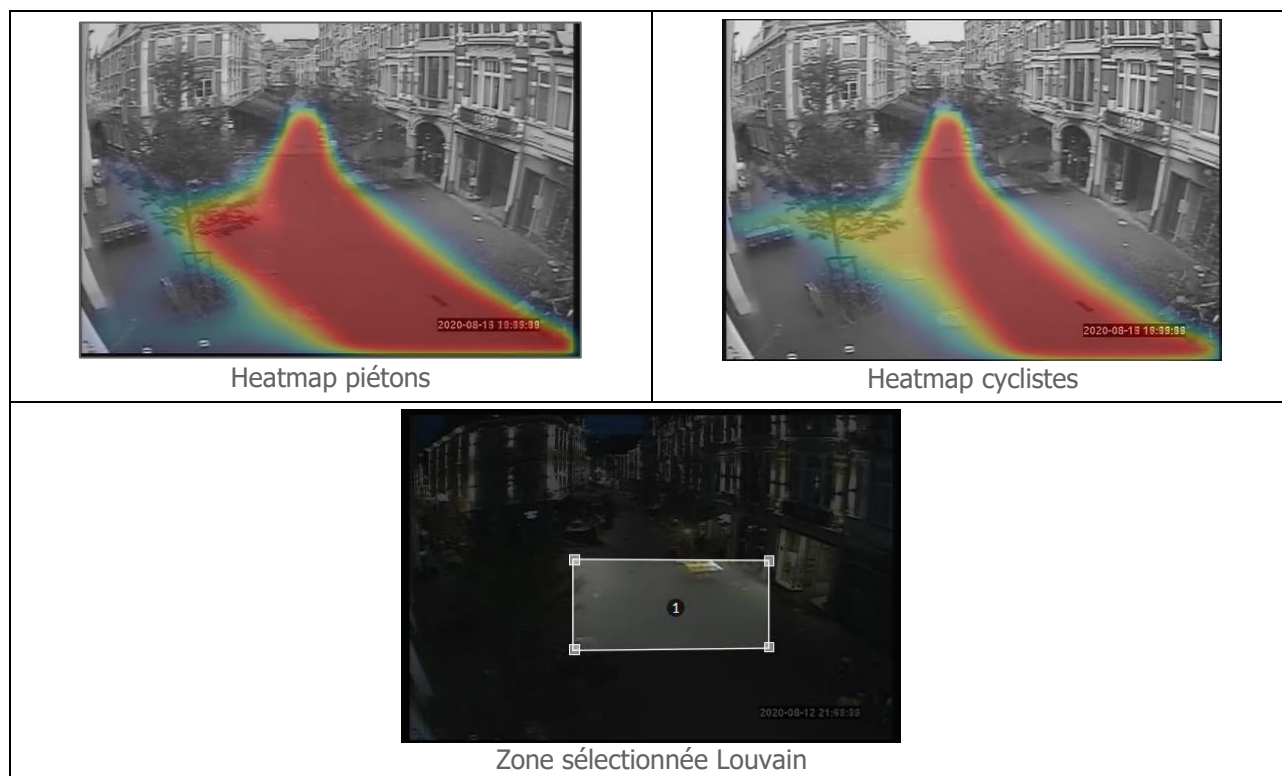
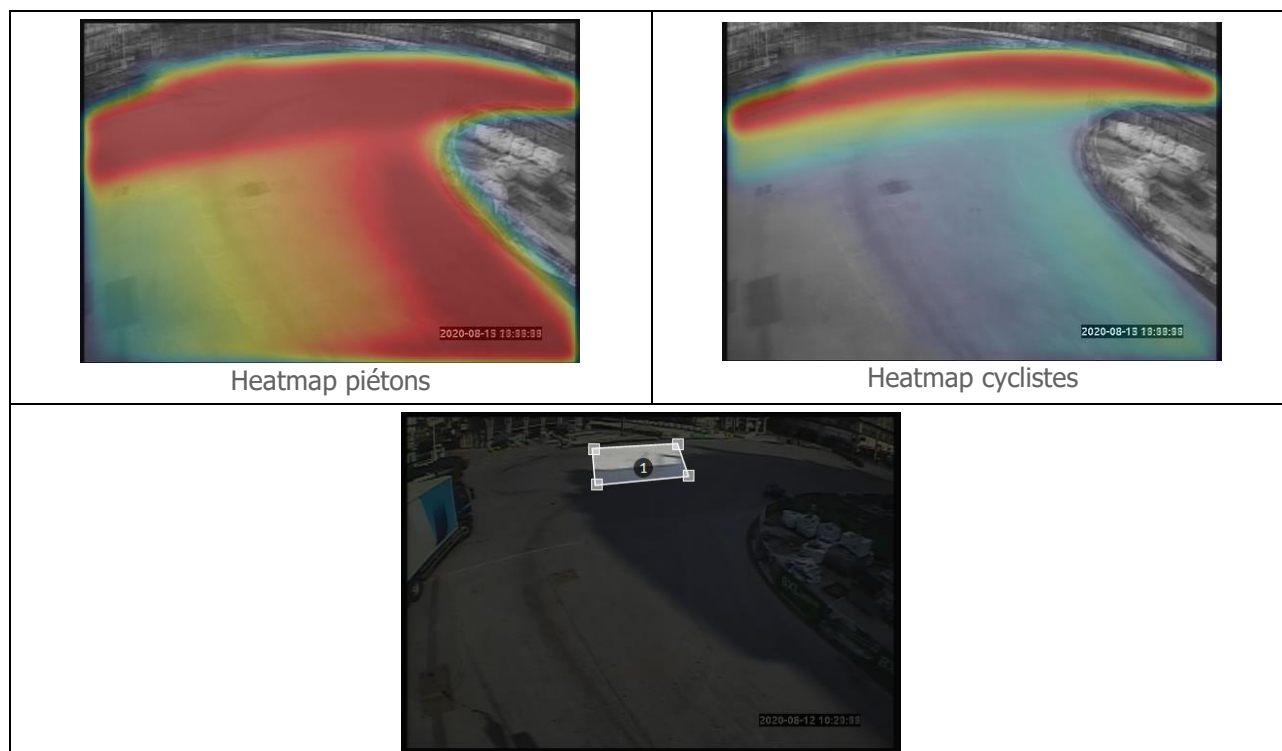


Figure 5 Heatmaps et zone sélectionnée Louvain



Zone sélectionnée Bruxelles

Figure 6 Heatmaps et zone sélectionnée Bruxelles

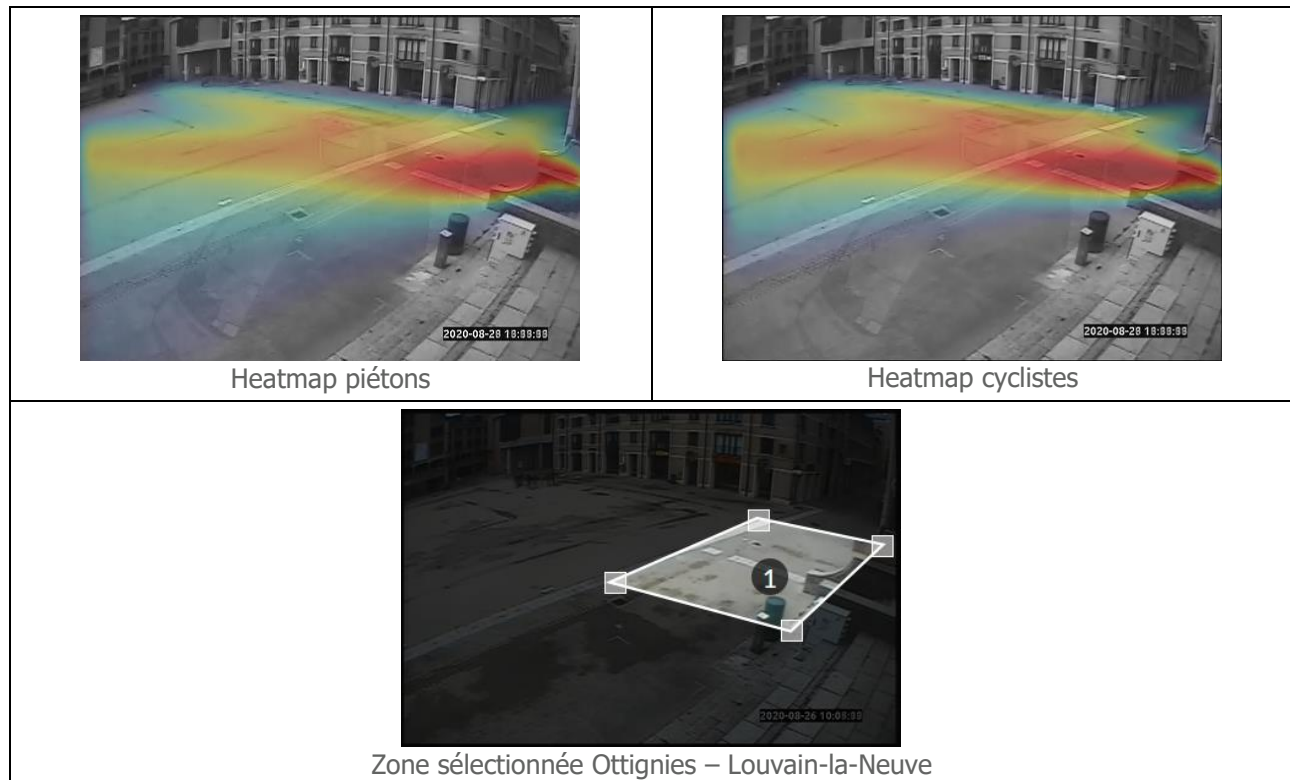


Figure 7 Heatmaps et zone sélectionnée Ottignies – Louvain-la-Neuve

Le comportement des cyclistes et des piétons, tant ceux qui interagissent que ceux qui se croisent ou dépassent librement, a été enregistré dans un formulaire de codage standardisé. Ledit formulaire de codage comprenait les éléments suivants :

- Conditions situationnelles (par exemple, l'heure de la journée, la luminosité et les conditions météorologiques) ;
- Sexe et âge du (des) cycliste(s) et du (des) piéton(s) ;
- Description de la manœuvre :
 - Poursuivre sa route/ne pas effectuer de manœuvre
 - Sortir de la route
 - Ralentissement
 - Stationner
 - Stopper
 - Accélérer
 - Zigzaguer
 - Changer de direction
 - Suivre et ne pas dépasser
 - Suivre et dépasser ensuite
 - Dépasser immédiatement

Le temps approximatif entre le moment où une manœuvre a eu lieu et celui où le(s) cycliste(s) et le(s) piéton(s) étaient les plus proches l'un de l'autre (les uns des autres) a également été enregistré.

En cas de close passing, il a été indiqué pour les cyclistes et les piétons quelle était/pouvait être la cause :

- Vitesse inadaptée
- Inattention
- Brusque changement de direction
- Autre
- Combinaison

- Aucune influence

2.4 Analyse détaillée Tiensestraat Louvain

Le service logiciel « Brisk » de TransoftSolutions.com a été utilisé pour réaliser l'analyse détaillée. Ce logiciel réalise une analyse automatisée des conflits sur tous les mouvements de circulation visibles dans un enregistrement vidéo.

Pour chaque paire d'utilisateurs de la route, le « time to collision » (TTC) est mesuré sur la base de la vitesse et de la trajectoire des utilisateurs de la route. Il est défini comme « le temps restant jusqu'à ce qu'une collision entre deux utilisateurs de la route se produise s'ils continuaient à se déplacer sur leur trajectoire actuelle et à leur vitesse actuelle » (Hayward, 1972). La gravité d'un conflit est déterminée à l'aide du TTC minimal entre deux utilisateurs en interaction (TTC_{min}). Un faible TTC_{min} indique donc un conflit grave.

Johnsson et al. (2018) proposent une valeur seuil de 1,5s pour distinguer les conflits graves des conflits non graves. En effet, des recherches ont montré que des valeurs de TTC inférieures à 1,5s sont rarement observées dans des interactions normales et sont donc considérées comme des conflits graves (Brown, 1994 ; van der Horst, 1990). Pour parler d'interaction, Brisk utilise un TTC maximum de 4,5 secondes car à des distances encore plus grandes, il n'y a plus d'influence sur la trajectoire de l'autre.

Le logiciel a identifié le type d'utilisateur et a fait une distinction entre piétons, cyclistes, deux-roues motorisés, voitures, camionnettes et camions. Les 4 dernières catégories étaient relativement rares étant donné qu'il s'agissait d'une zone piétonne, elles ont donc été regroupées dans la catégorie « véhicules motorisés ».



Figure 8 Exemple de conflit grave ($TTC_{min} = 0,52$)

Outre la valeur TTC_{min} , les valeurs suivantes ont été calculées pour chaque conflit :

- **Vitesse de trajet-Usager 1** : la vitesse médiane de l'utilisateur de la route concerné. C'est-à-dire sa vitesse moyenne entre le moment où il apparaît à l'image et le moment où il en sort.
- **Vitesse de trajet-Usager 2** : la vitesse médiane de l'utilisateur de la route concerné. C'est-à-dire sa vitesse moyenne entre le moment où il apparaît à l'image et le moment où il en sort.
- **Vitesse de conflit-Usager 1** : la vitesse de l'utilisateur de la route concerné au moment où la valeur TTC est la plus faible, c'est-à-dire au moment où les deux utilisateurs sont le plus proche d'une collision.
- **Vitesse de conflit-Usager 2** : la vitesse de l'utilisateur de la route concerné au moment où la valeur TTC est la plus faible, c'est-à-dire au moment où les deux utilisateurs sont le plus proche d'une collision.
- **Nombre d'utilisateurs** : Un comptage de tous les utilisateurs passés à l'image pendant le quart d'heure au cours duquel le conflit a été filmé.
- **Nombre de piétons** : Un comptage de tous les piétons passés à l'image pendant le quart d'heure au cours duquel le conflit a été filmé.
- **Nombre de cyclistes** : Un comptage de tous les cyclistes qui sont passés à l'image pendant le quart d'heure au cours duquel le conflit a été filmé.

- **Nombre de véhicules motorisés :** Un comptage de tous les véhicules motorisés passés à l'image pendant le quart d'heure au cours duquel le conflit a été filmé. Il peut s'agir de voitures, de camionnettes ou de deux-roues motorisés.

3 Résultats

3.1 Analyses des comportements et des conflits

Lorsqu'un cycliste et un piéton se rencontrent en free-flow, il n'y a rien à observer sur les vidéos. Cela ne signifie pas que le cycliste ne tient pas compte du piéton. Au contraire, souvent le cycliste a ajusté sa trajectoire bien à l'avance et dépasse le piéton en respectant la distance requise. Les interactions concernent des manœuvres réalisées dans le cadre de l'observation, c'est-à-dire que le cycliste était déjà assez proche du piéton lorsque la trajectoire a été corrigée. Les close passings observés sont des situations où cette situation était encore plus extrême et où le cycliste s'est approché à moins d'un mètre du piéton.

3.1.1 Nombre d'utilisateurs et types d'interactions

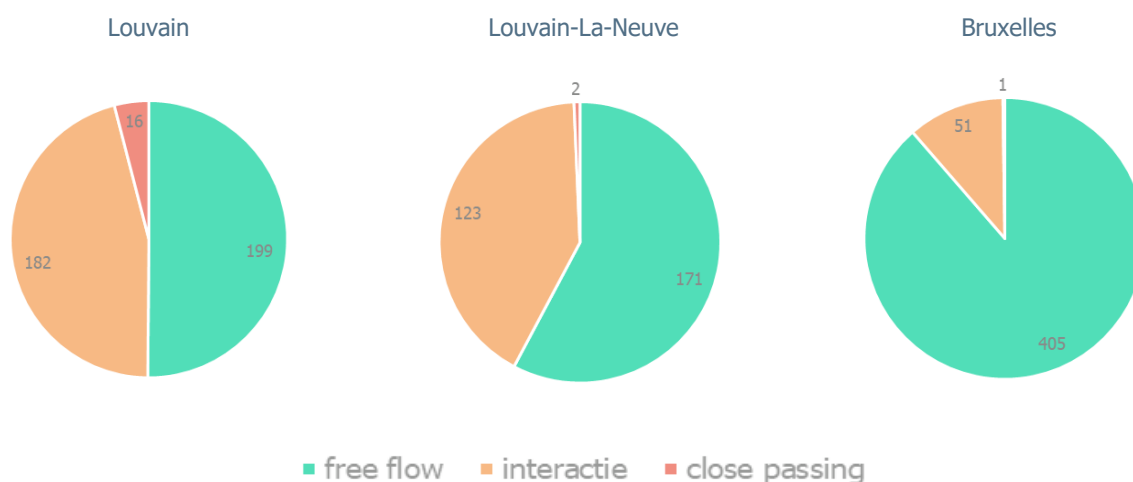


Figure 9 Répartition entre « passages libres », interactions et close passings dans les 3 zones d'observation

À Louvain, la moitié des cyclistes et des piétons qui se trouvaient dans le cadre d'observation au même moment sont entrés en interaction. C'est-à-dire qu'ils ont visiblement influencé la trajectoire ou la vitesse de l'autre. Sur les autres sites, il s'agissait d'une proportion beaucoup plus faible de cyclistes et de piétons. À Louvain, on a également pu observer un plus grand nombre de « close passings ». À Louvain-la-Neuve, 42% des déplacements simultanés étaient des interactions, mais à Bruxelles, ce chiffre n'était que de 11%. Les conflits (déplacement avec une distance inférieure à 1 m) étaient presque inexistantes sur les deux derniers sites.

3.1.2 Taille du groupe

La possibilité ou non pour le cycliste d'adapter sa trajectoire bien à l'avance dépend notamment de la taille du groupe. Les groupes plus importants de piétons sont relativement plus fréquents dans les interactions que dans les rencontres en free flow, et encore plus souvent dans les close passings, où le cycliste n'a pas pu dévier de sa trajectoire à temps pour dépasser à une distance sûre ($\chi^2(2,1) = 37,9$; $p < 0,000001$).

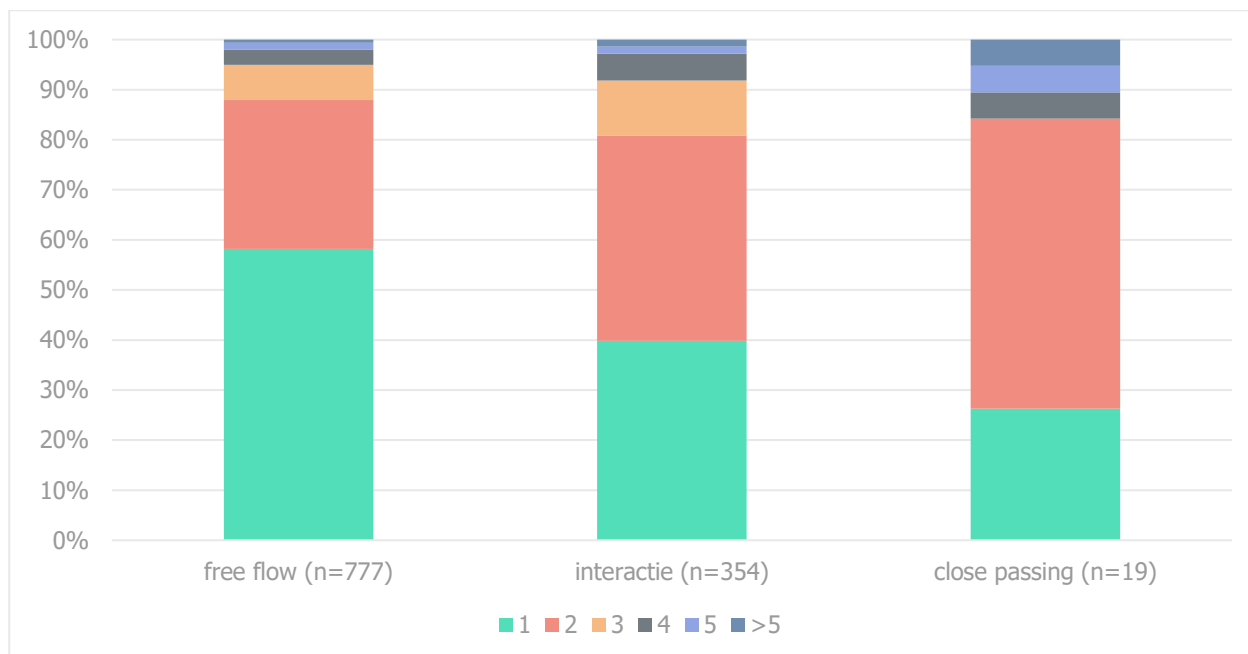


Figure 10 Taille du groupe des piétons lors de rencontres sans manœuvre visible (free flow), avec manœuvre d'évitement visible (interaction) et close passings (distance <1m)

La taille du groupe de cyclistes n'est pas clairement liée à la façon dont les cyclistes dépassent les piétons ($\chi^2(2,1)=3,7$; $p>0,1$).

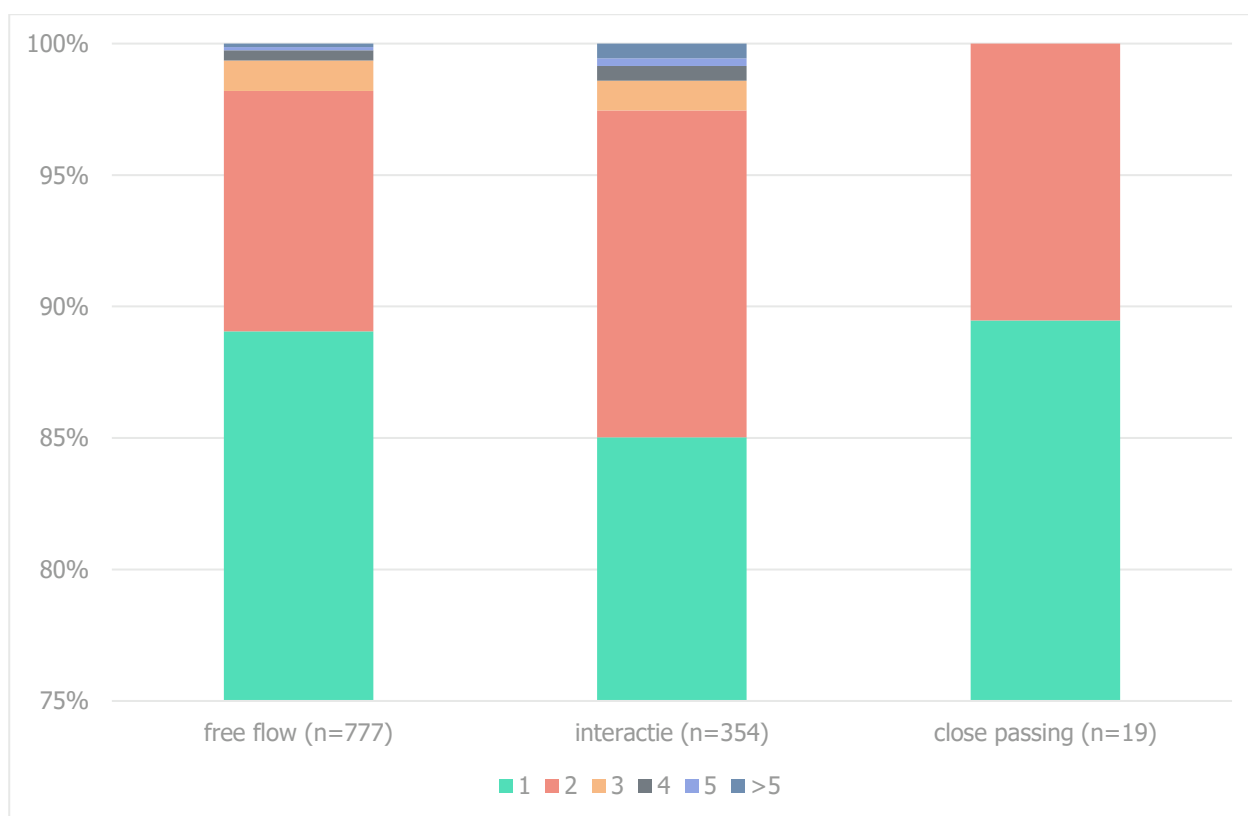


Figure 11 Taille du groupe des cyclistes lors de rencontres sans manœuvre visible (free flow), avec manœuvre d'évitement visible (interaction) et close passings (distance <1m)

3.1.3 Manœuvres et comportement

La Figure 12 montre la répartition en pourcentage des manœuvres des cyclistes pour les interactions normales (lorsque la distance était supérieure ou égale à 1m ; en vert) et celles où la distance était inférieure à 1m (close passings ; en rouge). Lors des close passings, le cycliste a relativement plus souvent

simplement poursuivi sa route. La raison pour laquelle cela ne se produit pas (ou presque) dans les interactions normales est qu'un cycliste qui le fait sans s'approcher trop près d'un piéton a été codé en tant que « free flow ». D'autres manœuvres souvent utilisées lors de close passings sont le « zigzag » et le « freinage ». Des « dépassements » ont également eu lieu dans 20 % des close passings. En revanche, dans les interactions normales, cette proportion est de près de 50 %. Comme il n'y a eu que trois close passings au total à Louvain-La-Neuve et à Bruxelles, ces deux sites n'ont pas été repris dans cette analyse.

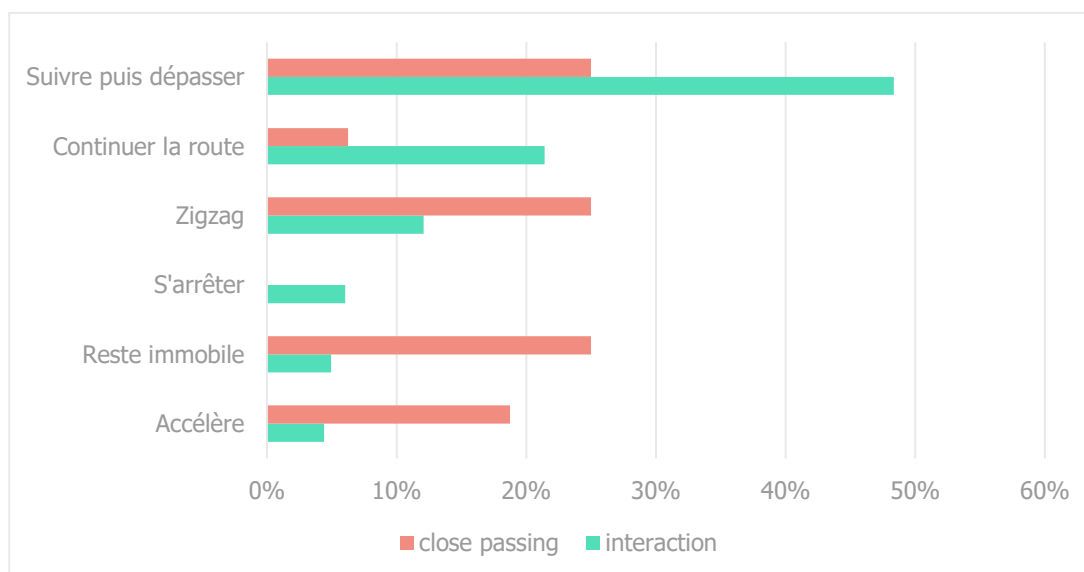


Figure 12 Répartition des manœuvres chez les cyclistes lors de close passings (distance <1m) et d'interactions normales

3.2 Analyse des conflits Louvain

Dans la Tiensestraat à Louvain, les trois sites ont enregistré le plus grand nombre d'interactions entre piétons et cyclistes, ainsi que le plus grand nombre de close passings, à savoir des interactions où la distance entre le cycliste et le piéton était inférieure à un mètre. En même temps, il est clairement apparu, lors de la première analyse, que les interactions des cyclistes entre eux et même avec les véhicules motorisés contribuaient aussi considérablement à la situation de la sécurité dans cette zone.

Les interactions détectées à Louvain ont été analysées en détail, les vitesses des différents usagers de la route ont été cartographiées et la gravité du conflit a été déterminée sur la base du time-to-collision minimal (TTC_{min}). Pour chaque interaction, la gravité du conflit a été calculée. Cette durée varie de 0 à 4,5 secondes. Cependant, un TTC_{min} de 0 signifierait une collision et nous ne l'avons pas observé. Avec une valeur TTC_{min} de 4,5 ou plus, on ne parle plus d'interaction.

Tableau 2 TTC moyen et minimal pour les différents types de conflits à Louvain

Usager 1	Usager 2	Nombre d'interactions	Nombre de conflits ($TTC < 1,5s$)	% de conflits ($TTC < 1,5s$)	Valeur de conflit la plus faible
Piéton	Vélo	2148	730	34	0,20
	Véhicule motorisé	364	117	32	0,38
Vélo	Vélo	213	26	12	0,40
	Véhicule motorisé	80	32	40	0,39

Nous avons classé les interactions en fonction des types d'usagers impliqués. La plupart des interactions se sont produites entre des piétons et des cyclistes. Il y a également eu de nombreuses interactions entre les véhicules motorisés et les piétons. Les véhicules motorisés peuvent être des deux-roues motorisés (principalement des cyclomoteurs), mais aussi des voitures ou des camionnettes. Les cyclistes qui interagissent avec d'autres cyclistes forment un groupe assez restreint, et le plus petit nombre d'interactions a eu lieu entre les cyclistes et les véhicules motorisés.

La Figure 13 montre la répartition en pourcentage de la gravité du conflit pour chaque type d'interaction. La ligne orange représente à chaque fois le seuil de $TTC_{min} = 1,5$. (voir Section 4.3 pour une évaluation réelle de la « gravité » de ces conflits). Nous constatons que pour la plupart des types d'interactions, la part des interactions provenant de cette ligne diminue significativement. Lors des interactions entre le vélo et le véhicule motorisé, cela a cependant été moins souvent le cas.

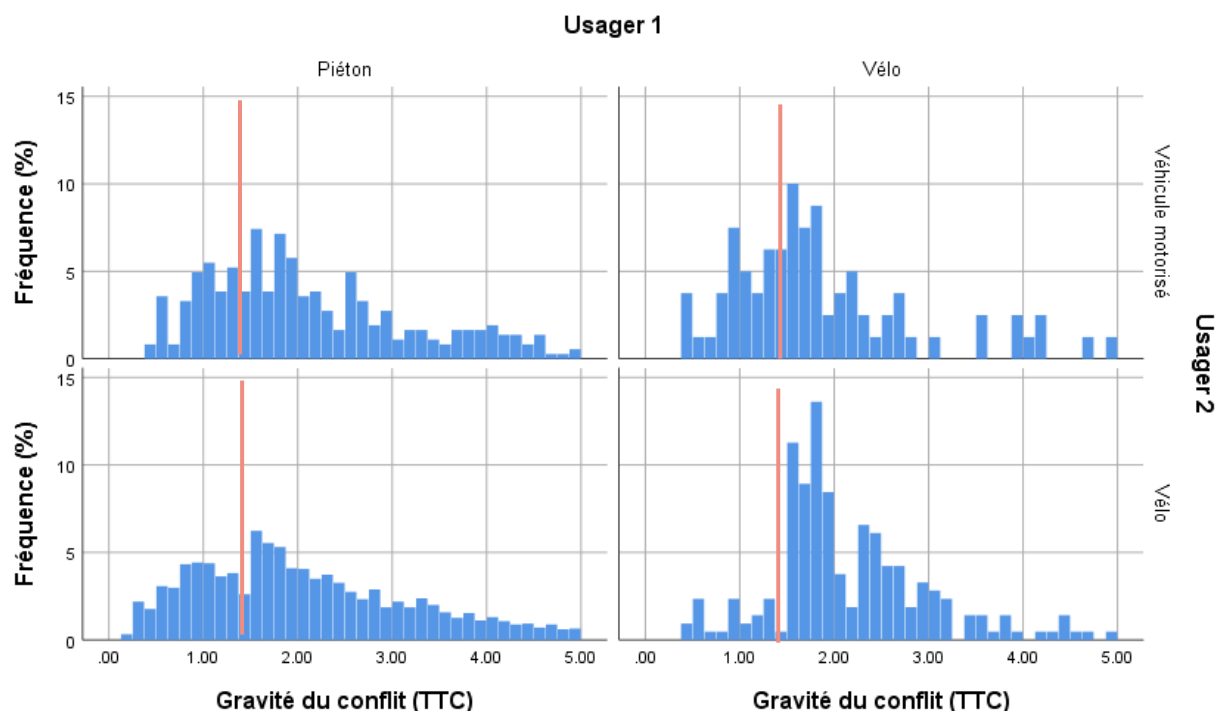


Figure 13 Répartition (en pourcentage) de la gravité du conflit pour les différents types d'interaction

La Figure 14 montre le pourcentage de conflits ($TTC_{min} < 1,5$ sec) parmi les interactions pour chaque combinaison d'utilisateurs de la route. Une fois encore, nous notons que le pourcentage de conflits pour les interactions vélo-vélo est plus faible que pour les autres combinaisons d'utilisateurs de la route. Les différences vélo-vélo vs vélo-véhicule motorisé (Wald(1)=8,9 ; $p < 0,005$) et vélo-vélo vs piéton-vélo (Wald(1)=10,1 ; $p < 0,005$) sont significatives. La différence vélo-vélo vs. piéton-véhicule motorisé est marginalement significative (Wald(1)=3 ; $p < 0,1$).

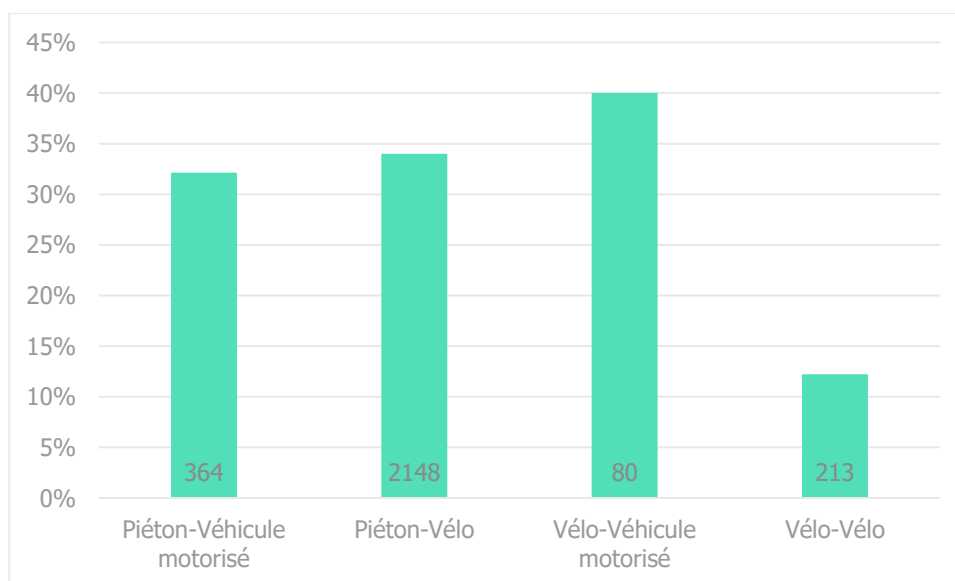


Figure 14 Pourcentage de conflits ($T_{min} < 1,5$ sec) suivant la combinaison d'utilisateurs de la route. Le nombre d'interactions pour lesquelles le pourcentage a été calculé est indiqué au bas de chaque barre.

3.2.1 Déterminants de la gravité du conflit

Dans une analyse de régression logistique, nous avons cherché à savoir quelles variables déterminent la gravité d'un conflit. Comme nous avons déjà remarqué que la gravité des conflits dépend fortement des types d'usagers de la route qui interagissent entre eux, nous avons effectué les analyses pour les différents types d'usagers de la route séparément. Nous avons notamment étudié la vitesse des usagers de la route et la densité du trafic (c'est-à-dire le nombre d'usagers présents).

Pour la vitesse, les mesures suivantes de la vitesse ont été calculées par BRISK :

- Vitesse de trajet : la vitesse médiane de l'usager de la route concerné. C'est-à-dire sa vitesse moyenne entre le moment où il apparaît à l'image et le moment où il en sort.
- Vitesse de conflit : la vitesse de l'usager de la route concerné au moment où la valeur TTC est la plus faible, c'est-à-dire au moment où les deux usagers sont le plus proche d'une collision.

Si plus de personnes se déplacent dans une zone piétonne, il y a moins de place pour s'éviter, ce qui peut entraîner une plus grande gravité des conflits. Parallèlement, une augmentation de l'espace pourrait également entraîner une augmentation des vitesses et donc une augmentation de la gravité des conflits.

Pour étudier cela, nous avons calculé les variables suivantes pour chaque quart d'heure des jours d'observation :

- Nombre d'usagers durant 15 minutes
- Nombre de piétons durant 15 minutes
- Nombre de cyclistes durant 15 minutes
- Nombre de véhicules motorisés durant 15 minutes

Toutes les variables ont été reprises dans quatre analyses de régression logistique : pour chaque combinaison d'usagers de la route, on a testé quelle caractéristique exerçait une influence sur la probabilité que l'interaction soit un conflit ($TTC_{min} < 1.5$ sec). Cette corrélation est parfaitement visible dans la valeur exponentielle du coefficient B ($Exp(B)$). Elle est égale à 1 s'il n'y a pas de corrélation et supérieure à 1 s'il y a une corrélation positive. $Exp(B)$ inférieur à 1 indique une corrélation négative.

Tableau 3 Analyse de régression logistique de la gravité des conflits : facteurs prédictifs pour $TTC_{min} < 1,5$ s.

		B	S.E.	Wald	Sig.	Exp(B)
Piéton-Véhicule motorisé	Vitesse de conflit piéton (km/h)	-0,02	0,05	0,1	0,740	0,98
	Vitesse de trajet piéton (km/h)	0,00	0,07	0,0	0,998	1,00
	Vitesse de conflit véhicule motorisé (km/h)	0,02	0,02	1,1	0,295	1,02
	Vitesse de trajet véhicule motorisé (km/h)	0,08	0,02	12,3	0,000	1,08
	Nombre de cyclistes	0,00	0,01	0,1	0,815	1,00
	Nombre de piétons	0,00	0,00	1,9	0,166	1,00
	Nombre de véhicules motorisés	0,02	0,03	0,3	0,562	1,02
	Constant	-2,55	0,69	13,5	0,000	0,08
Piéton-Vélo	Vitesse de conflit Piéton (km/h)	0,02	0,02	1,3	0,261	1,02
	Vitesse de trajet Piéton (km/h)	0,07	0,03	6,3	0,012	1,08
	Vitesse de conflit Cycliste (km/h)	0,02	0,01	5,4	0,020	1,02
	Vitesse de trajet Cycliste (km/h)	0,19	0,01	179,7	0,000	1,20
	Nombre de cyclistes	0,00	0,00	0,3	0,613	1,00
	Nombre de piétons	0,01	0,00	11,5	0,001	1,01
	Nombre de véhicules motorisés	-0,01	0,02	0,3	0,607	0,99
	Constant	-4,60	0,32	210,6	0,000	0,01
Vélo-Véhicule motorisé	Vitesse de conflit cycliste (km/h)	0,06	0,06	1,0	0,325	1,06
	Vitesse de trajet cycliste (km/h)	-0,04	0,09	0,2	0,694	0,97
	Vitesse de conflit véhicule motorisé (km/h)	0,10	0,05	3,6	0,057	1,11

	Vitesse de trajet véhicule motorisé (km/h)	0,08	0,07	1,4	0,244	1,08
	Nombre de cyclistes	-0,02	0,02	0,7	0,411	0,99
	Nombre de piétons	0,00	0,01	0,0	0,860	1,00
	Nombre de véhicules motorisés	-0,18	0,07	6,2	0,013	0,84
	Constant	-0,32	1,36	0,1	0,814	0,73
Vélo-Vélo	Vitesse de conflit cycliste (km/h)	0,17	0,05	9,5	0,002	1,18
	Vitesse de trajet cycliste (km/h)	-0,02	0,07	0,1	0,737	0,98
	Vitesse de conflit cycliste (km/h)	0,03	0,04	0,4	0,516	1,03
	Vitesse de trajet cycliste (km/h)	0,06	0,07	1,0	0,328	1,07
	Nombre de cyclistes	0,04	0,02	4,4	0,035	1,04
	Nombre de piétons	-0,01	0,01	1,7	0,198	0,99
	Nombre de véhicules motorisés	-0,11	0,08	1,7	0,198	0,90
	Constant	-5,41	1,24	19	0,000	0,00

Dans les interactions avec les piétons, c'est principalement la vitesse de trajet de la partie adverse qui détermine si l'interaction est un conflit. Plus la vitesse est élevée, plus la probabilité que le TTC_{min} soit inférieur à 1,5 sec est élevée. Dans les interactions entre cyclistes et piétons, on ajoute la vitesse de trajet du cycliste et la vitesse de conflit du piéton.

Pour les interactions entre deux cyclistes, outre la vitesse de conflit des cyclistes, le nombre de cyclistes détermine la probabilité d'un conflit. Plus le nombre de cyclistes passant à un moment donné (dans le quart d'heure au cours duquel l'interaction a lieu) est élevé, plus la probabilité que l'interaction soit considérée comme un conflit est élevée ($TTC_{min} < 1,5$). Dans les interactions entre cyclistes et véhicules motorisés, seule la vitesse de conflit du véhicule motorisé est prédictive. Les véhicules motorisés qui roulaient trop vite étaient toujours des deux-roues motorisés et pas des voitures.



Figure 15 Situation dans laquelle deux cyclistes entrent en conflit

Nous pouvons donc conclure que c'est principalement la vitesse du plus rapide des deux partenaires d'interaction qui détermine s'il y a un conflit ($TTC_{min} < 1,5$ sec) ou non. Mais le nombre de ces usagers (cyclistes dans les interactions vélo-vélo, véhicules motorisés dans les interactions vélo-véhicule motorisé) joue également un rôle, en ce sens que la probabilité d'un conflit grave est plus élevée lorsqu'un plus grand nombre d'usagers de ce type est présent.



Figure 16 Conflit dans lequel le cycliste prend rapidement sa priorité entre une voiture et des piétons

Dans l'introduction, nous avons posé la question de savoir si un trafic plus dense (nombre de piétons ou nombre de cyclistes) entraînerait un risque de conflit plus ou moins élevé. Le manque d'espace fait qu'il est plus difficile pour les cyclistes d'éviter les piétons ou les autres cyclistes, mais dans un même temps, il est moins aisé de maintenir une vitesse élevée, ce qui pourrait diminuer le risque. Dans les Figure 17 et Figure 18, nous avons représenté graphiquement le nombre de cyclistes et de piétons ayant commis un excès de vitesse à un moment donné (dans le quart d'heure où l'interaction a eu lieu) avec le nombre d'interactions observées (taille des bulles) et le nombre d'utilisateurs de la route en excès de vitesse (gradient de couleur Figure 17) ou le nombre d'interactions avec un TTC_{min} de moins de 1,5 sec (gradient de couleur Figure 18).

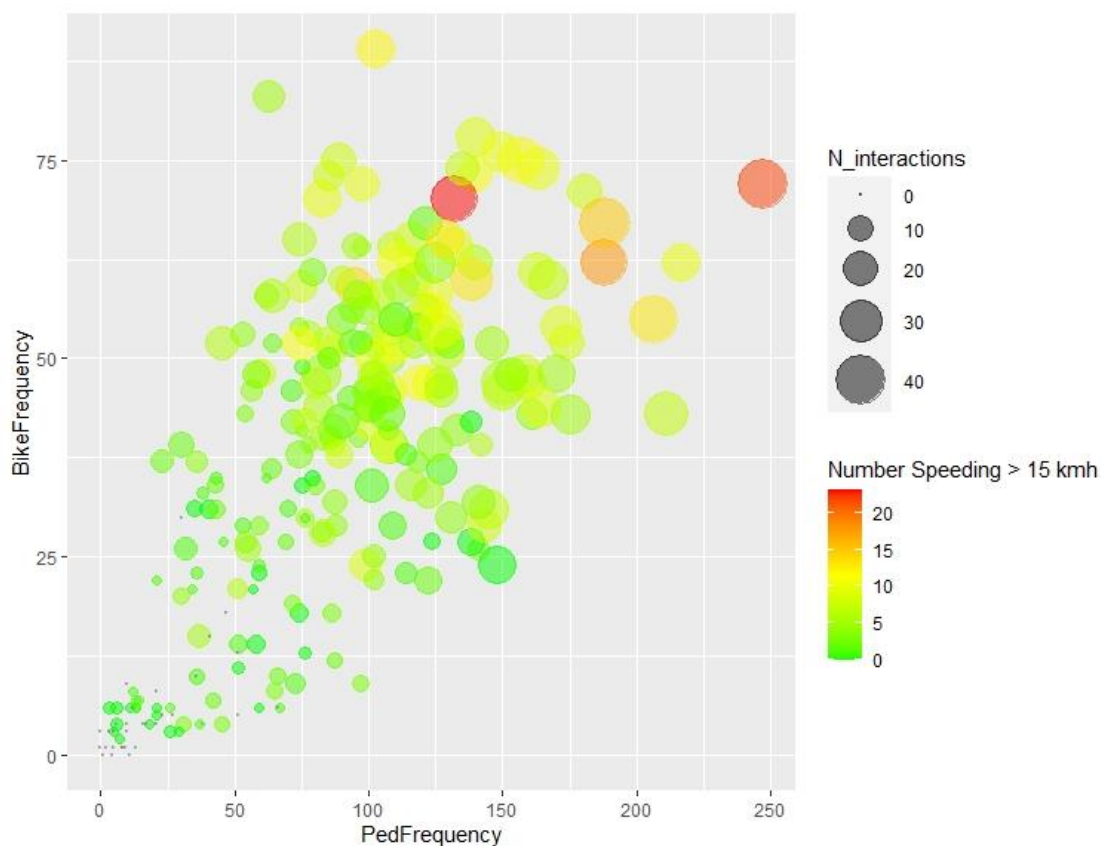


Figure 17 Relation entre le nombre de cyclistes (BikeFrequency) et de piétons (PedFrequency) présents et le nombre de vitesses > 15 km/h.

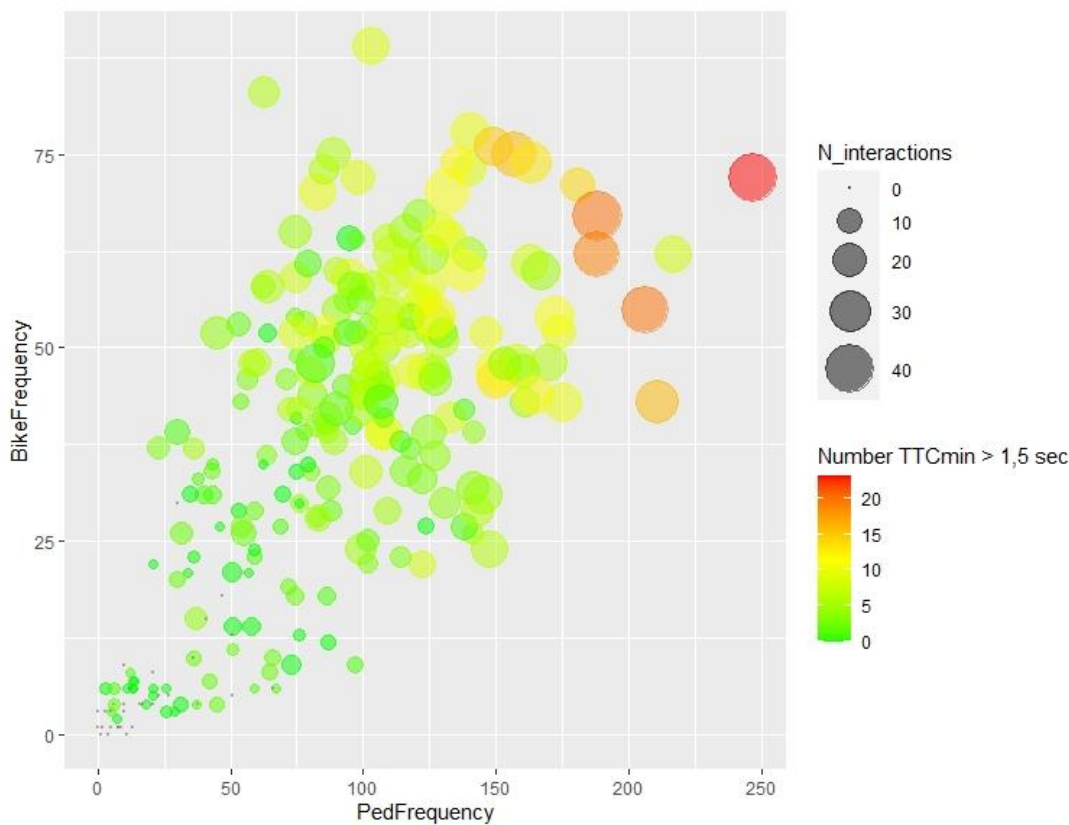


Figure 18 Relation entre le nombre de cyclistes (BikeFrequency) et de piétons (PedFrequency) présents et le nombre d'interactions avec $TTC_{min} > 1,5$ s.

Dans un certain sens, la Figure 17 et la Figure 18 reflètent quelque chose de trivial : lorsque le trafic se densifie, il y a plus d'interactions (-> grosses bulles). Le fait qu'il y ait également plus d'excès de vitesse et de conflits ne signifie pas que la *part* d'excès de vitesse et de conflits est alors plus élevée (ce n'est pas le cas), mais cela indique que même lorsque le trafic est dense, environ la moitié des cyclistes roulent à 15 km/h ou plus et qu'en termes de chiffres absolus, la plupart des conflits ont lieu lorsque la plupart des usagers sont sur la route. Les graphiques suggèrent dès lors que toute mesure de répression criminelle aurait le plus impact lorsque la densité du trafic est élevée.

3.2.2 Infractions

Le visionnage des images vidéo permet également d'identifier les infractions à la circulation.

En examinant 121 conflits détectés (avec un $TTC < 1,5s$), 69 infractions au code de la route ont été constatées. Le Tableau 4 les présente par ordre d'apparition.

Tableau 4 Infractions à la circulation routière constatées dans 121 conflits détectés

Infraction à une règle de circulation	Nombre de fois où l'infraction a été constatée
Vitesse (> 15 km/h)	38
Ne pas tenir sa droite	6
Ne pas tenir ses distances (1 m) par rapport aux piétons	6
Ne pas céder la priorité aux usagers venant en sens inverse	5
Croiser par la droite	3
Tourner à gauche	2
Dépasser par la gauche	2
Absence d'éclairage vélo	2
Dépasser par la gauche sans danger	1
Ne pas céder la priorité à droite	1

Priorité lors d'une manœuvre	1
Stationner à droite dans le sens de la circulation	1
Mettre les piétons en danger	1
Toutes les infractions à la circulation routière	69

Bien que le site d'observation à Louvain se situe juste en dehors de la zone piétonne, il a pu être établi, dans de nombreux cas, que le conducteur roulait trop vite dans la zone piétonne qu'il a quittée ou dans laquelle il est entré. La combinaison vitesse élevée et étroitesse du passage vers la zone piétonne a provoqué un certain nombre de conflits à la limite de la zone piétonne.

Les cyclistes et les cyclomotoristes n'ont pas toujours respecté la limitation de vitesse dans la zone piétonne. Officiellement, les véhicules sont tenus de circuler à l'allure du pas (6 km/h). Dans le Tableau 6, la vitesse n'est codée comme une infraction que si elle dépasse 15 km/h. Les autres infractions ont été principalement commises par des cyclistes. Le Tableau 5 montre le nombre d'infractions routières observées par type d'usager.

Tableau 5 Infractions à la circulation routière constatées par type d'usager

Infraction à une règle de circulation	Vélo	Cyclomoteur	Voiture	Camionnette	Total
Vitesse (> 15 km/h)	27	11			38
Ne pas tenir sa droite	5	1			6
Ne pas tenir ses distances (1 m) par rapport aux piétons	6				6
Ne pas céder la priorité aux usagers venant en sens inverse	5				5
Croiser par la droite	3				3
Tourner à gauche	1	1			2
Dépasser par la gauche	2				2
Absence d'éclairage vélo	2				2
Dépasser par la gauche sans danger	1				1
Ne pas céder la priorité à droite			1		1
Priorité lors d'une manœuvre	1				1
Stationner à droite dans le sens de la circulation				1	1
Mettre les piétons en danger	1				1
Toutes les infractions à la circulation routière	54	13	1	1	69

Toutes les infractions ne sont pas liées au conflit dans lequel elles ont été observées. Le Tableau 6 montre, selon notre jugement, dans combien de cas ces infractions peuvent être considérées comme causes (partielles) du conflit dans lequel elles ont été observées.

Tableau 6 Infractions constatées ayant un lien ou non avec in conflit

Infraction à une règle de circulation	Nombre de fois où l'infraction a été constatée	Sans lien avec un conflit		Lien avec un conflit	
		#	%	#	%
Vitesse (> 15 km/h)	38	23	61%	15	39%
Ne pas tenir sa droite	6	1	17%	5	83%
Ne pas tenir ses distances (1 m) par rapport aux piétons	6		0%	6	100%
Ne pas céder la priorité aux usagers venant en sens inverse	5		0%	5	100%
Croiser par la droite	3	2	67%	1	33%
Tourner à gauche	2		0%	2	100%

Dépasser par la gauche	2	2	100%		0%
Absence d'éclairage vélo	2	2	100%		0%
Dépasser par la gauche sans danger	1	1	100%		0%
Ne pas céder la priorité à droite	1		0%	1	100%
Priorité lors d'une manœuvre	1		0%	1	100%
Stationner à droite dans le sens de la circulation	1		0%	1	100%
Mettre les piétons en danger	1		0%	1	100%
Toutes les infractions à la circulation routière	69	31	45%	38	55%

Au total, un peu plus de la moitié des infractions routières que nous avons observées ont contribué à un conflit avec un autre usager de la route. Tous les conflits avec un TTCmin < 1,5 n'étaient pas graves selon notre évaluation. Par conséquent, nous indiquons également ci-dessous combien de conflits liés à une certaine infraction étaient également graves. Nous entendons par grave que l'observateur a estimé qu'il s'agissait d'une « quasi-collision » dans laquelle les usagers de la route sont passés à une distance inférieure à 1 m l'un de l'autre. (voir Section 4.3).

Comme mentionné précédemment, les excès de vitesse sont les infractions les plus fréquemment observées. Dans 39% des cas, cela a entraîné un conflit avec un autre usager de la route. Nous avons qualifié quatre de ces conflits de « graves » (voir Section 4.3).

L'infraction « Ne pas tenir ses distances » suit de loin. Dans 5 cas sur 6, cela était lié à un conflit.

Le « top 3 » est complété par le non-respect de la distance prescrite par rapport aux piétons, soit 1 m en agglomération. Cela provoquait toujours un conflit, dont trois étaient graves.

Lors de la vérification de la classification, nous avons constaté qu'au moins 13 des 37 trajets effectués à cyclomoteur et 33 des 115 trajets effectués à vélo concernaient des livraisons (de repas).

Ces livreurs ont principalement commis des excès de vitesse : ils arrivaient trop vite dans la zone piétonne ou en sortaient trop vite. Le Tableau 7 compare le nombre d'infractions commises par les livreurs (de repas) avec l'ensemble du groupe de cyclistes et de cyclomotoristes.

Tableau 7 Aperçu des infractions commises par les livreurs

	Vélo				Cyclomoteur			
	Tous		Livres		Tous		Livres	
	#	%	#	%	#	%	#	%
Nombre d'interactions	115		33		37		13	
Excès de vitesse	27	23%	14	42%	11	30%	6	46%
Autres infractions	27	23%	4	12%	2	5%	0	0%

Les livreurs roulent nettement plus souvent plus vite dans la zone piétonne que les autres cyclistes et cyclomotoristes ($\chi^2(1)=12.012$; $p<0.001$).

3.3 Conclusion analyse du comportement et des conflits

Dans les interactions entre cyclistes et piétons, mais aussi dans d'autres interactions (cyclistes et véhicules motorisés ; piétons et véhicules motorisés), la vitesse est le facteur prédominant qui détermine si les interactions débouchent ou non sur un conflit. Les conflits peuvent être déterminés en considérant la distance entre deux usagers de la route ou en identifiant deux usagers de la route sur une trajectoire de collision. Les résultats indiquent dans les deux cas le rôle prédominant de la vitesse du (des) cycliste(s) ou du (des) véhicule(s) motorisé (s) (dans ce cas, tous les deux-roues motorisés).

On pourrait s'attendre à ce que le trafic joue également un rôle majeur à cet égard. Nous avons constaté, par exemple, que les piétons se déplaçant en groupes plus importants étaient moins facilement évités par les cyclistes. Cependant, le nombre total d'usagers de la route présents au moment d'une interaction (dans les 15 minutes) a un effet très limité sur la gravité du conflit. La plupart des conflits se produisent lorsque le trafic

est élevé, mais cela est dû au fait que la plupart des interactions ont lieu à ce moment-là également. La vitesse est également l'infraction la plus courante. En chiffres absolus, c'est aussi l'infraction la plus souvent associée au conflit. Toutefois, si l'on considère le pourcentage d'infractions présentant un lien avec le conflit, les infractions au code de la route « ne pas tenir sa droite » et « ne pas tenir ses distances » sont beaucoup plus nombreuses : lorsqu'elles se sont produites, il y avait presque toujours un lien avec le conflit. Dans le cas des excès de vitesse, un lien a été trouvé dans moins de la moitié des cas.

4 Fonctionnement du logiciel automatique

« Brisk »

Une automatisation poussée de l'analyse des conflits est souhaitable, c'est pourquoi le résultat de Brisk est évalué ici. L'évaluation a principalement porté sur la classification de l'utilisateur de la route, les vitesses mesurées et la mesure de conflit utilisée, à savoir le « time-to-collision » (TTC).

4.1 Vitesses

La Figure 19 montre un boxplot des vitesses de trajet par type d'utilisateur de la route. Dans un box plot, la ligne centrale indique la médiane (c'est-à-dire la valeur pour laquelle la moitié des mesures sont supérieures et l'autre moitié inférieures). La box bleue indique la fourchette dans laquelle se situe la moitié des données (25^e à 75^e percentile) et les « whiskers » indiquent où l'on s'attendrait théoriquement (en supposant une répartition normale) à trouver le maximum et le minimum. Les astérisques sont des aberrances : elles sont plus éloignées des autres mesures que ce à quoi on pourrait s'attendre. Nous constatons qu'il existe de nombreuses aberrances. Cela peut avoir un rapport avec le fait que les vitesses ne sont pas normalement distribuées. On peut s'attendre à ce qu'il y ait plus d'aberrances avec des vitesses trop élevées qu'avec des vitesses trop faibles. Cependant, certaines valeurs ne semblent pas réalistes (piétons à plus de 20 km/h, cyclistes à plus de 60 km/h). Cela peut être le résultat d'une mauvaise classification ou d'une mauvaise mesure des vitesses.

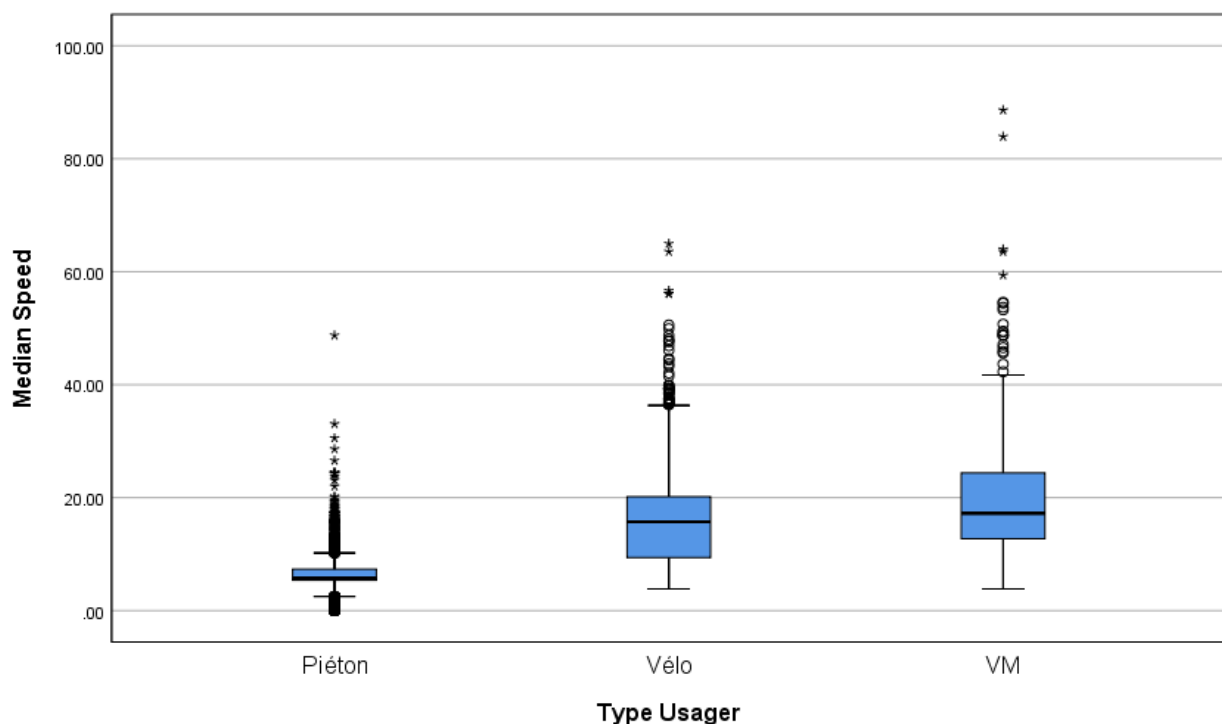


Figure 19 Boxplot des vitesses de trajet par type d'utilisateur (VM = Véhicule motorisé)

4.2 Classification

Un échantillon de 121 interactions a été examiné par un chercheur. Le nombre d'usagers de la route correctement et incorrectement classés est présenté dans le Tableau 8.

Tableau 8 Exactitude de la classification automatique des types d'usagers par Brisk

		Réalité					
		Piéton	Vélo	Moto (+cyclomoteur)	Voiture	Camionnette	Camion
Classification	Piéton	65	0	0	0	0	0
	Cycliste	8	102	2	0	0	0
	Moto (+cyclomoteur)	0	13	35	0	0	0
	Voiture	0	0	0	11	0	0
	Camionnette	0	0	0	0	5	0
	Camion	0	0	0	0	0	1

Les cyclistes étaient pris pour des cyclomotoristes surtout lorsqu'il faisait noir. Aucune erreur n'a été constatée dans la classification des grands véhicules. Ces véhicules ne sont présents que de manière limitée dans la zone piétonne.

Notez également que la classification d'un certain usager de la route ne change pas au cours de sa trajectoire. Un cycliste qui descend de son vélo et continue à pied, est toujours considéré comme un cycliste, même si le conflit a lieu après qu'il est descendu de son vélo. La classification ne se fait donc pas au moment du conflit mais au moment où l'usager de la route apparaît à l'image.

Une personne qui pousse un vélo est considérée comme un cycliste. Bien que cela ne soit pas correct du point de vue du règlement de la circulation, c'est compréhensible puisque sa silhouette ressemble fort à celle d'un véritable cycliste à vélo.

4.3 Gravité du conflit

Les 121 cas étudiés ont également été évalués par le chercheur en fonction de la gravité du conflit. Le Tableau 9 montre combien de conflits avec un TTC inférieur à 1,5s ont été jugés par le chercheur comme étant sans gravité, justifiés et graves.

Tableau 9 Évaluation de la gravité des conflits sur un échantillon de 121 conflits étudiés avec TTC<1,5s

Type de conflit	Nombre de conflits examinés (TTC<1,5s)	Sans gravité		Conflit		Grave conflit	
		#	%	#	%	#	%
Piéton – Cycliste	31	16	52%	11	35%	4	13%
Cycliste – Cycliste	25	17	68%	6	24%	2	8%
Piéton – Véhicule motorisé	34	31	91%	2	6%	1	3%
Cycliste – Véhicule motorisé	31	24	77%	6	19%	1	3%
Total	121	88	73%	25	21%	8	7%

La gravité du conflit est représentée par le time-to-collision minimal. Cette mesure est basée sur l'hypothèse que les usagers de la route maintiennent leur trajectoire. Pour les véhicules motorisés (en particulier ceux à quatre roues), cette hypothèse est réaliste, cependant, pour les usagers vulnérables, l'on sait bien que c'est beaucoup moins le cas (Laureshyn et al., 2017). La scène analysée ici - une zone piétonne où il n'y a pas de tracé clair de la route et où tout le monde marche et pédale de façon désordonnée - a accentué ce problème. Il est donc souvent arrivé que les conflits identifiés par Brisk ne soient pas vraiment critiques malgré la faible valeur de TTC.

4.4 Conclusion application Brisk

La classification des usagers de la route n'est pas toujours fiable (surtout dans l'obscurité). Dans un environnement non structuré où tous les usagers de la route se mélangent, l'utilisation de Brisk n'est donc pas recommandée sans vérifier les types d'usagers de la route identifiés. Dans un modèle de recherche où les usagers de la route peuvent être distingués par leur vitesse et leur place sur la route, cela pose cependant moins de problèmes.

Les mesures de vitesse présentent quelques aberrances, en partie dues à une mauvaise classification des usagers de la route, mais qui sont aussi le résultat de fortes fluctuations dans les vitesses calculées par le logiciel. Cela peut avoir un rapport avec la faible qualité de l'image. Dans l'ensemble, la mesure de la vitesse peut être jugée satisfaisante.

Les mesures de conflit utilisées par Brisk sont basées sur l'hypothèse d'une trajectoire constante. Elles ne sont donc pas tout à fait adaptées à ce type d'étude. Nous remarquons que l'accent est mis sur la vitesse, car à des vitesses plus élevées, même un bref changement de trajectoire (par exemple un mouvement de balancier du vélo) est considéré comme une « trajectoire de collision ». A titre d'exemple la Figure 20 montre un conflit entre un cycliste et une voiture. Le cycliste contourne deux piétons et est sur le point d'entrer en collision avec la voiture. Immédiatement après, il reprend une trajectoire à peu près parallèle à celle de la voiture et se tient également à une distance raisonnable.

L'hypothèse d'une constance plus ou moins grande a également été qualifiée de problématique par d'autres chercheurs et il existe des modèles plus complexes qui n'avancent pas cette hypothèse (par exemple, Johnson, 2019). Dans d'autres contextes d'étude, cette hypothèse peut être moins problématique. En tout cas, il serait utile que les distances entre deux usagers de la route soient fournies avec les données, ce qui n'est pas le cas jusqu'à présent.

Une autre source d'erreur possible réside dans le fait que BRISK ne fonctionne pas avec une mesure d'objets 3D, mais « simplifie » chaque usager de la route en un point qui est ensuite tracé. Il s'agit d'une simplification susceptible d'avoir un impact considérable sur les mesures (Laureshyn, et al., 2010). Dans le même ordre d'idées, ce point central n'est pas projeté sur le plan du sol, mais « flotte » au-dessus de celui-ci, pour ainsi dire. Cela signifie que la précision est non seulement plus faible, mais qu'elle peut également varier en fonction du point de l'image de la caméra. La marge d'erreur est d'autant plus grande que l'usager de la route est éloigné dans l'image. Compte tenu de la faible résolution des caméras, les mesures plus éloignées dans l'image peuvent également devenir imprécises, notamment les quantités dérivées de la position (vitesse, décélération). La précision avec laquelle la vitesse est mesurée est donc nettement moins bonne. Les données de vitesse présentent une trop grande variation et des aberrances élevées. Lorsque l'on suit un cycliste ou un piéton, la vitesse instantanée varie trop. Cela est probablement dû aussi à la qualité limitée de l'image.

En conclusion, nous pouvons affirmer que BRISK peut être une source raisonnablement fiable lorsqu'il s'agit d'une situation de trafic très structurée (des usagers de la route qui viennent tous d'une ou de deux directions et qui normalement ne changent pas spontanément de trajectoire) et que la classification du type d'usagers de la route n'est pas au centre de l'étude (ou est indiquée par la place sur la route).



Figure 20 Exemple de conflit entre un cycliste et un véhicule motorisé

5 Recommandations

5.1 Sensibilisation et politique criminelle

La présente étude a permis d'attirer l'attention sur le point le plus important, à savoir la vitesse des cyclistes. Dans une zone piétonne, les cyclistes sont en principe tenus de se déplacer à l'allure du pas, c'est-à-dire à une vitesse inférieure à 6 km/h. Cependant, la vitesse moyenne était de 18 km/h pour les cyclistes et de 19 km/h pour les véhicules motorisés. Avec une distance de freinage de 6 mètres, cette vitesse n'est pas sûre.

Dans la Figure 17, nous avons vu qu'il n'y a pas de véritable autorégulation de la vitesse du vélo. Même lorsque le trafic de piétons et de cyclistes est élevé, une large part de cyclistes roulait encore à plus de 15 km/h. Comme la plupart des conflits se produisent également lorsque le trafic est dense, il est logique de planifier les activités de répression criminelle lorsque la densité du trafic est élevée.

5.1.1 Exemple de Graz

À Graz (Autriche), une vitesse moyenne de 17 km/h a été mesurée dans la zone piétonne. En installant des radars interactifs, cette vitesse a déjà pu être réduite de 2 km/h. En outre, 14 agents de la police cycliste sont en service à Graz. Ils mesurent parfois aussi la vitesse des cyclistes à l'aide de speedguns. « Nous préférons jouer la carte de la sensibilisation, la sanction est le dernier recours », souligne le commandant de la police de la ville, Kurt Kemeter.¹ Mais des sanctions sont également imposées : un excès de vitesse dans la zone piétonne est considéré comme une infraction administrative et coûte 20 euros.



Figure 21 Sensibilisation dans une zone réservée aux piétons à Graz, Autriche

5.1.2 Livreurs (de repas)

Pour les cyclomotoristes et les cyclistes, nous avons constaté que près de la moitié des livreurs roulaient (beaucoup) trop vite dans la zone piétonne. Les livreurs à vélo ont également commis plusieurs autres infractions, lesquelles n'ont pas été commises par les livreurs à cyclomoteur.

Les livreurs travaillent principalement le soir et sous pression. Les livreurs indépendants sont également payés à la livraison. Ces conditions de travail peuvent affecter le comportement dans la circulation de certains livreurs.

Les mesures susceptibles de modifier ce comportement ne sont pas simples. La charge de travail est une réalité, puisque la plupart des gens commandent des repas aux mêmes heures. En concertation avec les établissements Horeca et les plateformes de livraison, il est possible de développer un système d'évaluation dans lequel le respect des limitations de vitesse est pris en compte dans l'évaluation du livreur. Les apps utilisées par les livreurs indépendants fournissent déjà des instructions de navigation et certaines plateformes de livraison tracent déjà leurs coursiers. Cette fonctionnalité pourrait être étendue pour vérifier que les livreurs respectent bien les limitations de vitesse en vigueur.

¹ <https://kurier.at/chronik/oesterreich/17-km-h-sind-zu-schnell-fuer-die-fuero/204.494.946>

5.1.3 Tenir sa droite

Comme sur les autres routes, les conducteurs sont tenus de tenir leur droite autant que possible dans les zones piétonnes. Ne pas tenir sa droite est la deuxième infraction la plus courante relevée lors des observations de conflits. Dans 5 cas sur 6, cette infraction était liée au conflit observé.

Ceci ne s'applique qu'aux routes (comme la Tiensestraat à Louvain) et pas aux places (comme les sites choisis à Bruxelles et à Louvain-la-Neuve).

Pour le bon fonctionnement des zones piétonnes aménagées sur les routes, il nous semble donc opportun de rappeler aux conducteurs les règles générales de circulation comme le fait de tenir sa droite.

5.2 Infrastructure

Sur la base de recherches empiriques, on considère un trafic totalement mixte entre piétons et cyclistes jusqu'à des densités de 100 piétons par heure par largeur de route (Godefroi & Van Hal, 2005) et en Allemagne (Schubert, 1984).

Densité de piétons	Répartition de l'espace
< 100 par m	Espace totalement partagé
100 – 160 par m	Séparation visuelle
160 – 200 par m	Séparation visuelle et différence de hauteur (2-7 cm)
> 200 par m	Partage impossible

Source : EC Project PRESTO (2010)

Les recommandations de la littérature internationale correspondent relativement bien à nos résultats. Dans la Figure 18, nous pouvons voir que dans le Tiensestraat à Louvain, jusqu'à 100 piétons par quart d'heure (400 par heure), peu de conflits ont été observés. Les voies d'accès ayant une largeur de 3 mètres, cela correspond approximativement à 130 piétons par heure et par mètre. À partir de 150 piétons par heure, il y a eu de nombreux conflits, ce qui correspond à 200 piétons par heure et par mètre, au-delà desquels, selon la littérature internationale, une combinaison de trafic cycliste et piétonnier n'est plus recommandée.



Figure 22 Passage étroit au début de la zone piétonne dans la Tiensestraat à Louvain

Au minimum, des marquages visuels et tactiles sont proposés pour les routes ou les places avec une forte densité de piétons. C'est également ce qui a été réalisé dans le prolongement de la Tiensestraat. Il y avait beaucoup de conflits surtout au début de cette route (là où la route se rétrécit).

Cependant, le trafic cycliste semble également jouer un rôle. À partir de 50 cyclistes par quart d'heure (soit environ 70 par mètre de largeur et par heure), le nombre de conflits a augmenté, même lorsque la densité de piétons était faible. Par conséquent, pour des routes aussi populaires auprès des cyclistes que la Tiensestraat à Louvain, la question est de savoir si la circulation non structurée sur la place où l'observation a eu lieu et le rétrécissement de la route qui s'ensuit constituent un aménagement approprié en cas de forte affluence.

6 Conclusions

Dans l'introduction, nous avons formulé un certain nombre de questions, auxquelles nous tenterons de répondre une à une dans cette conclusion.

6.1 Est-il judicieux d'autoriser les cyclistes dans les zones piétonnes ?

À Louvain, nous avons recensé 16 « close passings » en 4 jours. Une analyse de suivi a montré que dans quatre cas, il s'agissait de conflits réellement dangereux, lesquels auraient pu donner lieu à une collision. La Tiensestraat à Louvain, avec sa route assez étroite, et en même temps une affluence importante de piétons et de cyclistes, doit donc être considérée comme un cas périphérique où les collisions ne peuvent être exclues. La vitesse dans ces conflits était généralement comprise entre 20 et 30 km/h, ce qui rend une blessure grave possible mais peu probable.

A Louvain-la-Neuve et à Bruxelles, où les places étudiées sont très spacieuses, seuls 2 « close passings » ont été identifiés et aucun d'entre eux n'était dangereux. Sur ces deux places, la situation peut donc être considérée comme inoffensive. Cela s'applique probablement à toutes les situations où il ne passe pas plus de 30 cyclistes par mètre de largeur de route par heure.

6.2 Quels facteurs influencent le risque de conflits ?

Le facteur le plus important est la **vitesse** des usagers de la route. Si une grande part des cyclistes conduisent très prudemment, cela n'est pas le cas de tous les cyclistes. De nombreux excès de vitesse ont été constatés, notamment pour les livreurs de repas se déplaçant à vélo ou à cyclomoteur. Le risque de conflit est structurellement plus élevé en cas d'excès de vitesse, tout comme le risque de blessure - si une collision se produit.

Le **trafic** exerce moins d'influence. En général, les usagers de la route adaptent leur vitesse à la situation. Le pourcentage de conflits avec un petit TTC n'est donc que faiblement lié au nombre d'usagers sur la route au moment du conflit. Néanmoins, les grandes affluences exigent un meilleur contrôle de la vitesse et, en termes absolus, le nombre de conflits graves est plus élevé aux moments où le trafic est dense.

Deux règles importantes pour les cyclistes sont « **tenir sa droite** » et « **tenir ses distances** ». La plupart des cyclistes le font aussi. Cependant, parmi les cyclistes qui ne l'ont pas fait, il y avait un pourcentage élevé de conflits graves, voire dangereux.

La répression criminelle doit donc porter sur la vitesse, mais aussi sur la validité des règles générales de circulation - comme le fait de tenir sa droite dans une zone piétonne. Ce dernier point peut également être soutenu par des marquages tactiles sur la route.

6.3 Le traitement d'image automatique est-il valide ?

Le logiciel de traitement d'images peut être d'une grande aide pour les différentes étapes de l'analyse des conflits et des comportements. Dans le cas de Brisk, les usagers de la route entrant en conflit ont été classés en catégories (piéton, cycliste, moto (y compris cyclomoteur), voiture, camionnette et camion), le conflit a été classé par type (une combinaison de deux usagers de la route) et la gravité du conflit a été calculée sur la base du TTC.

La catégorisation des usagers de la route est assez précise, surtout si l'on considère la qualité limitée des images. Au total, seuls 15 usagers de la route ont été mal classés sur un échantillon de 242 usagers de la route (121 conflits). Cela représente une précision de 93,8 %. Les cyclomotoristes étaient parfois confondus avec les cyclistes ou vice versa, surtout dans l'obscurité. Une autre erreur se produit lorsqu'un cycliste descend de son vélo et se retrouve impliqué dans un conflit en tant que piéton. Dans ce cas, le logiciel Brisk continue de le considérer comme un cycliste.

Le manque de fiabilité des valeurs de vitesse entraîne à son tour un manque de fiabilité des valeurs de TTC calculées, de sorte que parfois même des TTC très faibles (<0,5 s) ne signifient pas la survenance d'un conflit grave.

Références

- Arun, A.; Hague, M., M.; Bhaskar, B.; Washington, S.; Sayed, T. (2021) A systematic mapping review of surrogate safety assessment using traffic conflict techniques, *Accident Analysis & Prevention*, Volume 153. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2021.106016>
- Beitel, D.; J Stipancic, J.; K Manaugh, K. (2018). Assessing safety of shared space using cyclist-pedestrian interactions and automated video conflict analysis. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 65, December 2018, Pages 710-724
- Brown, G. R. (1994). Traffic conflicts for road user safety studies. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 21(1), 1–15. <https://doi.org/10.1139/I94-001>.
- De Ceunynck, T., Pelssers, B. & Daniels, S. (2020) *Gevleugelde oversteekplaatsen op 2x2 wegen – Evaluatiestudie aan de hand van gedrags- en conflictobservatie*, Brussel, België: Vias institute – Kenniscentrum Verkeersveiligheid.
- Godefroi, H., van Hal, E. & Temme, R. (2005) Rapport over de (on)mogelijkheden om fietsers toe te laten in voetgangersgebieden, met een duidelijke richtlijn. Fietsberaad CROW, NL.
- Graw, M; König, H.G. (2002). Fatal pedestrian–bicycle collisions. *Forensic Science International* 126, nr. 3; 241–47. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(02\)00085-3](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(02)00085-3).
- Hayward, J. C. (1972) 'Near-miss determination through use of a scale of danger'. *Highway Research Record* 384: 24–34.
- Johnson, C. (2019). Detecting evasive actions from trajectory data. 32ND ICTC CONFERENCE 2019-10-25, Warswa, Poland. <https://www.ictc.net/wp-content/uploads/32-Warsaw-2019/32-Johnsson-presentation.pdf>
- C. Johnsson, C. ; A. Lareshyn, A. ; T. De Ceunynck, T. (2018). In search of surrogate safety indicators for vulnerable road users: a review of surrogate safety indicators. *Transp. Rev.* (2018), pp. 1-21, 10.1080/01441647.2018.1442888
- Lareshyn, A, de Goede, M., Saunier, N., & Fyhri, A. (2017) Cross-comparison of three surrogate safety methods to diagnose cyclist safety problems at intersections in Norway. *Accident Analysis & Prevention* 105: 11–20. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2016.04.035>.
- Lareshyn, A.; Svensson, Å.; Hydén, C. (2010). Evaluation of traffic safety, based on micro-level behavioural data: Theoretical framework and first implementation. *Accident Analysis & Prevention* 42, nr. 6; 1637–46. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2010.03.021>.
- Nuytens, N. (2013) Onderregistratie van verkeersslachtoffers. Vergelijking van de gegevens over zwaar gewonde verkeersslachtoffers in de ziekenhuizen met deze in de nationale ongevallenstatistieken.
- Pelssers, B., Riguelle, F., Schoeters, A. & Leblud, J. (2017) Themadossier verkeersveiligheid nr. 9. Snelheid. Brussel, België: Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid - Kenniscentrum Verkeersveiligheid
- PRESTO (2010) Giving cycling a push: Cyclists and Pedestrians. Factsheet of the EC project PRESTO: "Promoting Cycling for Everyone as a Daily Transport Mode". https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/cycling-guidance/07_presto_infrastructure_fact_sheet_on_cyclists_and_pedestrians_0.pdf
- Schubert, H. (1984). Radfahren im Fussgängerbereich, *Strassenverkehrstechnik* nr. 6, 1984
- Van der Horst, A. R. A. (1990). A Time-based Analysis of Road-User Behaviour at Intersections. 91–107.
- Wu, J. ; Xu, H. ; Zheng, Y. ; Tian, Z. (2018). A novel method of vehicle-pedestrian near-crash identification with roadside LiDAR data. *Accident Analysis & Prevention*, 2018 – Elsevier

