POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Projet pilote sur les vélorues : étude de la compréhension, des comportements et de la sécurité des usagers vulnérables

TRISTAN FORTIN

Département des génies civil, géologique et des mines

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

Génie civil

Février 2025

© Tristan Fortin, 2025.

POLYTECHNIQUE MONTRÉAL

affiliée à l'Université de Montréal

Ce mémoire intitulé :

Projet pilote sur les vélorues : étude de la compréhension, des comportements et de la sécurité des usagers vulnérables

présenté par **Tristan FORTIN**

en vue de l'obtention du diplôme de *Maîtrise ès sciences appliquées*

a été dûment accepté par le jury d'examen constitué de :

Martin TRÉPANIER, président
Nicolas SAUNIER, membre et directeur de recherche
Owen WAYGOOD, membre

REMERCIEMENTS

Je tiens tout d’abord à remercier mon directeur de recherche, Nicolas Saunier, qui a su m’épauler avec bienveillance et rigueur tout au long de cette étude.

Je voudrais ensuite remercier la Ville de Montréal pour leur appui et leur confiance, ainsi que le Ministère des Transports et de la Mobilité Durable pour le financement du projet à travers programme d’aide financière du Fonds de la sécurité routière.

Je tiens également à remercier Edem Houndjafo pour son aide lors des collectes de données.

Enfin et surtout, merci à mes parents.

RÉSUMÉ

Les vélorues, conçues comme des aménagements cyclables privilégiant la circulation des cyclistes tout en limitant le débit automobile, constituent une innovation relativement récente dans le paysage des infrastructures cyclables. Au Québec, elles ont été officiellement intégrées au Code de la sécurité routière en 2018, où elles sont définies comme « tout ou partie d'un chemin public sur lequel la circulation des cyclistes est favorisée ». Malgré leur potentiel, ces aménagements, encore peu répandus, demeurent mal compris tant par les cyclistes que par les automobilistes. Pour remédier à cette situation, la Ville de Montréal a bonifié deux vélorues existantes afin d'améliorer leur visibilité et leur fonctionnalité. Cette étude examine l'impact de ces modifications sur la compréhension et les comportements des usagers en adoptant une approche mixte, combinant enquête par sondage et analyse vidéo.

Le sondage, administré avant et après les bonifications des aménagements, a révélé des améliorations au niveau de la compréhension et la perception des vélorues par les usagers. La proportion de répondants se disant familiers avec le concept est passée de 48,1 % à 51,7 %. Les perceptions liées à la priorité accordée aux cyclistes et à leur sécurité se sont également sensiblement améliorées, notamment parmi les répondants plus jeunes et les hommes. Par exemple, la part des participants évaluant leur sécurité et leur confort comme élevés ou très élevés a augmenté de 29,0 % à 42,7 %. Par ailleurs, la proportion de répondants affirmant qu'ils n'utiliseraient pas une vélorue accompagnés d'un enfant a diminué, passant de 53,4 % à 41,3 %, reflétant une amélioration notable de la perception de la sécurité.

Les résultats de l'analyse vidéo se sont concentrés sur les débits de circulation, les positions latérales des cyclistes et les vitesses des véhicules. Parmi les quatre sites à l'étude, un seul a montré une augmentation du ratio cyclistes-automobilistes, alors que les autres ont enregistré des baisses, mettant en évidence les défis persistants pour réduire présence automobile sur les vélorues. L'analyse des positions latérales des cyclistes a montré une tendance générale à circuler sur la droite de la chaussée, ainsi qu'une plus grande liberté de positionnement après les changements apportés aux aménagements. De manière préoccupante, les vitesses des véhicules motorisés ont augmenté sur trois des quatre sites, reflétant un manque d'adaptation des automobilistes aux objectifs des vélorues et soulevant des inquiétudes quant à la sécurité et au confort des cyclistes.

Les indicateurs de sécurité, tels que les temps inter-véhiculaires et les temps à la collision, ainsi que l’analyse des dépassements des cyclistes par des automobilistes, ont révélé un nombre limité d’occurrences, limitant la portée des conclusions sur la sécurité des interactions.

ABSTRACT

Bicycle boulevards, defined as streets with low motorized traffic volumes and speeds where cyclists are given priority, are relatively recent additions to cycling infrastructure, particularly in Quebec, where they were incorporated into the provincial highway safety code in 2018, where they are defined as “any portion of a public road where cyclist traffic is given priority”. Despite their potential to improve cycling conditions, these facilities remain poorly understood by both cyclists and motorists. To address these challenges, the City of Montreal upgraded two existing bicycle boulevards to enhance their visibility and functionality. This study evaluates the impact of these modifications using a mixed-methods approach, combining user surveys and video-based behavioral analysis.

The survey, administered before and after the improvements, revealed incremental improvements in users’ understanding and perception of bicycle boulevards. Awareness increased slightly, with 51.7 % of respondents indicating familiarity with the concept post-intervention, compared to 48.1 % before. Perceptions of cyclist priority and safety showed significant improvement, particularly among younger respondents and men. For instance, the proportion of respondents perceiving high or very high levels of safety and comfort rose from 29.0 % to 42.7 %. Notably, the share of respondents unwilling to cycle with children on a bicycle boulevard dropped from 53.4 % to 41.3 %, indicating a positive shift in perceived safety.

Findings from the video analysis focused on traffic volumes, cyclists’ lateral positioning, and vehicle speeds. While one site exhibited an increase in the cyclist-to-motorist ratio, the other three showed declines, highlighting ongoing challenges in reducing motor vehicle dominance on bicycle boulevards. Cyclists were generally observed to position themselves on the right side of the street, with some variability suggesting greater freedom in lateral positioning post-intervention. Alarmingly, motor vehicle speeds increased at three of the four sites, reflecting limited adaptation by motorists to the intended objectives of bicycle boulevards and raising concerns about cyclist safety and comfort.

Safety indicators, including time headway and time-to-collision, as well as overtaking events, provided limited data due to the low frequency of such occurrences, constraining the scope of the conclusions about interaction safety.

TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS III

RÉSUMÉ IV

ABSTRACT VI

LISTE DES TABLEAUX X

LISTE DES FIGURES XI

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS XV

LISTE DES ANNEXES XVI

CHAPITRE 1 INTRODUCTION 1

1.1 Problématique 2

1.2 Objectifs de recherche 2

1.3 Plan du mémoire 3

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE 4

2.1 La vélorue au Québec et ailleurs 4

2.2 Analyse de la circulation 5

2.2.1 Caméra vidéo 6

2.2.2 Traitement des données vidéo 7

2.2.3 Étude de la sécurité routière 8

2.2.4 Applications 9

2.3 Études sur les vélorues 11

CHAPITRE 3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE 14

3.1 Analyse avant-après 14

3.2 Sites étudiés 14

3.2.1 Rue Villeray 15

3.2.2 Avenue Laurier 17
3.3 Bonifications des aménagements 18
3.4 Particularités du projet 19
CHAPITRE 4 ENQUÊTE AUPRÈS DES USAGERS 21
4.1 Méthodologie 21
4.1.1 Questionnaire 21
4.1.2 Administration du sondage 22
4.2 Résultats 24
4.2.1 Portrait des répondants 24
4.2.2 Connaissance de la vélorue 28
4.2.3 Expérience de la vélorue 32
4.3 Difficultés rencontrées 39
4.4 Synthèse 40
CHAPITRE 5 ANALYSE VIDÉO 41
5.1 Méthodologie 41
5.1.1 Collecte de données 43
5.1.2 Calibration de la caméra 45
5.1.3 Correction des données 45
5.1.4 Projection des images dans le monde réel 46
5.1.5 Détection, suivi et classification 46
5.1.6 Gestion des données 49
5.1.7 Mesure des positions latérales 50
5.1.8 Mesure des vitesses 51
5.1.9 Analyse des interactions 52

5.2 Résultats 53
5.2.1 Débits 53
5.2.2 Positions latérales des cyclistes 59
5.2.3 Vitesses moyennes des voitures 67
5.2.4 Temps inter-véhiculaires (TIV) et temps à la collision (TTC) 70
5.2.5 Dépassements 73
5.3 Difficultés rencontrées 75
5.4 Synthèse 75
CHAPITRE 6 CONCLUSION 77
RÉFÉRENCES 79
ANNEXES 83

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 4-1 : Périodes de collecte de données pour les deux phases d'études 21

Tableau 4-2 : Sorties organisées pour l'administration du questionnaire 23

Tableau 4-3 : Nombre de répondants au sondage 25

Tableau 4-4 : Taux de bonnes réponses pour les questions de type « vrai ou faux » 31

Tableau 4-5 : Résultats de la régression logistique 36

Tableau 5-1 : Dates et durées des séquences vidéo 44

Tableau 5-2 : Débits observés sur les vélorues à l'étude 54

Tableau 5-3 : Durées des séquences vidéo pour les collectes incomplètes 55

Tableau 5-4 : Résultats des tests u de Mann-Whitney comparant les distributions des positions latérales moyennes et à mi-tronçon 62

Tableau 5-5 : Résultats des tests U de Mann-Whitney comparant les distributions des vitesses instantanées à mi-tronçon pour les phases « Avant » et « Après » 70

Tableau 5-6 : Situations de dépassements 73

LISTE DES FIGURES

Figure 3-1 : Échéancier du projet 14

Figure 3-2 : Vélorues étudiées sur la rue Villeray et l'Avenue Laurier 15

Figure 3-3 : Exemple d'aménagement sur la vélorue Villeray avant les changements (Source : Google Maps) 16

Figure 3-4 : Déviateur à l'intersection Villeray / Sainte-Dominique 17

Figure 3-5 : Exemple d'aménagement sur la vélorue Laurier avant les changements (Source : Google Maps) 18

Figure 3-6 : Déviateur à l'intersection Laurier / 2e Avenue (Source : Google Maps) 18

Figure 3-7 : Exemple d'aménagement sur la vélorue Laurier après les bonifications 19

Figure 4-1 : Exemple d'affiches installées comportant un code QR pour répondre au sondage ... 24

Figure 4-2 : Répartition des répondants par genre 25

Figure 4-3 : Répartition des répondants par groupe d'âge 26

Figure 4-4 : Répartition des répondants selon l'occupation principale 26

Figure 4-5 : Proportion des répondants possédant un permis de conduire ainsi qu'une voiture ... 27

Figure 4-6 : Répartition des répondants selon la fréquence de la pratique du vélo 28

Figure 4-7 : Répartition des répondants selon la raison principale de la pratique du vélo 28

Figure 4-8 : Réponses à la question « Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation ? » 29

Figure 4-9 : Réponses à la question « Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation ? » selon la fréquence de la pratique du vélo 30

Figure 4-10 : Réponses à la question « Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation ? » selon la proximité du domicile d'une vélorue 30

Figure 4-11 : Réponses à la question « Avez-vous l'impression que les cyclistes ont la priorité de circulation sur une vélorue ? » 32

Figure 4-12 : Réponses à la question « Avez-vous l'impression que les cyclistes ont la priorité de circulation sur une vélorue ? » selon la fréquence de la pratique du vélo 33

Figure 4-13 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? » 33

Figure 4-14 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? » selon le groupe d'âge 34

Figure 4-15 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? » selon le genre 34

Figure 4-16 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? » selon la fréquence de la pratique du vélo ... 35

Figure 4-17 : Réponses à la question « En circulant à vélo sur une vélorue, est-ce que les véhicules tentent de vous dépasser, ou vous suivent de trop près ? » 37

Figure 4-18 : Réponses à la question « Circulez-vous à vélo avec des enfants sur une vélorue ? » 37

Figure 4-19 : Réponses à la question « Qu'est-ce qui nuit à la sécurité et au confort sur une vélorue ? » 38

Figure 4-20 : Réponses à la question « Comment pourrait-on améliorer la sécurité et le confort sur une vélorue ? » 39

Figure 5-1 : Schéma de la méthodologie employée pour l’analyse vidéo 41

Figure 5-2 : Quatre tronçons choisis pour l’analyse vidéo 42

Figure 5-3 : Exemples d'images tirées des enregistrements vidéo pour les quatre sites choisis ... 43

Figure 5-4 : Installation typique des caméras sur poteaux télescopiques 45

Figure 5-5 : Exemple de masque appliqué pour le site Laurier / 9e Avenue 47

Figure 5-6 : Exemple de détection d’objets 48

Figure 5-7 : Projection dans un système de coordonnées curvilignes 49

Figure 5-8 : Schéma de la base de données relationnelle (après analyse vidéo) 50

Figure 5-9 : Évolution des débits cycliste et motorisé pour la phase « Après » du site Villeray / Henri-Julien 56

Figure 5-10 : Évolution des débits cycliste et motorisé pour la phase « Avant » du site Laurier / 9e Avenue 56

Figure 5-11 : Localisation des déviateurs sur les vélorues étudiées 58

Figure 5-12 : Diagrammes en violon des positions latérales moyennes des cyclistes sur les vélorues étudiées 60

Figure 5-13 : Diagrammes en violon des positions latérales à mi-tronçon des cyclistes sur les vélorues étudiées 61

Figure 5-14 : Diagrammes en violon des écarts-types des positions latérales des cyclistes sur les vélorues étudiées 63

Figure 5-15 : Exemple d'un cycliste devant s'arrêter en raison de la congestion automobile 65

Figure 5-16 : Exemple d'un cycliste devant circuler sur le côté de la vélorue en raison de la circulation automobile 65

Figure 5-17 : Exemple d'un cycliste circulant sur la droite de la vélorue pour la phase « Avant » 66

Figure 5-18 : Exemple d'un cycliste circulant sur la droite de la vélorue pour la phase « Après » 66

Figure 5-19 : Diagrammes en violon des vitesses moyennes des voitures sur les vélorues étudiées 68

Figure 5-20 : Diagrammes en violon des vitesses instantanées à mi-tronçon des voitures sur les vélorues étudiées 69

Figure 5-21 : Diagrammes en violon des TIV moyens entre les cyclistes suivis par des automobilistes 71

Figure 5-22 : Diagrammes en violon des TTC minimums entre les cyclistes suivis par des automobilistes 72

Figure 5-23 : Exemple de cycliste circulant à droite de la vélorue lors d'une situation de dépassement 74

LISTE DES SIGLES ET ABRÉVIATIONS

CSR	Code de la sécurité routière du Québec
DIV	Distance inter-véhiculaires
IPS	Images par secondes
MSS	Mesures substituts de sécurité
MTMD	Ministère des Transports et de la Mobilité Durable
PET	Temps de post-empiètement
REV	Réseau express vélo
SIG	Système d'information géographique
TET	Temps d'exposition à la collision
TIT	Temps intégré à la collision
TTC	Temps à la collision

LISTE DES ANNEXES

ANNEXE A Questionnaire (version en ligne) 83

CHAPITRE 1 INTRODUCTION

Introduit dans le Code de la sécurité routière du Québec (CSR) en 2018, le concept de vélorue se définit comme « tout ou partie d'un chemin public sur lequel la circulation des cyclistes est favorisée ». De façon connexe, le Ministère des Transports et de la Mobilité Durable (MTMD) définit la vélorue comme une « rue officiellement reconnue comme voie cyclable sur laquelle la circulation des cyclistes est favorisée » [1]. Plus concrètement, la vélorue est un aménagement cyclable à faible débit automobile, où les cyclistes sont encouragés à circuler au milieu de la chaussée et à occuper toute la largeur, y compris à deux de front (côte à côte). La limite de vitesse pour les voitures sur ces routes est de 30 km/h [1]. Les automobilistes sont autorisés à circuler sur la vélorue, mais doivent impérativement céder le passage aux cyclistes. Le dépassement y est permis, sous réserve qu'il s'effectue en toute sécurité, c'est-à-dire en ralentissant et en maintenant une distance suffisante entre le véhicule et le cycliste. La distance de dépassement de 1 m prescrite dans le CSR ne s'applique pas à la vélorue, étant un aménagement particulier. Divers éléments de conception tels que des déviateurs, des chaussées étroites, des lignes de vue dégagées, et des saillies de trottoir peuvent être implantés en tant que mesures de modération de la circulation.

Les vélorues sont idéalement implantées dans des zones urbaines propices à un fort débit de cyclistes, caractérisées par un trafic motorisé limité à moins de 500 véhicules par jour, avec un seuil maximal de 1000, et comportant généralement une seule voie de circulation par direction, tout en excluant les itinéraires de transport en commun. Ces infrastructures visent à établir un réseau cyclable sécuritaire et fonctionnel, favorisant l'adoption du vélo comme mode de transport privilégié. Le concept de vélorue se décline à l'échelle mondiale sous diverses appellations, telles que les « zones cyclables » en Belgique ou les « neighborhood greenways » en Nouvelle-Zélande. Ces aménagements reposent sur un principe commun : accorder la priorité aux cyclistes tout en incitant les automobilistes à partager la chaussée dans un esprit de respect mutuel. Ils participent ainsi à la création d'environnements urbains plus inclusifs et sécuritaires pour l'ensemble des usagers. Popularisées en Europe au début du 21e siècle, les vélorues se sont progressivement exportées sur plusieurs continents, s'adaptant à des contextes variés tout en conservant leurs objectifs fondamentaux.

1.1 Problématique

Depuis 2019, la Ville de Montréal a procédé à l'implantation de vélorues dans plusieurs arrondissements, totalisant actuellement neuf aménagements répartis sur son territoire. Malgré leur potentiel indéniable, ces infrastructures restent marginales et largement méconnues par la majorité des usagers de la route. Des observations ont en effet mis en évidence des comportements problématiques, tant du côté des automobilistes que des cyclistes, ainsi que des difficultés à comprendre et à s'approprier ces aménagements. Consciente de ces enjeux, la Ville a fait appel à Polytechnique Montréal pour conduire une étude approfondie.

Menée dans le cadre d'un projet pilote de la Ville et financée par le programme d'aide financière du Fonds de la sécurité routière, cette étude visait à évaluer les répercussions des améliorations apportées aux installations existantes sur divers aspects, tels que la perception des usagers, leurs interactions et la sécurité globale. Les résultats de cette analyse contribueront à l'enrichissement de la fiche technique dédiée à cet aménagement pour la Ville de Montréal, favorisant ainsi son perfectionnement continu et une meilleure appropriation par les usagers et les résidents avoisinants. Par ailleurs, à une échelle plus large, cette recherche permettra de mieux cerner les facteurs contribuant à la sécurité des cyclistes et à l'encouragement des déplacements à vélo, soutenant ainsi des initiatives de mobilité durable et sécuritaire.

1.2 Objectifs de recherche

L'objectif principal du projet est de caractériser les impacts des aménagements proposés de vélorues sur la compréhension, le comportement et la sécurité des usagers vulnérables. Il se décline en trois sous-objectifs :

1. Élaborer une méthodologie d'étude des vélorues avant-après la modification des aménagements;
2. Mesurer la compréhension de l'aménagement par les usagers à l'aide d'un sondage;
3. Caractériser le comportement et mesurer la sécurité des cyclistes par observation directe (analyse vidéo).

1.3 Plan du mémoire

Le mémoire est structuré en six chapitres. Le Chapitre 1 présente l'introduction, tandis que le Chapitre 6 regroupe la conclusion, les limites et les perspectives de l'étude. Les autres chapitres se déclinent ainsi :

- Le Chapitre 2 est une revue de littérature qui explore les aménagements de vélorues au Québec et à l'international. Les principales méthodes de collecte des données liées à l'analyse de la circulation y sont présentées, en mettant un accent particulier sur l'utilisation des caméras vidéo, outil clé de cette étude. Enfin, il aborde le traitement des données vidéo et ses applications en sécurité routière, notamment pour les vélorues.
- Le Chapitre 3 décrit l'approche globale de l'étude, basée sur une analyse avant-après combinant un sondage et une analyse vidéo. Les deux sites étudiés, les vélorues Villeray et Laurier, sont présentés, suivis d'une description des bonifications apportées aux aménagements et des particularités du projet.
- Le Chapitre 4 traite de l'enquête menée auprès des usagers à travers un sondage visant à évaluer leur compréhension et expérience des aménagements, avant et après les bonifications. Ce chapitre détaille le questionnaire, les méthodes d'administration et présente les résultats selon trois axes : le profil des répondants, leur connaissance de la vélorue et leur expérience en tant qu'usager.
- Le Chapitre 5 concerne l'étude des comportements et de la sécurité des usagers au moyen de l'analyse vidéo. La méthodologie, incluant la collecte de données, la calibration, la correction, la gestion et le traitement de celles-ci y est détaillé. Les analyses menées portent sur les débits d'usagers, les positions latérales des cyclistes, les vitesses des automobilistes, ainsi que les interactions, notamment les situations de suivi et de dépassement entre automobilistes et cyclistes.

CHAPITRE 2 REVUE DE LITTÉRATURE

Depuis ses origines en Europe, le concept de vélorue a évolué et s'est adapté à différents contextes locaux tout en répondant aux enjeux de sécurité, de confort et d'intégration urbaine. Cette section propose une revue de la littérature sur cet aménagement, en examinant ses implantations en Europe, son adaptation au Québec, ainsi que les méthodes d'analyse de son utilisation et de son impact sur la sécurité routière.

2.1 La vélorue au Québec et ailleurs

Les aménagements de vélorues ont fait leur apparition en Europe au début des années 1980, avec la ville allemande de Brême jouant un rôle de précurseur en inaugurant la première vélorue, dite « Fahrradstraße ». Cependant, leur succès n'a pas été immédiat. Aux Pays-Bas, par exemple, les premières voies aménagées en vélorues ont échoué, en grande partie en raison d'une conception initiale incluant une bordure centrale surélevée destinée à interdire les dépassements. Cette configuration perturbait la circulation des camions de livraison et des véhicules d'urgence, tout en engendrant des problèmes de sécurité [2]. Un autre défi majeur résidait dans un débit cycliste insuffisant par rapport au trafic motorisé, soulevant ainsi des questions non seulement de conception mais aussi de conditions d'implantation peu optimales.

Aujourd'hui, la vélorue a acquis un statut officiel dans le code de la route de plusieurs pays européens. Voici quelques exemples :

- Allemagne (Fahrradstraße) : intégrée au code de la route en 1997 [3].
- Belgique (Fietsstraat / Zone cyclable) : intégrée au code de la route en 2012 [4].
- Danemark (Cykelgade) : implantée dans plusieurs villes depuis 2012 [5].
- France (Vélorue/ Rue cyclable) : implantée dans plusieurs villes depuis 2017 (Strasbourg, Bordeaux, etc.) [6].
- Luxembourg (Rue cyclable) : intégrée au code de la route en 2018 [7].
- Pays-Bas (Fietsstraat) : n'a pas de statut officiel. Implantée dans plusieurs villes depuis 2010 à la suite des échecs de 1996 à Utrecht [8].

À l'échelle mondiale, plusieurs aménagements similaires ont été développés. Aux États-Unis, des réseaux de vélorues ont vu le jour dans des villes telles que Columbia (Missouri), Berkeley (Californie), Portland (Oregon) et Seattle (Washington), parmi d'autres. Au Canada, Vancouver a

mis en place un vaste réseau de « neighbourhood bikeways », un type d'aménagement intégré au code de la route en Colombie-Britannique. En Australie, un projet pilote de « safe active streets » est en cours depuis 2015 à Perth et dans d'autres villes de l'Australie-Occidentale. Enfin, en Nouvelle-Zélande, un programme d'implantation de « neighborhood greenways » a été lancé en 2017 dans des villes telles qu'Auckland et Christchurch.

Plus près d'ici, la rue Saint-François-Xavier, à Trois-Rivières, a été transformée en vélorue entre le boulevard du Saint-Maurice et la rue Saint-Pierre à l'été 2020. À Québec, le corridor Père-Marquette constitue un axe cyclable de type « vélo-boulevard » reliant la colline parlementaire à l'Université Laval. De plus, la ville de Montréal compte actuellement neuf vélorues, réparties à travers plusieurs de ses arrondissements.

Tous ces aménagements ont en commun de prioriser la circulation cycliste et de dissuader les automobilistes de s'y engager, illustrant ainsi l'importance croissante de ce type d'infrastructure comme solution pour promouvoir une mobilité cycliste sécuritaire.

2.2 Analyse de la circulation

Il existe plusieurs méthodes de collecte de données pour analyser la circulation, chacune devant être choisie en fonction des besoins spécifiques de l'étude et du type de données à recueillir. Le choix de la méthode doit également prendre en compte l'ampleur du projet, le budget alloué, les conditions météorologiques, ainsi que les exigences liées à l'installation et aux équipements nécessaires à la collecte des données.

Les méthodes manuelles, impliquant des observateurs, permettent généralement de mieux caractériser les comportements des usagers, par rapport à certaines méthodes automatisées. Cependant, elles sont associées à une incertitude plus grande en ce qui concerne la précision des données quantitatives. Les méthodes de collecte automatiques non-intrusives, telles que les tubes pneumatiques, les capteurs infrarouges et les radars, ne nécessitent pas d'installations permanentes et sont faciles à déployer. Pour les collectes permanentes, des dispositifs comme les capteurs à hyperfréquence et infrarouge sont installés en bord de route ou au-dessus de la chaussée, tandis que les boucles électromagnétiques et les capteurs piézoélectriques sont intégrés sous la chaussée.

Ces méthodes partagent une caractéristique commune : elles se concentrent sur un nombre restreint de fonctions, telles que le comptage des véhicules, la mesure des vitesses et, dans certains cas, la

détermination des positions. Elles présentent l'avantage évident de permettre des périodes d'observation prolongées et de fournir des mesures objectives et quantitatives. Cependant, des défis demeurent pour capturer et obtenir des mesures précises du comportement et des interactions complexes dans le trafic. Seuls les capteurs offrant une couverture zonale, tels que les caméras vidéo et les LIDARs 3D, sont capables de remplir cette fonction. En raison de leur introduction relativement récente et de leur coût plus élevé, les LIDARs ont été moins largement utilisés dans les études sur le trafic que les caméras.

2.2.1 Caméra vidéo

Pour intégrer la dimension spatiale dans les analyses, l'imagerie aérienne et les caméras vidéo (au sol) sont des méthodes efficaces pour collecter ces données et réaliser des analyses plus détaillées sur une zone étendue. Elles permettent notamment de recueillir des informations sur la congestion et les files d'attente, mesurées par la densité du trafic et la vitesse moyenne spatiale. Les caméras vidéo peuvent être utilisées pour détecter, suivre et classer les usagers, générant ainsi des ensembles de trajectoires des différents usagers de la route [9].

Les caméras sont utilisées de manière répandue dans la recherche et la pratique depuis au moins trois décennies, l'utilisation du traitement d'images vidéo pour la surveillance et le contrôle du trafic datant du milieu des années 1970 [10]. Historiquement, les caméras étaient principalement utilisées manuellement par un ou plusieurs opérateurs pour surveiller la circulation, suivre l'état de la congestion et repérer les accidents. Cependant, les progrès technologiques permettent aujourd'hui d'utiliser ces dispositifs pour recueillir automatiquement un large éventail de données, détecter des usagers et des événements, et effectuer des analyses en temps réel. Elles offrent ainsi un avantage par rapport aux méthodes manuelles, ne nécessitant pas de modifications infrastructurelles, tout en étant flexibles et généralement peu coûteuses à installer.

Quelques limitations sont toutefois associées à leur utilisation. Les conditions météorologiques sont un enjeu en lien avec l'utilisation des caméras, qui peuvent être endommagées par la pluie, surchauffer en raison d'une exposition prolongée au soleil, ou encore rencontrer des problèmes de visibilité, compromettant ainsi la précision des données vidéo. La luminosité est également un facteur crucial, un éclairage adéquat étant nécessaire pour garantir la fiabilité des enregistrements. Par conséquent, la collecte de données doit impérativement se faire pendant la journée. Les vibrations constituent un autre obstacle susceptible d'altérer la précision des informations

recueillies. Bien que l'installation des caméras prévoit des dispositifs visant à limiter les mouvements, les effets du vent ou le passage de véhicules lourds peuvent parfois entraîner des perturbations des poteaux auxquels sont fixées les caméras.

2.2.2 Traitement des données vidéo

La méthode de collecte automatique de données par caméra vidéo est plus complexe et nécessite l'utilisation de logiciels spécialisés pour effectuer la calibration, ainsi que pour détecter, suivre et identifier les usagers dans les séquences d'images. L'application d'outils de traitement des données de circulation et l'utilisation d'algorithmes permettent de localiser des événements et d'identifier les interactions entre les usagers, tels que les dépassements, les conflits et les collisions qui peuvent survenir dans le périmètre d'étude. Ces outils permettent également de recueillir des informations sur les usagers, telles que le port du casque pour les cyclistes, le nombre d'individus se déplaçant en groupe, ainsi que des estimations du genre et de l'âge des usagers [11].

L'enjeu principal de cette méthode réside dans la précision de la détection et du suivi des différents objets. Plusieurs contraintes doivent être prises en compte, telles que le positionnement de la caméra, l'angle de vue, la diversité physique des objets observés, les ombres et le niveau de clarté de l'image. De plus, certaines manœuvres des usagers, comme les virages ou les arrêts complets des véhicules, peuvent entraîner une perte de suivi ou des trajectoires imprécises, compliquant ainsi l'analyse.

La détection et le suivi consistent à localiser et isoler les objets (usagers) dans une séquence vidéo, tout en mettant à jour leur position à chaque image (*frame*). Plusieurs approches traditionnelles existent :

- Approche basée sur les modèles 3D (3D model-based): fait correspondre des modèles 3D associés à différents types d'objets aux données d'image [12];
- Approche basée sur les régions de l'image (region-based) : identifie des taches ou des régions connectées de l'image et l'associe aux objet, souvent par soustraction de l'arrière-plan [13];
- Approche basée sur le contour (contour-based) : repose sur la mise à jour continue du contour des objets mobiles [13];

- Approche basée sur les points d'intérêt (feature-based) : détecte des pixels distinctifs, puis les suit d'une image à l'autre et les regroupe en objets [13];

L'étape suivante du processus de traitement pour ces approches consiste à classifier les objets suivis en fonction de leur type d'usager (piéton, cycliste, automobiliste, etc.). Cette classification peut s'appuyer sur divers critères tels que l'apparence, la vitesse et la reconnaissance de trajectoires, appelées « trajectoires prototypes », permettant de prédire le type d'usager à partir de la trajectoire suivie [14] [9].

La détection des cyclistes et des piétons par des méthodes automatisées représente un défi, en raison des changements constants de leur apparence et de leur direction, ainsi que des interactions plus imprévisibles. Cela rend la classification de ces deux types d'usagers plus complexe et moins précise que pour les véhicules motorisés [15].

De nos jours, des approches basées sur des techniques de machine learning intègrent les étapes de suivi et de classification, rendant le traitement plus rapide sans compromettre la précision. C'est le cas de l'approche basée sur la détection (*tracking-by-detection*), qui dépend de modèles entraînés avec des images, permettant la détection de différentes catégories d'objet.

Quelle que soit la méthode utilisée, l'exploitation des données vidéo permet de réaliser une vaste gamme de mesures fondamentales telles que la vitesse et le comptage des usagers, mais aussi de mener des analyses plus approfondies, notamment concernant leur position dans l'espace, leurs interactions, ainsi que le calcul de divers indicateurs de sécurité.

2.2.3 Étude de la sécurité routière

Il existe plusieurs méthodes d'analyse permettant d'évaluer le niveau de sécurité des usagers sur un segment routier donné ou au sein d'un type d'aménagement particulier.

L'analyse des données historiques d'accidents est une méthode classique largement utilisée dans l'étude de la sécurité routière. Cependant, elle présente certaines limitations, alors que les rapports incomplets et les accidents non déclarés introduisent un biais significatif. Bien que l'utilisation de données d'accidents soit courante dans de nombreuses études de sécurité routière, elles ne sont pas toujours efficaces pour comprendre les comportements des usagers de la route et leurs interactions, [16]. En définitive, cette méthode présente des limites importantes et des défis méthodologiques pour les recherches scientifiques.

Des approches proactives, c'est-à-dire indépendantes des collisions réelles, ont été développées et mises en œuvre depuis les années 1970 [17], principalement sous la forme d'études sur les conflits de trafic. Depuis lors, l'émergence de méthodes avancées de collecte de données, telles que les caméras vidéo et les logiciels de simulation de trafic, a stimulé l'intérêt pour les mesures substituts de sécurité (MSS), communément appelées « Surrogate Measures of Safety», afin de mieux comprendre les problématiques de sécurité dans diverses situations de de circulation routière.

Basés sur plusieurs indicateurs pour caractériser la sécurité des interactions entre les usagers de la route, comme le temps, la vitesse et la position notamment, les MSS sont des indicateurs associés à la probabilité qu'une interaction aboutisse à un accident ainsi qu'à la gravité potentielle de cet accident [16]. Par conséquent, bien que des paramètres tels que le débit de véhicules et la vitesse moyenne soient des mesures pertinentes pour diverses analyses de circulation, ils ne sont pas considérés comme des MSS dans l'évaluation de la sécurité routière.

Le temps à la collision, ou « Time-to-Collision » (TTC), défini comme étant le « temps restant avant qu'une collision entre deux véhicules ne se produise si leur mouvement reste inchangé » [17], est l'indicateur le plus largement utilisé. Des indicateurs plus sophistiqués de ce paramètre existent, tels que le temps d'exposition à la collision (TET) et le temps intégré à la collision (TIT), qui résultent de l'agrégation de la série temporelle du TTC [18].

Une autre MSS importante est le temps de post-empiètement, dit « Post-Encroachment Time » (PET), qui mesure la durée entre le moment où le premier usager quitte le point de conflit et celui où le deuxième usager y entre. Contrairement au TTC, le PET est une valeur ponctuelle, lorsqu'elle existe (c'est-à-dire lorsque les trajectoires des usagers se croisent), et elle ne repose pas sur des hypothèses relatives aux trajectoires des usagers [19] [20]. En revanche, le TTC peut être mesuré à chaque instant, formant ainsi une série temporelle lorsqu'il est présent. Le temps inter-véhiculaire (TIV) correspond au PET dans une situation de suivi entre deux usagers consécutifs.

2.2.4 Applications

Comme évoqué précédemment, l'analyse des données vidéo offre la possibilité de mesurer diverses variables liées à la circulation. Contrairement aux outils et méthodes conventionnels qui se limitent souvent à des données ponctuelles, l'utilisation de caméras vidéo intègre une dimension spatiale aux analyses, permettant notamment d'évaluer les distances de dépassement et de suivre le positionnement latéral des usagers par rapport au centre de la chaussée tout au long de leur

trajectoire. Le traitement des données vidéo facilite également l'identification de trajectoires prototypes, c'est-à-dire des trajectoires fréquemment observées, ce qui permet d'anticiper le comportement et les déplacements des usagers en fonction de l'évolution de leur position et de leur vitesse. Cela rend possible la détection de points de conflits et le calcul des probabilités de collision [21]. Par ailleurs, le suivi et la détection d'objets par caméra vidéo trouvent des applications concrètes, notamment dans la conception de plans de feux pour des intersections ou dans la conception géométrique de celles-ci, avec pour objectif de réduire les conflits potentiels, le nombre de collisions et leur gravité.

Elle trouve également de nombreuses applications dans la modélisation des déplacements des piétons, tant pour l'élaboration de plans d'évacuation que pour l'aménagement de gares ou l'optimisation de l'accès aux stations de métro, par exemple. À cet égard, une étude a développé un algorithme d'optimisation des outils de suivi des piétons existants, démontrant une amélioration significative de la précision dans la détection et le suivi des piétons [22].

À l'aide du projet open source *Traffic Intelligence*, plusieurs recherches ont adopté une approche de détection et de suivi fondée sur les points d'intérêt pour diverses analyses à partir de séquences d'images capturées sur le terrain. En matière de sécurité routière, de nombreux travaux, recourant à différentes méthodes d'analyse, ont été menés afin de résoudre des problématiques existantes ou d'anticiper l'implantation de nouveaux aménagements et de technologies de transport émergentes, telles que les véhicules autonomes.

Dans une étude récente portant sur deux projets pilotes de navettes automatisées en milieu urbain, les interactions entre véhicules automatisés et différents usagers de la route ont été analysées à l'aide de techniques de vision artificielle. Des indicateurs tels que le 15^{e} centile du TTC et le PET ont été calculés, révélant que ces véhicules présentent des interactions plus sécuritaires sur des trajets prédéfinis par rapport aux automobilistes empruntant la même trajectoire [23].

Une autre application de l'analyse vidéo concerne la cohabitation entre cyclistes et piétons. Les vitesses et accélérations des cyclistes dans les rues piétonnes ont été étudiées pour évaluer les interactions entre ces deux groupes d'usagers, en calculant des indicateurs de sécurité comme le TTC et les distances minimales entre usagers durant ces interactions [24]. En ce qui concerne spécifiquement les interactions entre cyclistes et automobilistes, plusieurs études ont évalué la sécurité des cyclistes dans divers contextes et aménagements. La méthode vidéo permet de détecter

automatiquement les manœuvres illégales ou non conformes à la signalisation en vigueur de la part des automobilistes, ainsi que les conflits entre cyclistes et véhicules, tels que les dépassements dangereux et le suivi de près [15].

Plus spécifiquement, une étude menée en 2015 à Montréal a examiné l'effet des pistes cyclables sur la sécurité aux carrefours signalisés, en analysant le PET comme indicateur de la gravité des interactions entre les véhicules effectuant des virages et les cyclistes [15]. Les dépassements des cyclistes par les voitures ont été identifiés comme une source majeure de conflits et d'accidents.

2.3 Études sur les vélorues

À ce jour, le nombre d'études portant sur les vélorues demeure relativement limité. Toutefois, plusieurs méthodes sont disponibles pour évaluer l'efficacité, la pertinence et la sécurité de ces aménagements, ainsi que pour réaliser des analyses concernant les vitesses des usagers et leurs interactions.

Plusieurs approches méthodologiques permettent d’évaluer l’efficacité et les impacts des vélorues. Certaines études s’appuient sur des données historiques d’accidents pour analyser le taux et la sévérité des collisions entre automobilistes et cyclistes. Toutefois, cette méthode tend à être délaissée au profit de technologies modernes offrant des observations directes et des analyses plus fines de la circulation. D’autres travaux utilisent des données de comptage recueillies sur site, généralement axées sur les débits de trafic motorisé et cycliste, mais ces analyses ne permettent pas de caractériser les interactions ni le positionnement des usagers sur la chaussée. En complément, des recensements ou des enquêtes, comme des sondages administrés sur place, fournissent des informations précieuses sur les perceptions et les habitudes des usagers, reposant toutefois sur des déclarations subjectives, souvent déconnectées des comportements réels. Les études portant sur l’aménagement de vélorue ayant adopté ces différentes approches sont présentées dans cette section.

Tel que mentionné plus haut, la ville de Berkeley, en Californie, dispose d'un réseau de vélorues. Depuis 2003, cette municipalité d'environ 120 000 habitants comprend un réseau interconnecté de vélorues, identifiées comme des itinéraires optimaux pour les cyclistes [25]. En 2011, des analyses ont comparé la sécurité des cyclistes sur ces vélorues par rapport à des rues traditionnelles parallèles. Les données historiques des collisions impliquant des cyclistes et des véhicules motorisés ont été utilisées pour cette comparaison, en partant de l'hypothèse que la présence de

voitures était le principal enjeu de sécurité pour les cyclistes. Des comptages en heure de pointe ont également été réalisés pour calculer les taux d'accidents et la sévérité des collisions. Parmi les limitations de cette méthode, il est mentionné qu'une étude avant-après l'implantation des vélorues aurait permis d'isoler l'effet des mesures d'apaisement de la circulation mises en place lors de leur conception. Malgré cela, les conclusions indiquent que les vélorues sont effectivement plus sûres que les rues artérielles, sans pouvoir toutefois en identifier les facteurs spécifiques [26].

Une autre étude, réalisée à Saskatoon en 2016, avait pour objectif d'évaluer l'efficacité de l'aménagement de vélorue (bicycle boulevard) dans la ville. Des comptages de cyclistes et d'automobiles ont été effectués à cinq intersections durant la période de pointe. Un sondage sur les règles de circulation de la vélorue et le sentiment de sécurité a également été administré aux cyclistes interceptés pendant leur déplacement. L'absence d'observations directes du comportement des usagers a effectivement constitué une limitation majeure de cette étude, car seule la perception des cyclistes interrogés a été prise en compte [27].

De récentes études sur les vélorues ont examiné l'impact de ces aménagements sur le transport actif et ainsi que sur la part modale du vélo pour les trajets domicile-travail. Une expérience réalisée à Portland, Oregon, auprès d'un panel d'adultes avec enfants, a utilisé des GPS et des accéléromètres pour analyser les changements dans les habitudes de transport et d'activité physique. Les résultats n'ont révélé aucune augmentation significative de l'activité physique ou du transport actif après l'installation, soulignant ainsi la nécessité d'approfondir les recherches sur le sujet [28]. Une autre étude, basée sur des données du recensement américain et des systèmes d'information géographique (SIG), a employé des modèles de régression pour établir une relation statistiquement significative entre les vélorues et l'augmentation du taux de déplacements domicile-travail à vélo [29]. Par ailleurs, d'autres recherches se sont penchées sur l'impact des vélorues sur la qualité de vie des résidents, leur sentiment d'appartenance à la communauté [30] et leur perception des environnements cyclables [31].

Le dépassement des cyclistes par les automobiles, reconnu comme une source importante de conflits, d'accidents et d'inconfort pour les cyclistes [32], a été largement étudié, bien que ces recherches ne se soient pas spécifiquement concentrées sur les vélorues.

La distance et la vitesse de dépassement sont des mesures cruciales pour évaluer la sécurité de cette manœuvre. Selon la littérature, la perception de sécurité des cyclistes est au plus faible lors du

dépassement, c'est-à-dire lorsque les deux usagers sont côte à côte, au moment où la distance entre eux est la plus petite [32]. Une recherche réalisée en 2019 à Montréal s'est concentrée sur ces interactions. Les distances de dépassement des cyclistes par les voitures ont été mesurées automatiquement grâce aux projections des positions des usagers dans un système de coordonnées curvilignes. Pour chaque dépassement, les positions latérales par rapport à un référent, dans ce cas la ligne centrale de la route, ont été comparées pour les usagers impliqués [33]. Enfin, une étude menée en 2022 en Allemagne a utilisé un capteur monté sur un vélo pour mesurer les distances de dépassement dans des zones ciblées représentant différents types d'aménagements routiers. Parallèlement, un sondage a demandé aux participants d'estimer la distance de dépassement attendue par un automobiliste dans ces mêmes zones. La comparaison entre la perception des cyclistes et les mesures réelles a démontré que les cyclistes se sentent généralement plus en sécurité sur des aménagements cyclables dédiés [34].

Bien que ces études aient eu recours à diverses méthodes, telles que l'analyse des accidents, l'analyse du trafic et les enquêtes auprès des usagers, peu d'entre elles se basent sur des observations directes pour évaluer les comportements, les interactions et la sécurité des usagers sur les vélorues. Bien que les enquêtes soient essentielles pour recueillir les perceptions et motivations des usagers, elles ne suffisent pas, car les déclarations des usagers peuvent différer de leur comportement réel.

CHAPITRE 3 APPROCHE MÉTHODOLOGIQUE

La vélorue étant un aménagement relativement récent, tant au Québec qu'en Amérique du Nord de manière plus générale, une méthodologie spécifique a dû être élaborée pour répondre à l'objectif principal : caractériser les impacts de ces aménagements sur la compréhension, le comportement et la sécurité des usagers vulnérables.

3.1 Analyse avant-après

La bonification des aménagements existants de vélorues en cours de projet a scindé celui-ci en deux phases distinctes. Une approche avant-après a été adoptée pour analyser les comportements et observer les interactions sur les aménagements, avant et après les changements. Deux méthodes ont été employées pour les comparer : une enquête auprès usagers pour évaluer leur compréhension des vélorues, ainsi qu'une étude des comportements et de la sécurité des usagers par le biais de l'analyse vidéo. Les méthodologies détaillées respectives seront présentées aux chapitres 4 et 5. La Figure 3-1 présente un échéancier global des différentes étapes du projet.

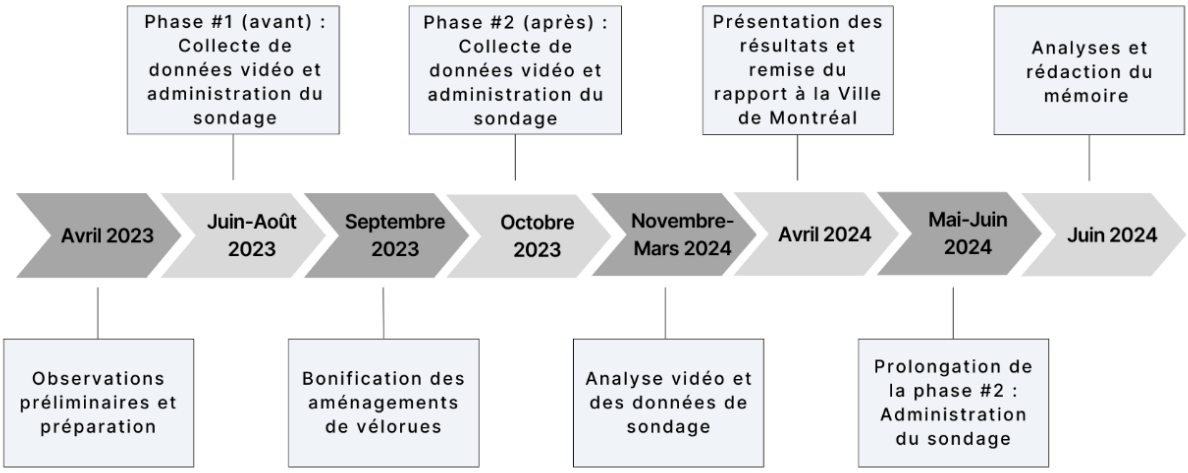

Figure 3-1 : Échéancier du projet

3.2 Sites étudiés

Bien que plusieurs vélorues soient aménagées à Montréal, l'étude s'est concentrée sur deux sites spécifiques, qui s'insèrent dans des contextes distincts, et dont les conceptions diffèrent. Ces sites, présentés à la Figure 3-2, ont été désignés par la Ville de Montréal, mandataire du projet :

- Rue Villeray, du boulevard Saint-Laurent à la rue Saint-Denis dans l'arrondissement de Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension.
- Avenue Laurier, de la 2e à la 10e Avenue, dans l'arrondissement de Rosemont–La Petite-Patrie;

Figure 3-2 : Vélorues étudiées sur la rue Villeray et l'Avenue Laurier

3.2.1 Rue Villeray

La rue Villeray, entre Saint-Denis et Saint-Laurent, est une voie sur laquelle sont installés plusieurs commerces, dont une épicerie et quelques restaurants et cafés. Ce tronçon de 430 m, qui relie notamment le Réseau express vélo (REV) Saint-Denis, portion d'un réseau de voie cyclable protégées, et le parc Jarry, traverse cinq carrefours, tous régulés par des panneaux d'arrêt toutes directions. La circulation y est à sens unique, allant de l'est vers l'ouest.

Il s’agit d’une rue relativement étroite dont seulement 9 m de largeur séparent les deux trottoirs. Avant les bonifications, à l'exception de la présence de panneaux de vélorue et de chevrons peints sur la chaussée à certains endroits, aucun marquage ne permettait de délimiter clairement les limites de la vélorue. Une ligne double blanche et des bollards délimitaient la voie à sens inverse réservée aux cyclistes circulant dans l’autre direction, comme l’illustre la Figure 3-3.

Figure 3-3 : Exemple d'aménagement sur la vélorue Villeray avant les changements (Source : Google Maps)

Le stationnement des voitures, la présence d'arbres et de terrasses, ainsi que la proximité des bâtiments avec la chaussée, limitent considérablement la visibilité, obligeant ainsi les usagers à circuler avec une vigilance accrue. Il convient également de souligner la présence d'un déviateur à l'intersection de la rue Saint-Dominique, illustrée à la Figure 3-4, située près de l'extrémité ouest de la vélorue. Ce dispositif contraint les automobilistes à tourner à gauche, tandis que les cyclistes sont autorisés à continuer tout droit, en direction du boulevard Saint-Laurent et du parc Jarry.

Figure 3-4 : Déviateur à l'intersection Villeray / Sainte-Dominique

3.2.2 Avenue Laurier

L'Avenue Laurier, située dans le Vieux-Rosemont, est une rue à sens unique orientée de l'ouest vers l'est, à vocation résidentielle. Parallèle à la rue Masson, un axe commercial et fréquenté, elle offre aux cyclistes une alternative permettant d'éviter la circulation automobile dense et de circuler plus librement. S'étendant sur 890 mètres, soit plus du double de la vélorue de la rue Villeray, elle comporte sept carrefours, dont quatre sont régulés par des panneaux d'arrêt toutes directions. Il est important de souligner la proximité de l'école primaire Saint-Jean-de-la-Lande, située le long de la vélorue entre la 7^{e} et la 9^{e} Avenue, près du boulevard Saint-Michel. Sa localisation engendre un achalandage supplémentaire, particulièrement lors des entrées et sorties des élèves, avec des heures de pointe à 8h00 pour les élèves du primaire, à 9h00 pour ceux du préscolaire et de la maternelle, et la fin des classes prévue à 15h30.

Au niveau de la conception, la rue présente une chaussée large, avec une distance de 11 m séparant les deux trottoirs. À l'image de la vélorue sur Villeray, l'aménagement initial ne comportait aucun marquage spécifique pour identifier les limites de la vélorue. Comme l'illustre la Figure 3-5, une ligne double jaune ainsi que quelques bollards servaient toutefois à délimiter la voie à sens inverse pour les cyclistes.

Figure 3-5 : Exemple d'aménagement sur la vélorue Laurier avant les changements (Source : Google Maps)

Un déviateur de circulation, situé à l'extrémité ouest de la vélorue, au croisement de l'Avenue Laurier et de la 2e Avenue (Figure 3-6), réduit le flux de véhicules motorisés, ne pouvant ainsi accéder à la vélorue que par les rues transversales.

Figure 3-6 : Déviateur à l'intersection Laurier / 2e Avenue (Source : Google Maps)

3.3 Bonifications des aménagements

En septembre 2023, dans le cadre du projet, les aménagements de vélorue ont été modifiés par la Ville de Montréal sur les deux sites à l'étude; une nouvelle signalisation a été mise en place. Des bandes vertes ont été peintes de chaque côté de la chaussée, délimitant ainsi la voie de circulation sous forme de corridor. Des icônes blanches et vertes ont aussi été apposées au sol aux divers points d'entrée de la vélorue, tel que montré à la Figure 3-7.

Figure 3-7 : Exemple d'aménagement sur la vélorue Laurier après les bonifications

Ces changements ont pour but de rendre visible et populariser l'aménagement dont on en compte seulement neuf exemples présentement à Montréal, et de le rendre facilement reconnaissable. Ils permettent aussi d'identifier clairement le corridor sur lequel les usagers doivent circuler, et de signaler qu'il s'agit d'un tronçon sur lequel la circulation cycliste est priorisée.

3.4 Particularités du projet

La présente étude se distingue des précédents travaux par sa méthodologie mixte, à deux volets incluant la tenue d'une enquête sous forme de sondage, ainsi que par l'observations des comportements par analyse vidéo. Ces deux méthodes permettent notamment de faire des liens entre ce qui est rapporté par les usagers et ce qui a été observé.

Aussi, l'analyse avant-après s'est effectuée dans un contexte où l'aménagement existant a été comparé à un aménagement bonifié, à la différence de plusieurs études où l'implantation d'un aménagement est analysée par rapport à la situation préalable sans aménagement.

Il s'agit d'une des premières études portant exclusivement sur l'aménagement de vélorue au Québec, tel que défini par le MTMD. Comme exposé à la section 2.1, d'autres recherches ont étudié les « bicycle boulevards » et autres aménagements cyclables similaires, notamment en Europe et aux États-Unis. Cependant, ces aménagements diffèrent à plusieurs égards de ceux présents au Québec, tant sur le plan de la conception que des fonctionnalités des vélorues. Il est donc essentiel

de ne pas les considérer comme identiques. De plus, il convient de prendre en compte l'environnement spécifique dans lequel chaque vélorue est implantée, incluant le niveau d'achalandage, le contexte géographique (localisation), la vocation du quartier (résidentielle, commerciale, etc.) et la conception de la rue, entre autres.

CHAPITRE 4 ENQUÊTE AUPRÈS DES USAGERS

Pour le premier mandat, visant à évaluer la compréhension et la perception de l'aménagement de la vélorue par les usagers, un questionnaire a été élaboré et administré. Les préoccupations principales portaient sur la sécurité et le confort des cyclistes, les interactions entre les automobilistes et les cyclistes, ainsi que la compréhension par les usagers de la fonctionnalité de la vélorue et des règles de circulation qui y sont associées. La perception générale des usagers et des résidents à l'égard de la vélorue a également été abordée.

4.1 Méthodologie

Les deux vélorues présentées en début de section sont les sites qui ont été principalement ciblés par cette enquête. En effet, bien qu'une version en ligne du sondage ait été diffusée, portant sur l'aménagement des vélorues de manière générale, la majorité des réponses ont été recueillies par le biais du code QR lors de l'administration sur place ou grâce aux affiches installées.

4.1.1 Questionnaire

Un questionnaire a été administré sur les deux sites étudiés et selon deux périodes, présentées dans le Tableau 4-1, soit avant et après les bonifications des aménagements existants réalisées à la fin de septembre 2023. La deuxième phase de l'enquête a été subdivisée en deux périodes distinctes : l'automne 2023 et le printemps 2024, en raison du nombre insuffisant de réponses recueillies lors de la collecte en octobre.

Tableau 4-1 : Périodes de collecte de données pour les deux phases d'études

Phase	**Période**
1 (avant)	Juin à août 2023
2 (après)	Octobre 2023 et mai-juin 2024

Un questionnaire de 28 questions a été conçu et déployé sur l'application Google Forms. Des versions françaises et anglaises étaient disponibles. L'enquête a été divisée en trois catégories de questions concernant :

1. Les caractéristiques de la personne (genre, âge, occupation principale, possession d'un permis de conduire, distance du lieu de résidence, etc.);
2. Le type de cycliste (raison principale de la pratique du vélo, fréquence, etc.);
3. La vélorue (connaissance des règles, sentiments de sécurité et de confort, perception générale, etc.).

Les deux premières catégories de questions ont permis d'analyser les comportements et perceptions des usagers en fonction de diverses caractéristiques, telles que le genre, l'âge, ainsi que leur niveau de confiance à vélo et les raisons de leurs déplacements, par exemple.

Le même questionnaire a été utilisé pour les deux phases de l'analyse. Cependant, deux questions spécifiques concernant la bonification des aménagements ont été ajoutées lors de la deuxième phase. Celles-ci portaient sur la perception des répondants quant aux modifications des aménagements et sur les éventuels changements observés dans les comportements des usagers depuis ces aménagements.

Il est à noter qu'il s'agissait d'un sondage anonyme et qu'aucune question permettant d'identifier ou de localiser un répondant n'a été posée. Un formulaire de consentement a été complété par toute personne participant à l'enquête. Le questionnaire ainsi que l'ensemble de la méthodologie relative à son administration et à l'utilisation des données ont été validés par le comité d'éthique de Polytechnique. Le questionnaire est disponible à l'annexe A.

4.1.2 Administration du sondage

Pour obtenir un aperçu précis de la situation relative à la compréhension et à la perception des vélorues, il a été essentiel de constituer un échantillon aussi représentatif que possible, incluant des cyclistes, des automobilistes, d'autres usagers, ainsi que des résidents et des usagers non-résidents fréquentant la vélorue.

À cette fin, une version en ligne du sondage a été distribuée aux arrondissements de la Ville de Montréal disposant de vélorues, afin qu'elle soit mise à disposition des citoyens concernés. Cette version a également été partagée sur les réseaux sociaux (Facebook et LinkedIn) et dans divers forums.

Des versions adaptées du sondage ont été conçues pour être administrées sur place, à la fois en personne et via un code QR. L'administration en personne a été effectuée par des étudiants sur les

deux sites ciblés. Les répondants ont pu remplir le questionnaire soit en scannant un code QR fourni par l'administrateur, soit en utilisant un appareil électronique mis à leur disposition spécifiquement pour cette collecte de données. Le nombre élevé de questions a eu pour effet de causer quelques refus et questionnaires incomplets.

Tel que décrit dans le Tableau 4-2, plusieurs sorties ont été organisées pour l'administration du questionnaire sur place. Il convient de souligner que certaines sorties ont été planifiées en fonction de l'évolution du nombre de réponses, dans le but d'obtenir un échantillon plus représentatif et un volume de réponses accru.

Tableau 4-2 : Sorties organisées pour l'administration du questionnaire

Phase	**Site**	**Date**	**Nombre de personnes**
Avant	Villeray	30 juin	2
	Laurier	8 août	1
	Laurier	21 août	2
Après	Villeray	2 octobre	1
	Laurier	5 octobre	1

L'administration du sondage sur place a aussi été possible sans la présence physique d'une personne sur place. Des affiches munies d'un code QR ont été placées à divers emplacements sur les sites en question (voir Figure 4-1), permettant aux individus de répondre aux questions en scannant le code.

Figure 4-1 : Exemple d'affiches installées comportant un code QR pour répondre au sondage

Au total, douze versions du questionnaire ont été élaborées pour cette étude, qui s'est déroulée sur une période cumulative de trois mois. La création de versions distinctes en français et en anglais explique en grande partie le nombre élevé de versions produites. L'ensemble des réponses a été importé dans un fichier unique, facilitant ainsi les analyses et comparaisons.

4.2 Résultats

À l'issue des deux phases de l'enquête, les réponses au questionnaire ont été compilées, et des analyses avant-après ont été réalisées afin d'évaluer si les ajustements apportés aux aménagements ont eu un impact significatif sur la compréhension et la perception des usagers de la vélorue.

4.2.1 Portrait des répondants

Premièrement, il a été essentiel d'analyser les caractéristiques des répondants, telles que le genre, l'âge, la possession d'un permis de conduire, entre autres, afin de vérifier si les échantillons des deux phases du sondage étaient similaires et représentatifs de la population. Une disparité à cet égard pourrait affecter la fiabilité des données recueillies, des analyses menées et des conclusions qui en découleraient.

Le Tableau 4-3 présente le nombre total de répondants, selon les différentes méthodes d'administration, à savoir via le questionnaire en ligne ou sur place (par code QR ou en personne).

Tableau 4-3 : Nombre de répondants au sondage

	Avant	Après	Total
En ligne	101	56	157
Laurier	57	32	89
Villeray	58	30	88
Total	216	118	334

Une différence significative existe entre le nombre de répondants des deux phases du projet, en particulier concernant ceux ayant répondu via le questionnaire en ligne. Des hypothèses sur les raisons de cet écart sont évoquées à la section 4.3.

Concernant la répartition par genre des répondants, les données recueillies avant et après la modification des aménagements révèlent une similarité entre les deux échantillons. En effet, la Figure 4-2 illustre que plus d'hommes que de femmes ont répondu au sondage, avec des proportions similaires lors des deux phases. À noter que 2,3 % et 0,8 % ont répondu « Autre » ou ont préféré ne pas répondre, avant et après les bonifications respectivement.

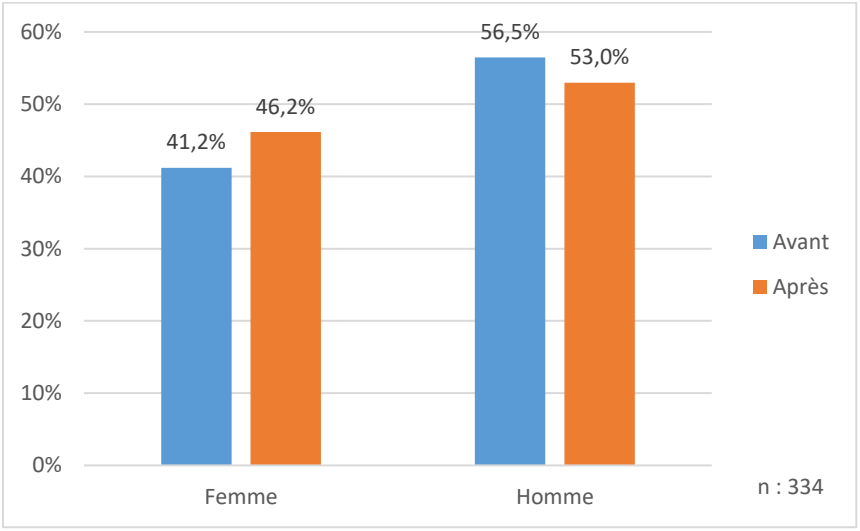

Figure 4-2 : Répartition des répondants par genre

La Figure 4-3 illustre la répartition des répondants par groupe d'âge. On constate une augmentation significative de la proportion de jeunes âgés de 16 à 29 ans ayant rempli le questionnaire après, tandis que les chiffres demeurent stables pour les autres tranches d'âge.

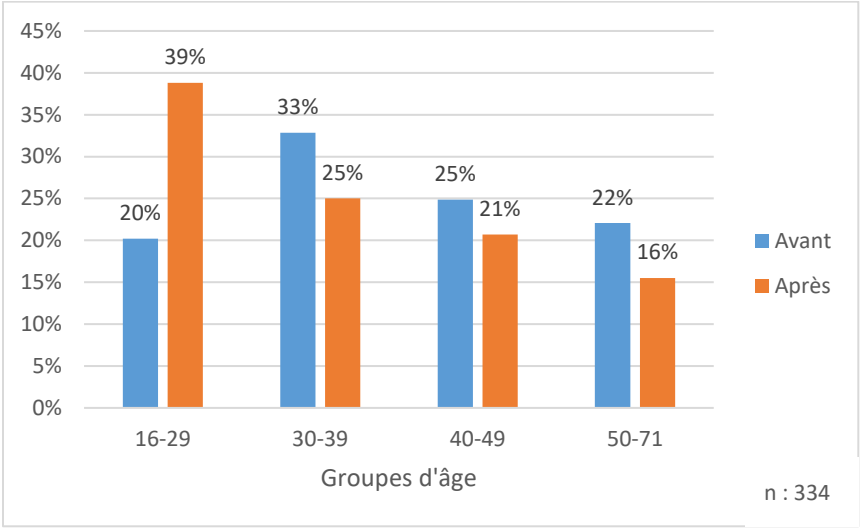

Figure 4-3 : Répartition des répondants par groupe d'âge

Comme le montre la

Figure 4-4 qui illustre la répartition des répondants selon leur occupation principale, la proportion d'étudiants parmi les répondants a connu une augmentation notable lors de la deuxième phase d'étude, passant de 12% à 23%. Cette hausse est cohérente avec l'augmentation de la proportion de jeunes répondants observée ci-haut.

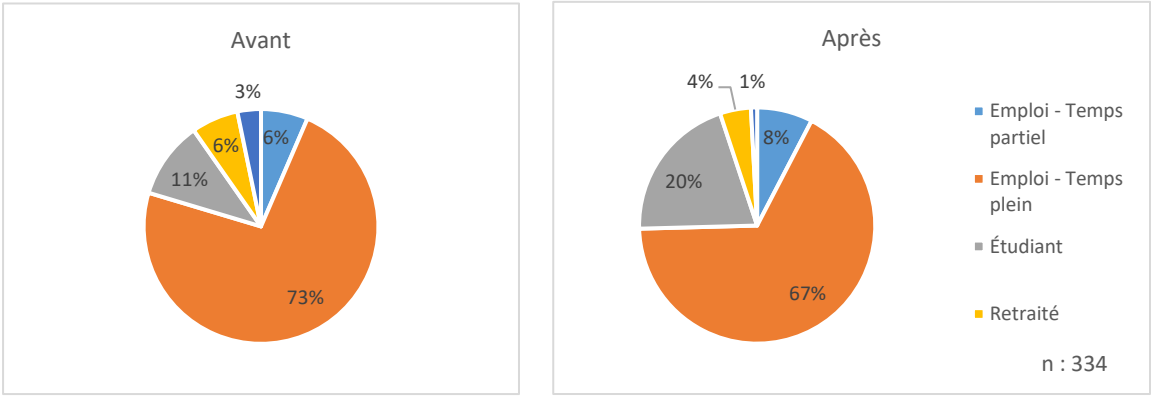

Figure 4-4 : Répartition des répondants selon l'occupation principale

En ce qui a trait à la possession d'un permis de conduire, plus de 80% des répondants ont déclaré en posséder un lors des deux phases de l'enquête. Comme montré à la Figure 4-5, une baisse de répondants disant posséder une voiture est cependant observée pour la phase « Après », pouvant possiblement être attribuable à la hausse du taux de jeunes répondants.

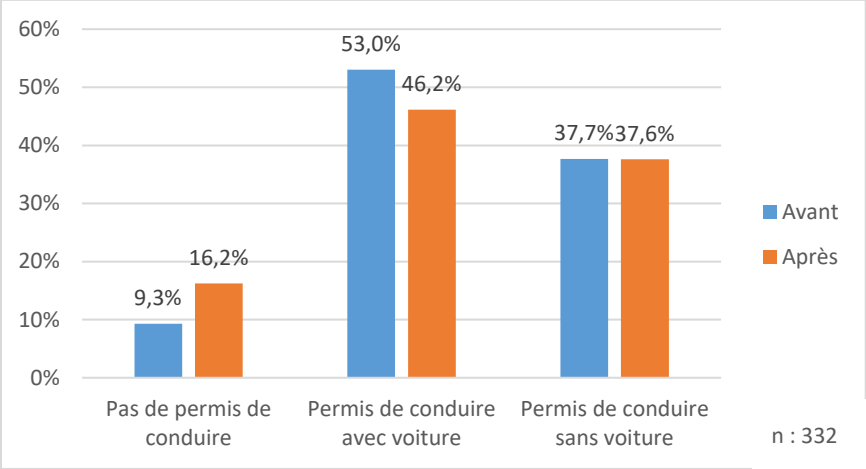

Figure 4-5 : Proportion des répondants possédant un permis de conduire ainsi qu'une voiture

Quant à l'accessibilité des vélorues, les répondants ont été questionnés sur la distance qui sépare leur lieu de résidence de la vélorue la plus proche, en indiquant s'ils demeuraient à cinq minutes de marche ou moins. Les résultats démontrent un écart important, alors que la proportion de participants habitant à proximité d'une vélorue est passée de 49,8% à 70,1%, une variation partiellement attribuable à la chute de réponse enregistrée à partir du questionnaire en ligne.

Enfin, concernant la pratique du vélo, les deux questions suivantes ont été posées :

- À quelle fréquence faites-vous du vélo ?
- Pour vous, le vélo est d'abord un mode de transport, un loisir, ou un sport ?

Selon les réponses obtenues et présentées à la Figure 4-6, la proportion de répondants mentionnant faire du vélo à l'année sauf l'hiver a diminué (36,1 % à 22,0 %), principalement au profit de ceux disant ne le pratiquer que quelques fois par années (10,2 % à 20,3 %). En revanche, les motivations pour la pratique du vélo restent plutôt stables entre les deux phases : autour 70 % des répondants utilisent le vélo pour leurs déplacements quotidiens, environ 20 % pour le loisir et 10 % pour le sport, tel que montré à la Figure 4-7.

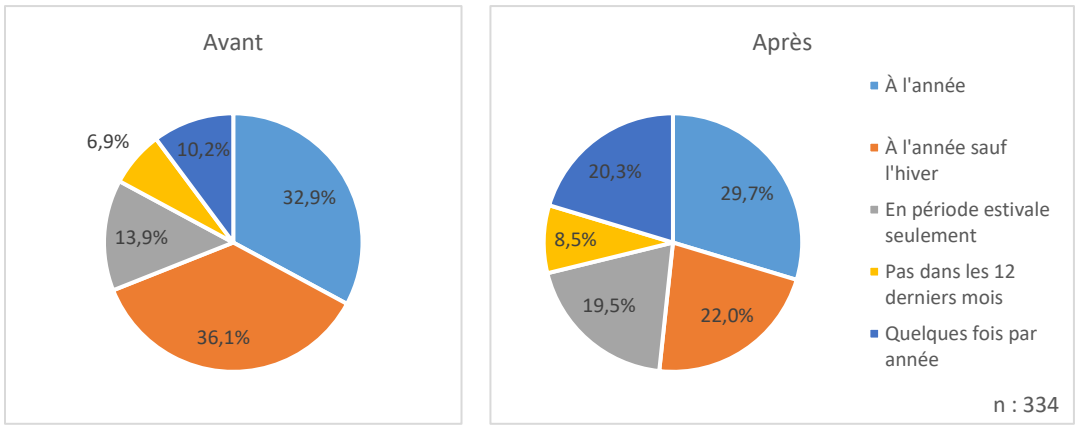

Figure 4-6 : Répartition des répondants selon la fréquence de la pratique du vélo

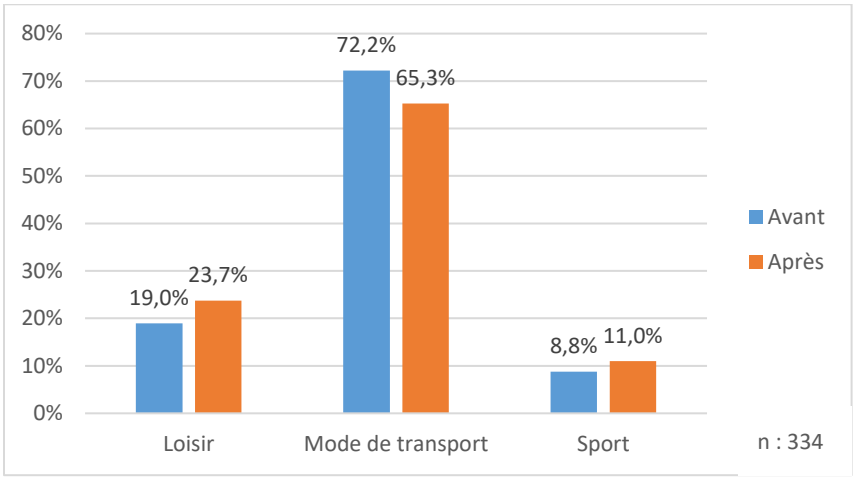

Figure 4-7 : Répartition des répondants selon la raison principale de la pratique du vélo

En somme, les résultats indiquent une augmentation notable du nombre de jeunes et d'étudiants lors de la deuxième phase, ainsi qu'une diminution des répondants en ligne après les bonifications. La majorité des répondants détient un permis de conduire, bien que la proportion de ceux possédant une voiture ait diminué, probablement en raison de l'augmentation de la participation des jeunes. Enfin, la raison principale de la pratique du vélo est demeurée inchangée, celui-ci étant principalement perçu comme un mode de transport. Toutefois, la proportion de répondants pratiquant le vélo avec la plus grande fréquence a diminué.

4.2.2 Connaissance de la vélorue

Deuxièmement, l'étude a exploré le niveau de connaissance et de compréhension de la vélorue chez les répondants. Des questions ciblées ont été posées afin d'évaluer leur familiarité avec le concept

de vélorue, son fonctionnement et les règles de circulation qui y sont associées. L'analyse des réponses a permis de déterminer si les répondants affirmant connaître la vélorue étaient effectivement capables de démontrer cette connaissance en répondant correctement aux questions posées.

La question « Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation? » a permis d'observer une évolution intéressante entre les deux phases d'enquête, comme le montre la Figure 4-8. Une augmentation des proportions de répondants affirmant connaître la vélorue ainsi que de ceux déclarant ne pas la connaître est constatée, au détriment de la catégorie des « incertains ». Cette évolution suggère une plus grande prise de position du public sur le sujet, qu'elle soit positive ou négative. La diminution du nombre de répondants incertains indique que la vélorue a fait l'objet d'une plus grande attention et que sa présence dans le paysage urbain est désormais plus remarquée.

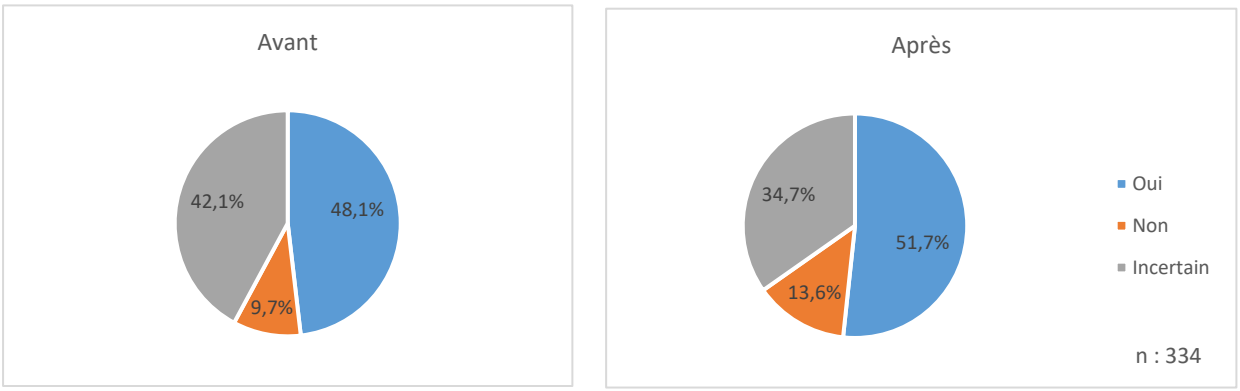

Figure 4-8 : Réponses à la question « Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation ? »

Les réponses à la question sur la connaissance de la vélorue ont été analysées selon deux axes complémentaires : la fréquence de la pratique du vélo et la proximité du domicile d'une vélorue.

La Figure 4-9 révèle que les cyclistes les plus assidus (ceux pratiquant à l'année ou à l'année sauf l'hiver) sont les plus nombreux à avoir déclaré connaître la vélorue et ses règles de circulation après l’amélioration des aménagements cyclables. Ce groupe de cyclistes est également le seul pour lequel le taux de réponses « Oui » a augmenté. De plus, on observe que parmi les répondants déclarant pratiquer le vélo plus rarement ou uniquement en été, la proportion d'individus incertains a diminué.

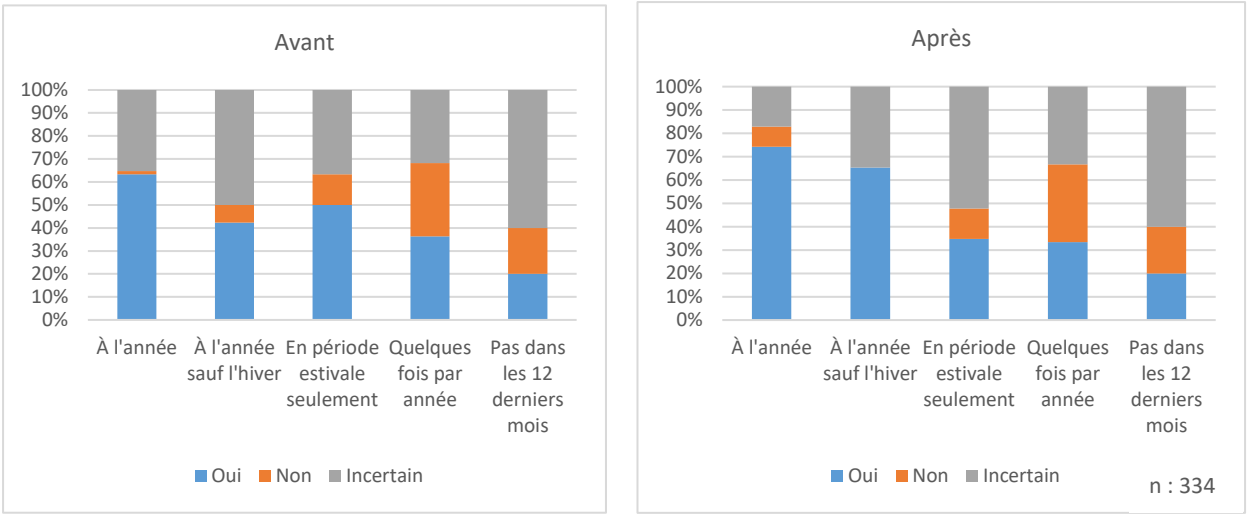

Figure 4-9 : Réponses à la question « Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation ? » selon la fréquence de la pratique du vélo

En ce qui a trait à la distance du domicile à une vélorue, tel que présenté à la Figure 4-10, ce sont exclusivement les gens résidant près d'une vélorue qui sont plus enclins à déclarer une amélioration de leur connaissance et de leur compréhension de ce concept, avec une augmentation de 53,3 % à 59,8 % entre les deux phases d'enquête.

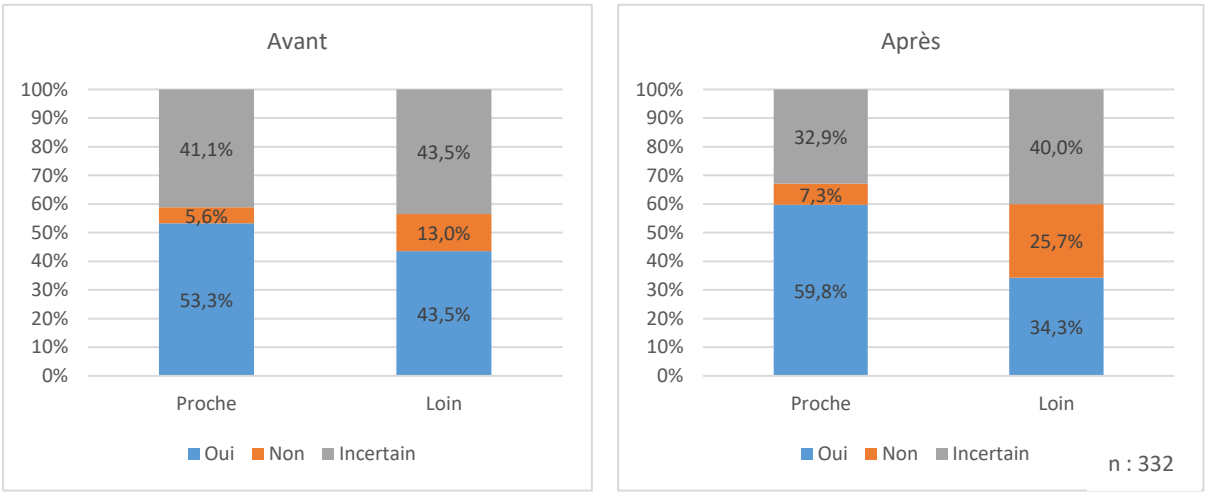

Figure 4-10 : Réponses à la question « Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation ? » selon la proximité du domicile d'une vélorue

Quatre questions de type « vrai ou faux » ont aussi été posées pour évaluer le niveau de connaissance des répondants sur les règles de base et la signalisation d'une vélorue. Les résultats compilés dans le Tableau 4-4 pointent vers une amélioration de la connaissance de la fonctionnalité

et des règles de circulation propres aux vélorues. Il convient toutefois de souligner que lors des deux phases, moins de 50% des gens ont obtenu une bonne réponse à l'énoncé affirmant que les automobilistes ne sont pas autorisés à dépasser les cyclistes, ce qui est faux.

Tableau 4-4 : Taux de bonnes réponses pour les questions de type « vrai ou faux »

	Avant	**Après**	**Stat-t**	**Valeur-p**
1. Les automobilistes sont tenus de respecter une vitesse de 30 km/h (vrai).	84,5 %	93,2 %	-2,32	0,021
2. Les automobilistes ne peuvent pas dépasser les cyclistes (faux).	44,9 %	45,0 %	0,0097	0,992
3. Les cyclistes peuvent circuler à deux de front (côte à côte) (vrai).	71,2 %	79,7 %	-1,70	0,091
4. Il existe un panneau pour indiquer une vélorue (vrai).	83,1 %	84,7 %	-0,39	0,699

Afin de déterminer si les résultats sont statistiquement significatifs, un test de Student a été effectué pour comparer les taux de bonnes réponses entre les deux phases pour chacune des affirmations. Avec une valeur-p inférieure à 0,05, seules les réponses données pour la première affirmation, relativement à la vitesse des voitures, montre une amélioration statistiquement significative entre les deux phases. Pour la deuxième et la quatrième affirmation, l'écart n'est pas significatif, indiquant des réponses similaires avant et après les modifications concernant le dépassement des cyclistes et la présence d'un panneau. À propos du positionnement des cyclistes sur la chaussée, la différence entre les réponses est marginalement non significative, avec une valeur-p de 0,091. Cela suggère néanmoins une tendance vers une meilleure compréhension de la possibilité de circuler à deux de front lors de la deuxième phase du sondage, sans toutefois permettre de conclure à une amélioration significative.

4.2.3 Expérience de la vélorue

Troisièmement, un volet important de cette enquête s'est penché sur le ressenti des usagers de la vélorue, en évaluant leur niveau de confort, leur sentiment de sécurité ainsi que leur perception de cet aménagement en tant que lien cyclable. L'objectif était de recueillir les opinions des usagers et riverains des vélorues sur divers aspects relatifs à la sécurité des cyclistes, en particulier le respect des règles de circulation par les cyclistes et les automobilistes empruntant la vélorue. Des exemples d'interactions dangereuses observées, ainsi que des commentaires, ont également été recueillis afin de fournir une vision d'ensemble de la situation pour les deux phases de l'étude.

La première question de cette section portait sur la priorité de circulation des cyclistes sur les vélorues. Les résultats présentés à la Figure 4-11 révèlent une augmentation de 16,1 points de % pour la réponse « Oui » (par rapport à « Non » et « Parfois »). Un test de Student a confirmé que cette progression est statistiquement significative (p = 0,0051). En combinant, les réponses « Oui » et « Parfois » (par rapport à « Non »), un écart significatif de 11,0 % est également obtenu (p = 0,019), renforçant la conclusion précédente.

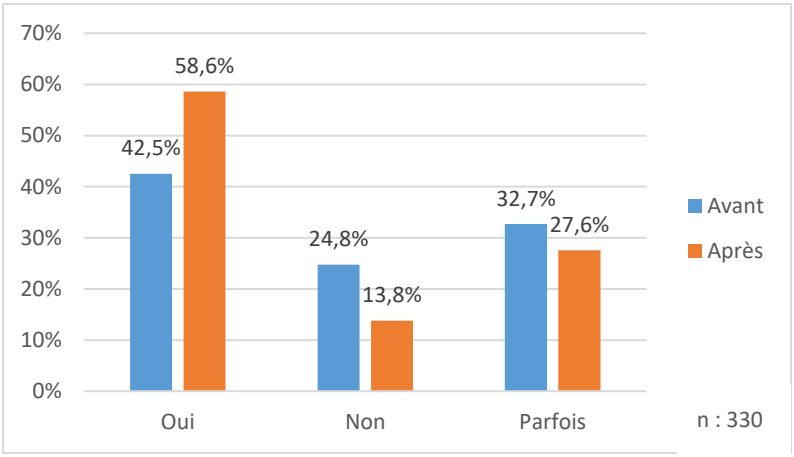

Figure 4-11 : Réponses à la question « Avez-vous l'impression que les cyclistes ont la priorité de circulation sur une vélorue ? »

Pour pousser l'analyse, les réponses à cette même question ont été déclinées selon la fréquence à laquelle les répondants disaient faire du vélo. La tendance dénotée dans les résultats globaux se confirme particulièrement chez les gens pratiquant le vélo à l'année ainsi qu'à l'année sauf l'hiver avec des hausses de 31,8 et 16,7 points de % respectivement pour la réponse « Oui », tel qu'illustré à la Figure 4-12.

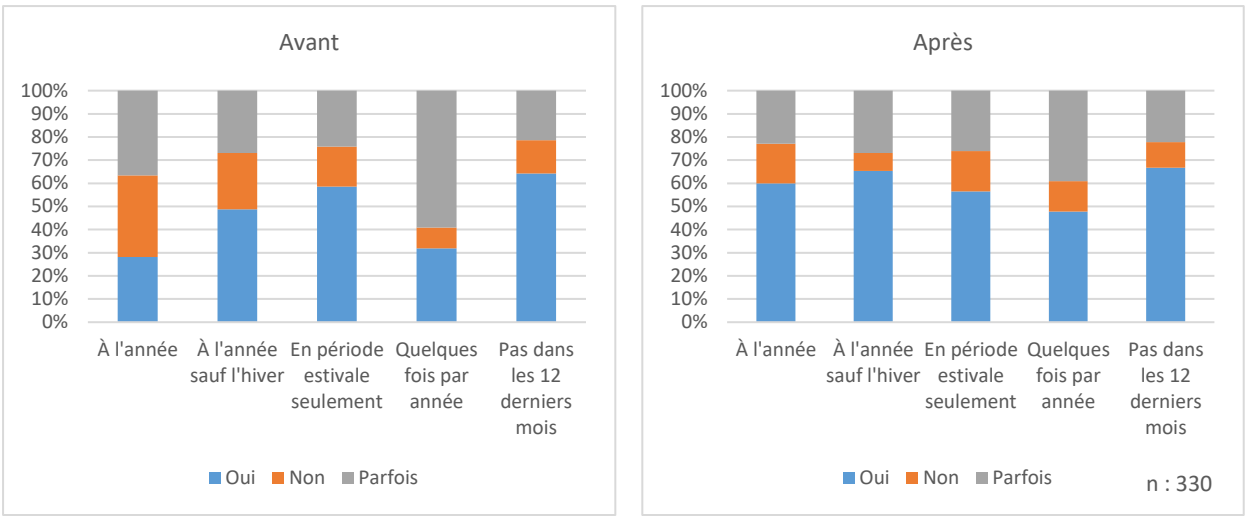

Figure 4-12 : Réponses à la question « Avez-vous l'impression que les cyclistes ont la priorité de circulation sur une vélorue ? » selon la fréquence de la pratique du vélo

Par la suite, les répondants ont été invités à décrire leur sentiment de sécurité et de confort à vélo sur les vélorues. Les résultats globaux sont présentés à la Figure 4-13, alors que les Figure 4-14, Figure 4-15 et Figure 4-16 détaillent les réponses en fonction du groupe d'âge, du genre et de la fréquence de pratique du vélo, respectivement.

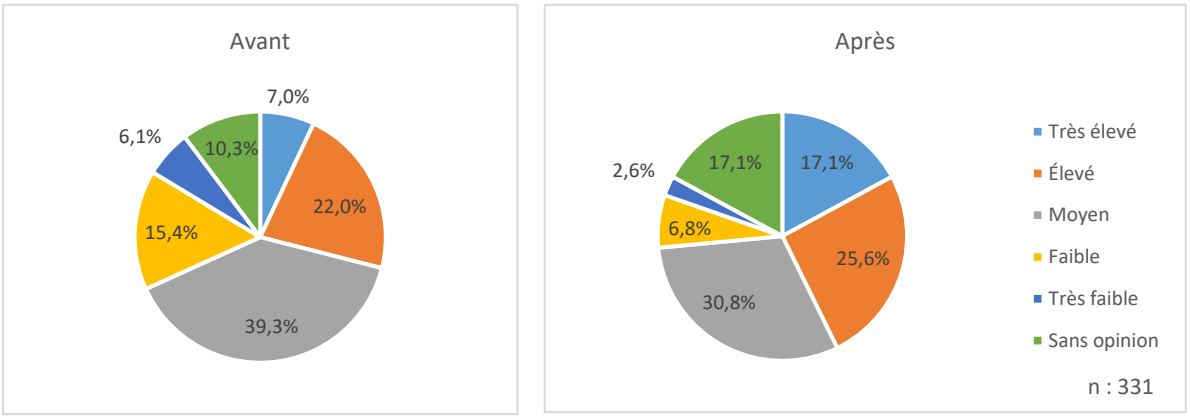

Figure 4-13 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? »

Dans l'ensemble, on constate une diminution de 8,5 points de % de la proportion de répondants déclarant un sentiment de sécurité et de confort « moyen ». Des baisses de 8,6 points de % et

3,5 points de % sont également observées pour les catégories « Faible » et « Très faible », respectivement.

En combinant les catégories « Très élevé » et « Élevé », contre tout le reste, c'est une amélioration statistiquement significative de 13,7 points de % qui est observée (p = 0,0014).

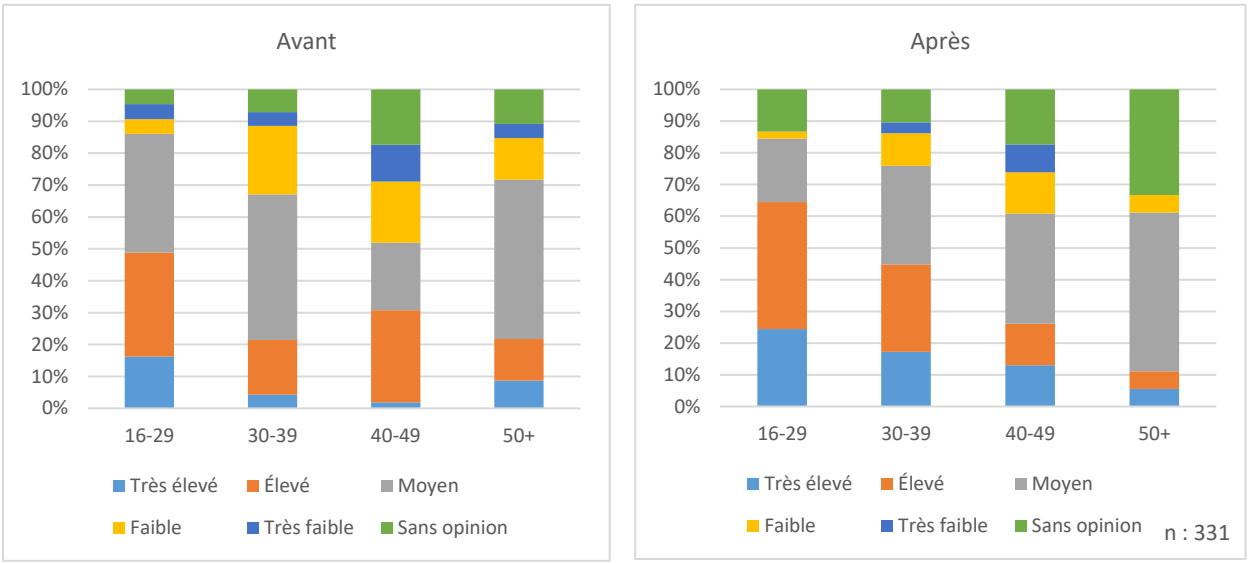

Figure 4-14 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? » selon le groupe d'âge

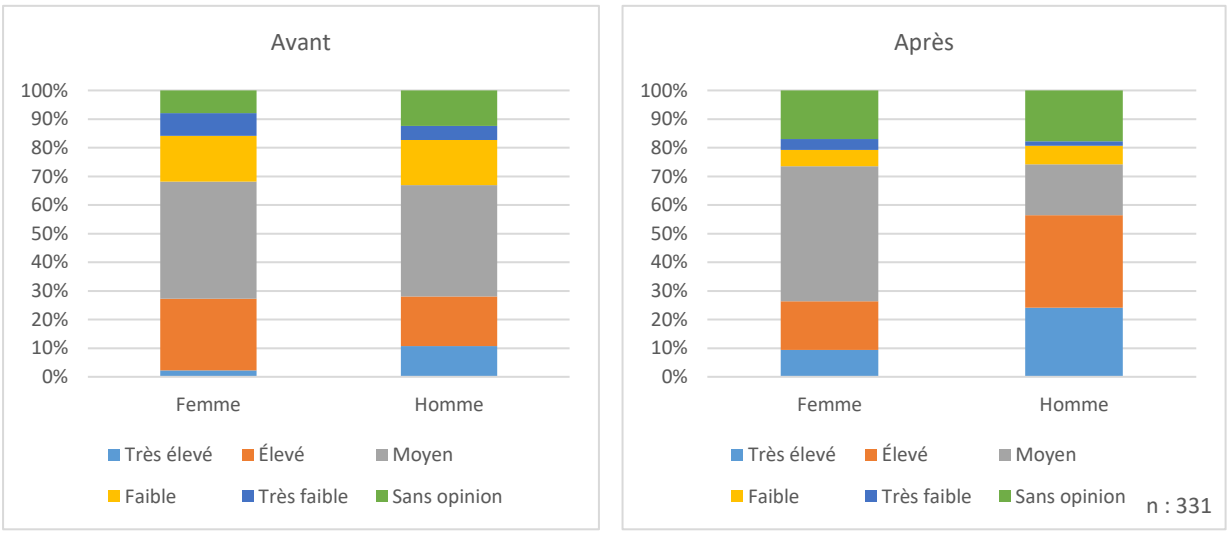

Figure 4-15 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? » selon le genre

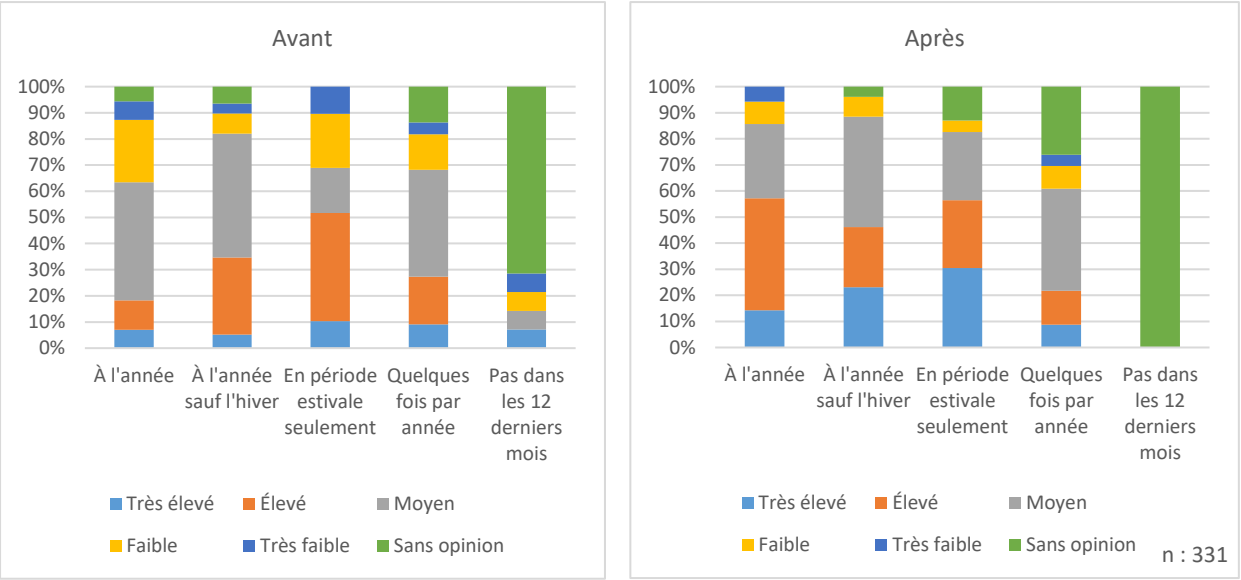

Figure 4-16 : Réponses à la question « En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ? » selon la fréquence de la pratique du vélo

Les gens ayant précisé faire du vélo à l'année ainsi qu'à l'année sauf l'hiver ont répondu se sentir plus à l'aise à circuler sur les aménagements améliorés. On remarque aussi un transfert important d'un sentiment « Élevé » à « Très élevé » chez les cyclistes saisonniers (période estivale) entre les deux phases d'étude. Aussi, Une amélioration particulière du sentiment de sécurité et de confort est remarquée pour les deux groupes d'âge les plus jeunes, 16-29 ans et 30-39 ans. La proportion cumulée des répondants de ces groupes déclarant un sentiment « Très élevé » ou « Élevé » est passée de 48,9 % à 64,4 % pour les 16-29 ans et de 21,4 % à 44,8 % pour les 30-39 ans.

Pour évaluer l'influence de certains facteurs de manière statistique, une régression logistique a été réalisée, prenant le confort perçu comme variable dépendante. L'objectif du modèle était d'estimer la probabilité qu'une personne perçoive un niveau de confort en fonction de ces trois variables : phase (avant ou après), âge, et genre. Le Tableau 4-5 présente les résultats.

Tableau 4-5 : Résultats de la régression logistique

Variable	**Coef.**	**Erreur std.**	**z**	**P>|z|**	**[0,025**	**0,975]**
Phase	0,5027	0,183	2,749	0,006	0,144	0,861
Âge	-0,0444	0,007	-5,97	0,0005	-0,059	-0,03
Genre (0 = Femme, 1 = Homme)	0,5377	0,243	2,217	0,027	0,062	1,013

Le coefficient positif significatif de 0,5027 ($p = 0,006$) démontre que le passage de la première à la deuxième phase de l'étude augmente de manière significative la probabilité qu'un confort accru soit perçu. Par ailleurs, le coefficient négatif significatif de -0,0444 ($p < 0,001$) indique que les cyclistes plus âgés sont moins susceptibles de ressentir un confort élevé, ce qui suggère une diminution du sentiment de confort sur une vélorue avec l'âge. Enfin, en ce qui concerne le genre, les hommes présentent un coefficient positif significatif de 0,5377 ($p = 0,027$), ce qui signifie qu'ils sont globalement plus enclins à se sentir confortables sur une vélorue, contrairement aux femmes, pour lesquelles aucun effet significatif n'a été observé.

Afin d'approfondir l'analyse des expériences des cyclistes et de leur perception de la sécurité sur les vélorues, deux questions relativement aux interactions avec les automobiles sur ces aménagements ont été posées. Les résultats sont présentés dans les Figure 4-17 et Figure 4-18.

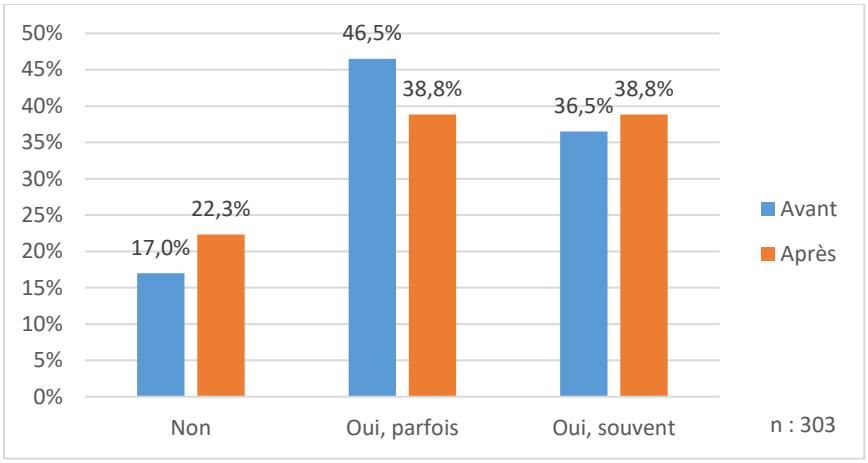

Figure 4-17 : Réponses à la question « En circulant à vélo sur une vélorue, est-ce que les véhicules tentent de vous dépasser, ou vous suivent de trop près ? »

Bien que la réponse « Non » ait enregistré une augmentation de 5,3 points de %, ce gain n'est pas statistiquement significatif (p = 0,262). Il en demeure que seulement 22,3 % des répondants ont indiqué ne jamais être dépassés ni suivis de près, même après les améliorations apportées aux vélorues, un résultat peu encourageant.

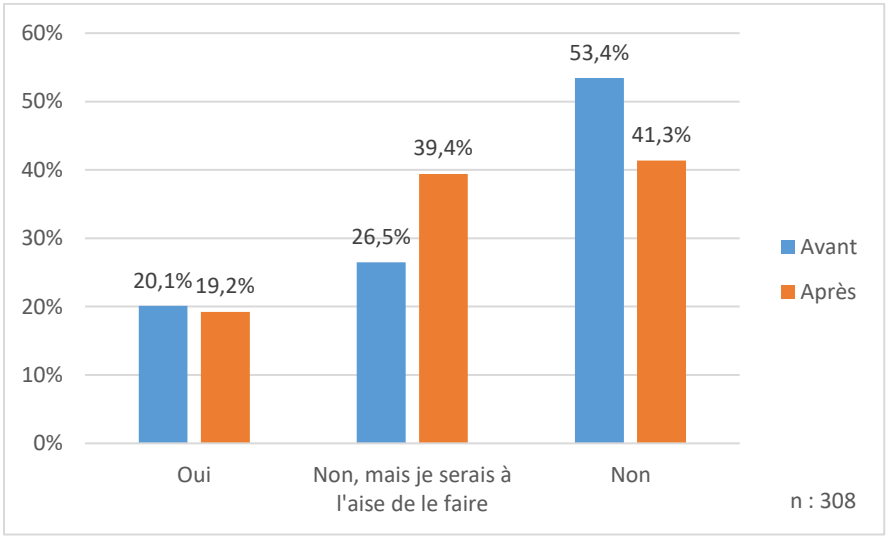

Figure 4-18 : Réponses à la question « Circulez-vous à vélo avec des enfants sur une vélorue ? »

Le constat est toutefois différent en ce qui concerne la circulation sur les vélorues accompagnée d'un enfant. Tandis que 53,4 % des répondants excluaient cette possibilité lors de la première phase de l'analyse, ce chiffre est tombé à 41,3 % lors de la deuxième phase.

À la fin du questionnaire, des questions ouvertes ont été posées aux répondants afin de recueillir leur avis sur les facteurs nuisant à la sécurité et au confort des cyclistes sur les vélorues, ainsi que sur les solutions envisageables pour améliorer la situation. Les résultats de ces questions à choix multiples sont présentés dans les Figure 4-19 et Figure 4-20.

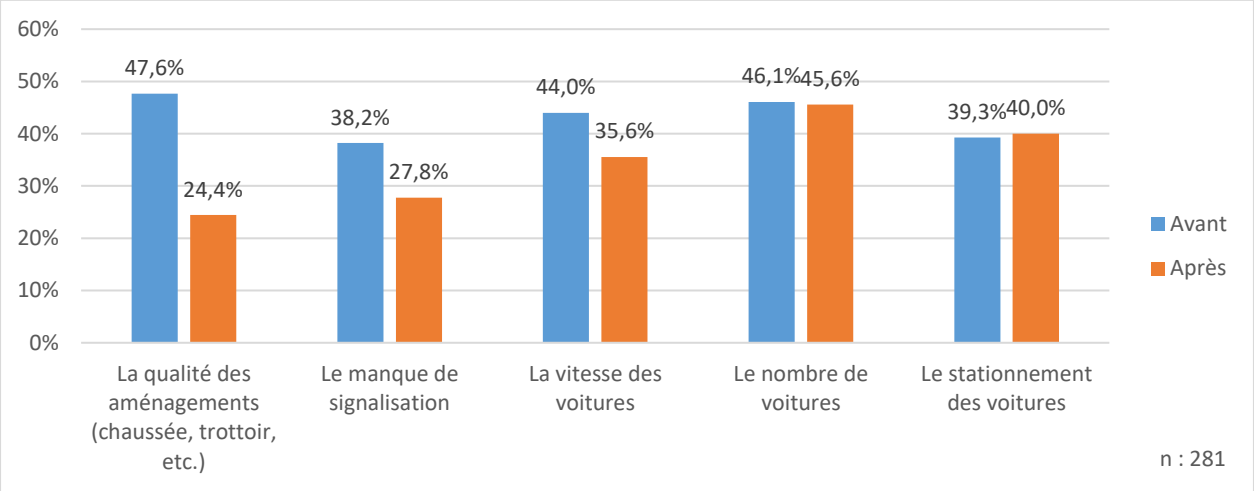

Figure 4-19 : Réponses à la question « Qu'est-ce qui nuit à la sécurité et au confort sur une vélorue ? »

Bien que plusieurs facteurs continuent de gêner la circulation des cyclistes sur les vélorues, des baisses notables de 23,2 points de % et de 10,4 points de % ont été observées concernant la qualité des aménagements et la signalisation, respectivement. Cela suggère une amélioration perçue de ces aspects par les répondants. Une explication possible de ces baisses pourrait être que, bien que l'amélioration des aménagements ait permis de délimiter plus clairement la vélorue, rendant ainsi l'espace plus étroit, elle met aussi en évidence la présence des voitures stationnées, créant un obstacle supplémentaire pour les cyclistes. De plus, l'absence de changement significatif concernant les préoccupations liées au nombre de voitures et à leur stationnement témoigne de la persistance de ces enjeux. Plusieurs répondants ont également souligné un manque de compréhension et d'attention de la part des automobilistes, ce qui exacerbe ces difficultés.

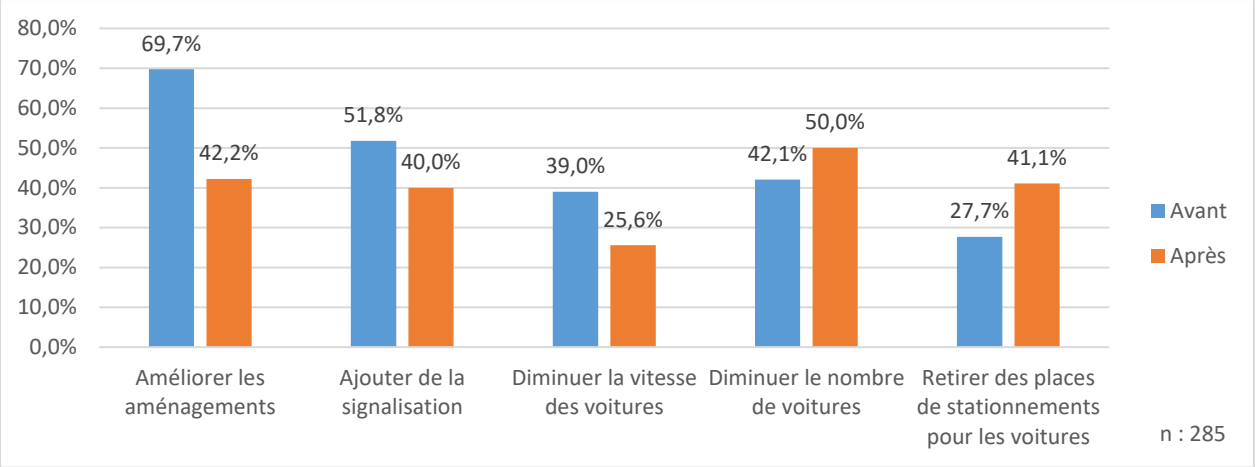

Figure 4-20 : Réponses à la question « Comment pourrait-on améliorer la sécurité et le confort sur une vélorue ? »

En cohérence avec les résultats à la question précédente, les pistes d'amélioration évoquées concernent principalement le nombre de voitures et le stationnement lors de la deuxième phase. La figure montre également une réduction du nombre de personnes ayant souhaité une amélioration des aménagements et de la signalisation, avec des baisses respectives de 27,5 points de % et de 11,8 points de % après les bonifications des vélorues étudiées. Quelques suggestions portant sur la sensibilisation et l'éducation des usagers ont également été proposées.

Enfin, à la dernière question du sondage, 77,8 % des répondants de la deuxième période d'étude ont indiqué avoir remarqué les changements apportés.

4.3 Difficultés rencontrées

Certains obstacles ont été rencontrés lors de l'administration du sondage auprès des usagers et des citoyens, obstacles qui se reflètent d'ailleurs dans les résultats, notamment en ce qui concerne le nombre de répondants et l'efficacité des différents modes d'administration.

D'abord, le fait que le questionnaire ait été pratiquement identique pour les deux périodes d'administration a probablement contribué à la collecte plus importante de réponses durant la première phase, comparativement à la seconde. En effet, à l'exception de l'ajout de deux questions en fin de sondage, le contenu global du questionnaire est resté inchangé, ce qui a pu rendre l'exercice moins attrayant pour un individu ayant déjà répondu lors de la phase initiale. Certains commentaires reçus de la part des participants ont d'ailleurs révélé qu'ils pensaient répondre au même sondage, ayant déjà complété celui-ci antérieurement.

Ensuite, il faut également considérer que les deux phases d'administration se sont déroulées à des périodes distinctes. La première, qui s'est étendue de juin à août, soit sur trois mois durant l'été, en pleine saison des vacances, était particulièrement favorable à l'utilisation de la vélorue dans son plein potentiel, et notamment à la circulation cycliste. En revanche, la bonification des aménagements ayant été achevée à la fin septembre pour les deux sites étudiés, la seconde phase de l'enquête n'a duré qu'un mois, soit en octobre. Cette période diffère de la première, non seulement en termes de conditions climatiques, mais aussi en raison du début de l'année scolaire, qui modifie les habitudes de déplacement des citoyens, souvent liés à des horaires de travail plus réguliers que durant la période estivale.

Le questionnaire en ligne a également montré une efficacité réduite lors de la deuxième phase, avec une diminution significative du nombre de réponses, passant de 101 à 56. Une hypothèse plausible à cet égard est un moindre engouement pour l'enquête lors de cette seconde phase, par rapport à la première, qui avait bénéficié d'une large diffusion sur divers réseaux, atteignant ainsi un public plus vaste.

4.4 Synthèse

En résumé, bien que l'analyse des résultats globaux n'ait pas toujours permis de déceler des améliorations significatives, des analyses ciblées sur certaines caractéristiques des répondants, telles que leur tranche d'âge, leur motif de pratique du vélo et la fréquence de cette activité, entre autres, ont révélé des progrès notables en termes de sécurité et de confort perçus par les usagers.

Un point essentiel réside dans la connaissance de l'aménagement lui-même. En effet, la proportion de répondants indécis ou sans opinion a considérablement diminué au cours de la deuxième phase de l'étude, ce qui suggère une meilleure sensibilisation à l'existence et à la mise en place de ce type d'aménagement. Les réponses aux questions « vrai ou faux » ont, quant à elles, confirmé une amélioration significative de la compréhension des fonctionnalités et des règles de circulation depuis la bonification des vélorues.

CHAPITRE 5 ANALYSE VIDÉO

Le deuxième volet du projet, visant à caractériser le comportement et à mesurer la sécurité des cyclistes, a impliqué des analyses vidéo réalisées à partir de séquences recueillies sur les sites étudiés, avant et après les bonifications des aménagements. Les préoccupations principales portaient sur les interactions entre les cyclistes et les automobilistes, les trajectoires empruntées par les cyclistes sur la vélorue, les débits de circulation des cyclistes et des automobilistes, ainsi que sur la sécurité des usagers vulnérables.

5.1 Méthodologie

Une méthode permettant de recueillir des données de circulation de manière continue et sur de longues périodes a été mise au point. Ensuite, des outils de traitement et des algorithmes ont été nécessaires pour les étapes de calibration des données vidéo, puis pour la détection, le suivi et la classification d'objets (usagers). L'extraction des trajectoires, la mesure des débits, des vitesses et des positions latérales ainsi que le calcul d'indicateurs ont ainsi pu être effectués. La Figure 5-1 présente une vue d'ensemble de la méthodologie adoptée.

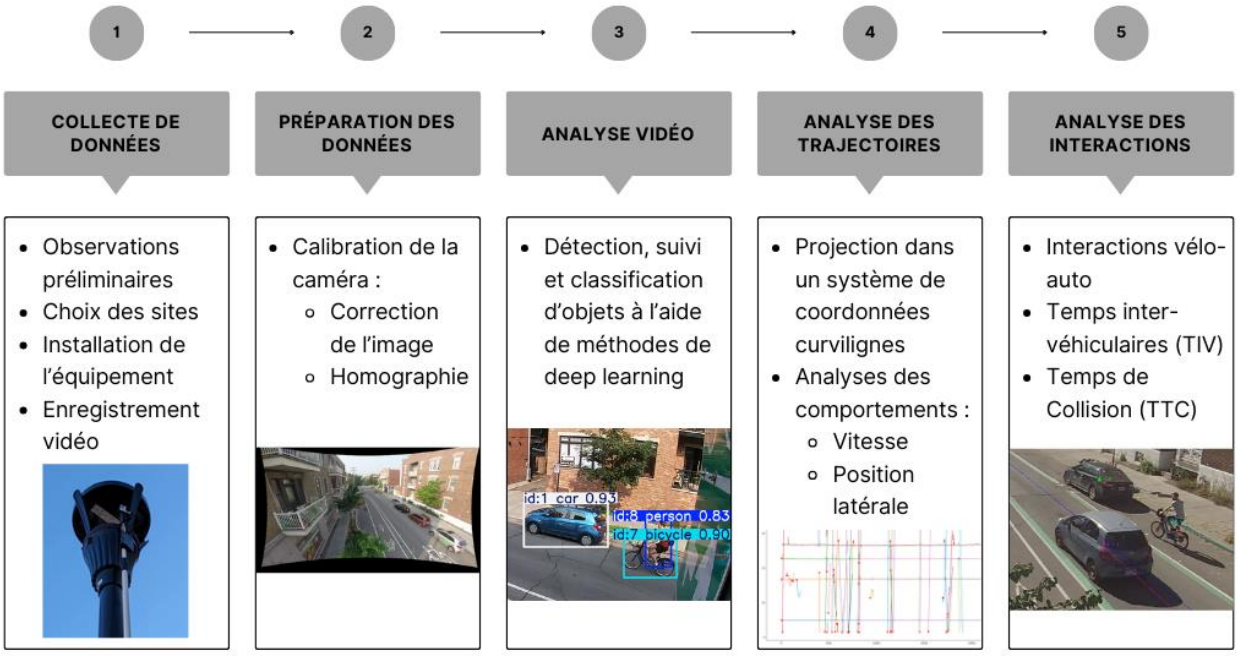

Figure 5-1 : Schéma de la méthodologie employée pour l'analyse vidéo

Les quatre sites énumérés ci-dessous, et identifiés à la Figure 5-2, ont été sélectionnés sur les deux vélorues étudiées pour enregistrer les séquences vidéo. Des exemples d'images provenant des séquences prélevées sont illustrées à la Figure 5-3 :

- Rue Villeray, de St-Denis à Drolet;
- Rue Villeray, au coin de Henri-Julien;
- Avenue Laurier, au coin de la 4^{e} Avenue;
- Avenue Laurier, de la 8^{e} Avenue à la 9^{e} Avenue.

Figure 5-2 : Quatre tronçons choisis pour l'analyse vidéo

Figure 5-3 : Exemples d'images tirées des enregistrements vidéo pour les quatre sites choisis

5.1.1 Collecte de données

Des caméras de type GoPro (Hero 3+ et Hero 7) offrant une résolution de 1920 x 1080 pixels ont été utilisées avec une fréquence de 30 images par secondes (IPS) pour l'ensemble des sites, à l'exception de Laurier / 9^{e} Avenue, où la fréquence était de 60 IPS. Ces paramètres s'avèrent adéquats puisqu'ils offrent une qualité d'image et une fréquence assez bonnes pour extraire les trajectoires des usagers et analyser leurs comportements et interactions.

Connectées à des batteries portatives, les caméras ont été installées sur des poteaux télescopiques afin de capter les images depuis une hauteur qui diminue les effets d'occlusion entre véhicules et autres usagers. Pour les faire tenir, les mâts ont été appuyées sur des lampadaires et des poteaux électriques, et ont dues être attachées avec de la corde afin de réduire au maximum la possibilité de mouvement et de vibration de la caméra (voir des exemples à la Figure 5-4). Des chaînes et des cadenas ont été utiles pour sécuriser l'installation le temps des captures des vidéos.

La collecte de données a été réalisée en quatre séances distinctes : deux avant la bonification des aménagements et deux après. Les caméras ont été positionnées aux mêmes emplacements, en veillant à préserver autant que possible des hauteurs et angles identiques entre les deux phases.

Afin de minimiser l'impact des conditions météorologiques, des journées sans risque d'averses ont été sélectionnées. Chaque séance visait une durée d'enregistrement d'environ huit heures, permettant de recueillir un volume de données suffisant tout en tenant compte des limites d'autonomie des batteries et de la capacité de stockage des caméras. Les dates et durées des prises de vues sont présentées dans le Tableau 5-1.

Tableau 5-1 : Dates et durées des séquences vidéo

Phase	**Date**	**Site**	**Heure de début**	**Heure de fin**	**Durée**
Avant	30 juin 2023	Villeray / Saint-Denis	08:13	16:30	8 h 17 min
		Villeray / Henri-Julien	08:28	12:16	3 h 48 min
	21 août 2023	Laurier / 9e Avenue	08:06	16:44	8 h 38 min
		Laurier / 4e Avenue	08:26	16:49	8 h 23 min
Après	2 octobre 2023	Villeray / Saint-Denis	08:31	16:31	8 h 07 min
		Villeray / Henri-Julien	08:53	16:49	7 h 56 min
	5 octobre 2023	Laurier / 9e Avenue	08:02	10:52	2 h 50 min
		Laurier / 4e Avenue	08:45	17:54	9 h 09 min

Comme il est possible de noter, des problèmes techniques ont été rencontrés lors de l'utilisation d'une des caméras. Plus précisément, l'appareil s'est éteint prématurément à deux reprises : une fois sur la rue Villeray lors de la première collecte et une autre fois sur l'Avenue Laurier durant la deuxième phase. Dans les deux situations, il est probable que ces interruptions soient dues à une surchauffe, causée par une exposition prolongée au soleil.

Figure 5-4 : Installation typique des caméras sur poteaux télescopiques

5.1.2 Calibration de la caméra

La calibration de la caméra s'effectue en deux étapes distinctes. La première consiste en la correction des images. La seconde étape, appelée homographie, vise à établir une correspondance entre les coordonnées spatiales des objets dans le monde réel (exprimées en mètres à la surface de la terre) et leurs positions dans l'image vidéo (exprimées en pixels). Ces étapes préliminaires sont essentielles pour assurer la fiabilité du processus global de traitement des données vidéo.

5.1.3 Correction des données

Les caméras de type GoPro utilisées pour la collecte des données génèrent une distorsion des images en raison de leur objectif « fisheye », ce qui provoque une déformation des lignes droites. Cette distorsion doit impérativement être corrigée pour projeter les positions dans le monde réel, permettant ainsi d'obtenir des trajectoires et de mesurer les distances et les vitesses. La correction de cette distorsion repose sur une transformation géométrique de l'image, réalisée à partir de la matrice intrinsèque de la caméra, ainsi que des coefficients de distorsion associés, présenté ci-dessous.

$$K = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x \\ 0 & f_y & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \tag{5.1}$$

$$Coefficients\ distorsion = [k_1 \quad k_2 \quad p_1 \quad p_2 \quad k_3] \tag{5.2}$$

Les distances focales de la caméra (en *x* et en *y*) sont représentées par les paramètres f_x et f_y , alors c_x et c_y représentent les coordonnées du centre de la lentille. Pour les coefficients de distorsion, k_1, k_2 et k_3 sont les coefficients de distorsion radiale, tandis que p_1 et p_2 sont les coefficients de distorsion tangentielle.

5.1.4 Projection des images dans le monde réel

La méthode de calibration disponible dans le projet *Traffic Intelligence* génère ensuite une matrice d'homographie, permettant la projection des points dans le plan réel. Cette projection des images dans un système de coordonnées aligné au niveau du sol constitue une étape essentielle pour les diverses analyses réalisées ultérieurement.

L'homographie est une transformation mathématique qui permet de passer d'un plan à un autre tout en conservant les lignes droites. Ainsi dans le contexte de la présente étude, une homographie sert à transformer une image capturée selon un certain angle et une certaine élévation pour aligner les points correspondants entre celle-ci et le plan réel, au niveau du sol. La transformation des coordonnées s'opère à l'aide de l'équation suivante :

$$s\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} = H\begin{pmatrix} x_0 \\ y_0 \\ 1 \end{pmatrix} \tag{5.3}$$

La correspondance entre les deux systèmes de coordonnées (x_1, y_1 et x_0, y_0) repose donc sur la matrice d'homographie *H*, accompagnée d'un facteur d'échelle *s* pour ajuster la transformation.

5.1.5 Détection, suivi et classification

Tel que mentionné à la section 2.2.2, la détection et le suivi visent à détecter les objets (usagers) dans une séquence vidéo, tout en actualisant leur position et en les suivant d'une image à l'autre. Ces positions sont exprimées en points dans un système de coordonnées cartésiennes (*x*,*y*) projeté au niveau du sol. Pour cette étude, l'approche basée sur la détection d'objets a été adoptée, dans laquelle la détection est effectuée par l'intermédiaire d'une boîte englobante, ce qui complique l'obtention d'un point représentatif pour la trajectoire.

Une étape primordiale précède l'extraction des trajectoires : la création d'un masque pour chaque séquence vidéo. Cette opération vise à délimiter la zone d'analyse des images (en blanc) et en excluant les régions non pertinentes (en noir).

Dans le cadre de la présente étude, seuls les comportements des usagers de la vélorue et leurs interactions sur l'aménagement en lui-même sont pris en considération. Par conséquent, des masques ont été élaborés pour chaque site étudié afin d'exclure les trottoirs ainsi que les zones lointaines, où la détection et la localisation auraient été moins précises. La Figure 5-5 présente le masque appliqué pour l'Avenue Laurier près de la 9e Avenue, durant la première phase.

Figure 5-5 : Exemple de masque appliqué pour le site Laurier / 9e Avenue

L'approche basée sur la détection est relativement récente et se distingue d'autres approches plus traditionnelles, telle que l'approche de détection et suivi basée sur les points d'intérêt (*feature-based tracking*) en intégrant les étapes habituellement successives de suivi et de classification dans un processus unifié. L'analyse vidéo s'appuie sur un outil de détection, classification et suivi des usagers développé dans le cadre du projet open-source *Traffic Intelligence* et fondé sur la bibliothèque Python Ultralytics [35].

Cette approche de suivi par détection tire parti des performances des détecteurs d'objets de la famille YOLO. Les modèles YOLO, dans leurs dernières versions (notamment YOLOv8, YOLOv10 et YOLO11), permettent de détecter une large variété d'objets, dont des piétons, des cyclistes, et divers véhicules, dans des conditions réelles et variées. Une fois les objets détectés, ces informations sont associées d'une image à l'autre à l'aide d'algorithmes sophistiqués tels que DeepSORT [36], qui se basent sur plusieurs critères, principalement la proximité spatiale et les caractéristiques visuelles des objets, pour maintenir leur suivi tout au long de la séquence vidéo.

L'outil disponible dans le projet *Traffic Intelligence* charge d'abord la vidéo à analyser, les matrices d'homographie et de calibration de caméra, ainsi que le masque, créé pour chaque site individuellement. Le modèle YOLOv8 permet de détecter et classifier les objets. Ces objets sont

ensuite suivis, donc associés à leurs trajectoires, en fonction de leur position qui est mise à jour à chaque image.

Divers processus d'optimisation sont mis en œuvre pour traiter les trajectoires et améliorer la précision du suivi. Parmi ces processus, on retrouve l'exclusion des objets dont la durée d'apparition est trop brève, une mise à jour dynamique du type d'utilisateur basée sur des analyses statistiques, l'interpolation des trajectoires manquantes ainsi que l'association entre piétons et vélos. Ces derniers, initialement considérés comme des objets distincts, comme illustré à la Figure 5-6, sont fusionnés en un unique objet de type cycliste.

Figure 5-6 : Exemple de détection d'objets

Une fois les données enregistrées dans des bases de données SQLite, un autre script Python est utilisé pour charger les trajectoires des objets, à savoir le suivi du point correspondant au milieu de la boîte de chaque usager, et projeter leurs positions dans un système de coordonnées curvilignes. Ce système, contrairement aux coordonnées cartésiennes où les axes sont perpendiculaires et forment des lignes droites, permet de suivre des courbes. Les coordonnées curvilignes sont représentées comme suit :

$$p = (ligne, S_p, \gamma_p) \tag{5.4}$$

Comme illustré à la Figure 5-7, la ligne représente le repère du système, sur laquelle sont projetées les coordonnées. S_p est la position longitudinale par rapport à l'origine, alors que γ_p est la position latérale (perpendiculaire) à cette ligne.

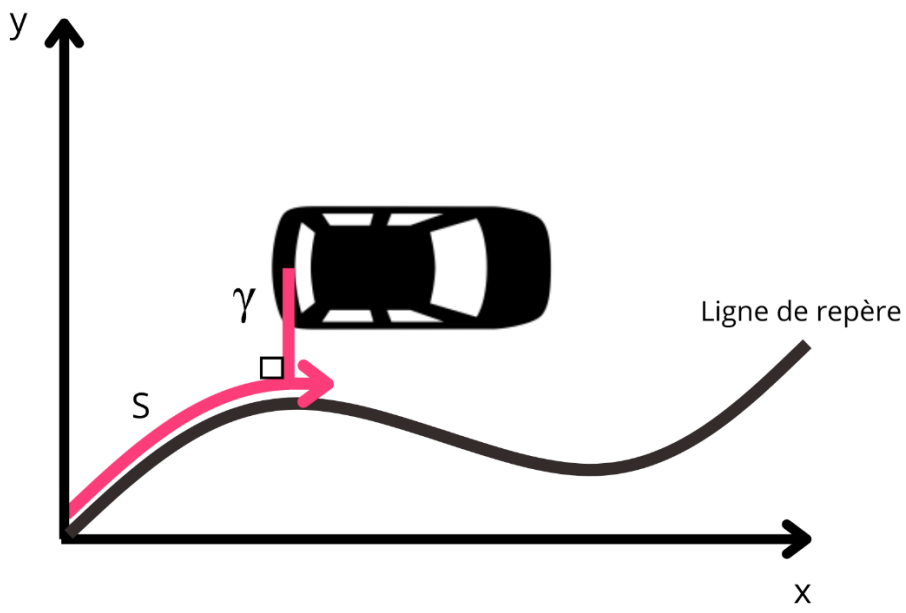

Figure 5-7 : Projection dans un système de coordonnées curvilignes

Ainsi, en établissant une ligne de référence au centre de la vélorue pour chaque site, il devient possible de déterminer la distance de chaque usager par rapport à cette ligne à tout moment de sa trajectoire, c'est-à-dire à chaque image.

La transformation de positions géographiques en positions curvilinéaires facilite la mesure de plusieurs paramètres, tels que la position latérale des usagers, leur vitesse, la détection des dépassements, ainsi que pour calculer divers indicateurs de sécurité, tels que le TIV et le TTC.

5.1.6 Gestion des données

Pour chaque séquence vidéo traitée, des bases de données composées de cinq tables ont ainsi été créées, dont le schéma est illustré à la Figure 5-8 :

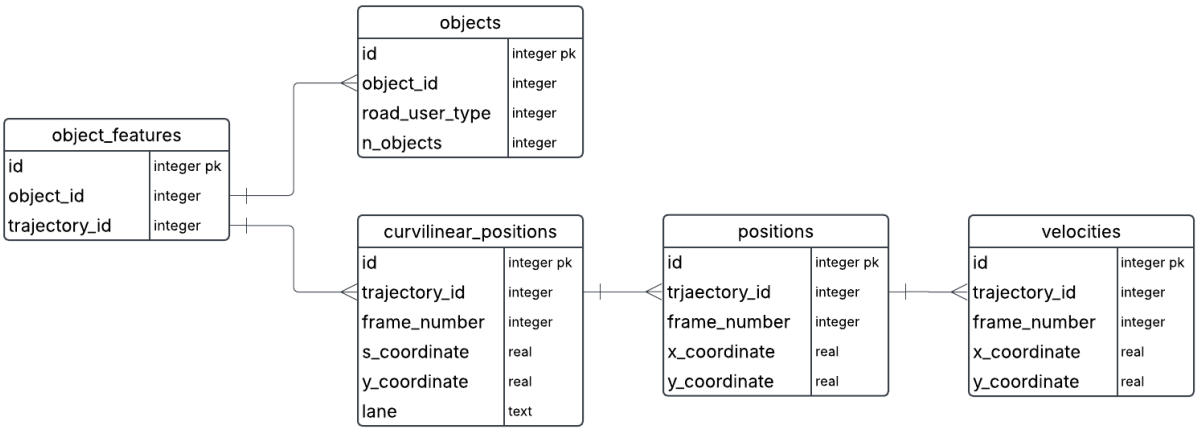

Figure 5-8 : Schéma de la base de données relationnelle (après analyse vidéo)

La table *objects* constitue le point de départ en identifiant chaque objet par un identifiant unique (*object_id*) tout en précisant son type (voiture, vélo, piéton, etc.) grâce à la colonne *road_user_type*. Cette table est reliée à *objects_features*, qui établit le lien entre chaque objet et ses trajectoires correspondantes à travers le champ *trajectory_id*. Les trajectoires sont ensuite décrites de manière détaillée dans trois tables complémentaires. La table positions consigne les coordonnées cartésiennes (*x*,*y*) pour chaque image de la séquence vidéo (*frame_number*), tandis que la table *velocities* y associe les vecteurs vitesse selon les mêmes axes, fournissant ainsi des informations dynamiques sur le déplacement des objets. Par ailleurs, la table *curvilinear_positions* représente les positions des objets dans un système de coordonnées curvilignes adapté aux infrastructures routières, avec les colonnes *s_coordinate* (position longitudinale) et *y_coordinate* (position latérale).

5.1.7 Mesure des positions latérales

Les observations réalisées sur le terrain, ainsi que les commentaires recueillis dans le cadre de l'enquête, ont révélé que les cyclistes ont tendance à circuler sur le côté droit de la vélorue, à l'instar de leur comportement sur une voie ordinaire dépourvue d’aménagements cyclables.

L’analyse des positions latérales des cyclistes par rapport au centre de la voie s'est donc avérée particulièrement pertinente. Effectuée à l'aide des coordonnées curvilignes des objets de type cycliste, cette mesure constitue l’une des applications fondamentales du système de coordonnées curvilignes.

Ainsi, pour chaque cycliste circulant dans le sens prévu de la vélorue (à l'exclusion de ceux circulant à contresens), la moyenne et l'écart-type des positions latérales tout au long de leur trajectoire a été calculée. Additionnellement, leur position latérale a été prélevée à une position longitudinale spécifique, soit à mi-tronçon de chaque site à l'étude.

5.1.8 Mesure des vitesses

La vitesse des automobilistes constitue un enjeu majeur dans toute étude de circulation, étant un facteur déterminant dans l'analyse de la sécurité routière. En effet, elle est étroitement corrélée à la fréquence et à la gravité des accidents [37].

Dans le cadre de l'étude des vélorues, cette analyse revêt une importance particulière, en raison du caractère mixte de la circulation qui y prédomine, avec des automobilistes et des cyclistes partageant un même espace. La vitesse des véhicules, limitée à 30 km/h sur ce type d'aménagement, peut potentiellement influencer le comportement des cyclistes et impacter leur sécurité. En outre, cette analyse n'a pas été limitée aux seules voitures, mais a également inclus les autres types de véhicules motorisés, tels que les motocyclettes et les véhicules lourds.

Une fois de plus, la projection des positions des usagers dans un système de coordonnées curvilignes s'est avérée nécessaire. Dans un premier temps, les vitesses moyennes ont été calculées en utilisant la différence entre les positions longitudinales finales et initiales d'un objet (véhicule motorisé) sur sa trajectoire curvilinéaire, rapportée à l'intervalle de temps correspondant. Cet intervalle a été déterminé à partir du nombre total de points enregistrés sur la trajectoire. Par exemple, une fréquence d'image de 30 IPS implique que le temps écoulé entre deux images consécutives est de 1/30 de seconde. Ce délai permet le calcul de la vitesse moyenne selon l'équation ci-dessous, en convertissant la distance parcourue par image en kilomètres par heure.

$$v_{moy} = \frac{s_f - s_i}{Nombre\ d'images - 1} \tag{5.5}$$

Où :

- s_i *: position longitudinale initiale (m)*
- s_f *: position longitudinale finale (m)*

Dans un second temps, les vitesses instantanées à mi-tronçon ont été calculées pour les mêmes objets. Plus précisément, il s'agissait de la différence entre deux points consécutifs, dont les

positions longitudinales se rapprochaient le plus de la position longitudinale spécifique à chaque site, à savoir celle située à mi-chemin de ces derniers. Cette mesure a été réalisée à l'aide de l'équation suivante :

$$v_{moy} = s_{i+1} - s_{i-1} \tag{5.6}$$

5.1.9 Analyse des interactions

La vélorue, bien qu'elle permette la circulation des cyclistes à contresens, demeure un aménagement à sens unique pour les véhicules motorisés. Cette caractéristique engendre des situations fréquentes de suivi et de dépassement, lesquelles représentent les types d'interactions les plus courants entre cyclistes et automobilistes, comme le soulignent les observations préliminaires.

Le TIV, mesurant l'intervalle entre deux usagers consécutifs, et le TTC, qui en rappel, est défini comme le « temps restant avant qu'une collision entre deux véhicules ne se produise si leur mouvement reste inchangé » [17], sont deux indicateurs essentiels pour étudier la sécurité des interactions sur la vélorue. Ces indicateurs sont particulièrement pertinents pour évaluer le niveau de sécurité des usagers circulant dans la même direction.

Pour le calcul de ces deux indicateurs, plusieurs contraintes ont dû être prises en compte. Tout d'abord, il a été essentiel de cibler les paires d'objets consécutifs, composées d'un cycliste (meneur) et d'un véhicule motorisé (suiveur), circulant dans le même sens, en excluant ainsi les cyclistes circulant à contresens. Ensuite, il était impératif de ne pas considérer les voitures stationnées, en utilisant les seuils de vitesse et de distance pour séparer les objets stationnaires des objets en mouvement et les exclure de l'analyse.

Les TIV ont été déterminés en calculant la différence de temps entre les instants de traversée des deux objets à chaque position longitudinale. Plus spécifiquement, il s'agit de la durée entre le moment où le premier objet quitte le point ciblé et celui où le deuxième objet y entre. La moyenne de ces temps a ensuite été retenue comme mesure représentative des interactions pour les analyses subséquentes.

Le principe est similaire pour les TTC, qui ont seulement été calculés lorsque la vitesse de l'automobiliste (suiveur) était supérieure à celle du cycliste (meneur), indiquant un rapprochement des deux usagers. Le calcul consiste à diviser la distance inter-véhiculaires (DIV) entre les deux objets par la différence de leurs vitesses, selon l'équation ci-dessous :

$$TTC(t) = \frac{|s_{vélo}(t) - s_{auto}(t)|}{v_{auto}(t) - v_{vélo}(t)} \; si \; v_{auto}(t) > v_{vélo}(t) \tag{5.7}$$

La valeur minimale de la série temporelle TTC(t) a été considérée pour les analyses afin de considérer les situations pour lesquelles les deux usagers impliqués étaient le plus proche.

De plus, les coordonnées curvilignes ont également été employées afin d'identifier les situations de dépassements. Un dépassement a été défini comme une situation où la DIV entre un cycliste (meneur) et un automobiliste (suiveur) devenait négative, ce qui indiquait que l'automobiliste était désormais en tête.

Des analyses visuelles, réalisées par le biais du visionnement des séquences vidéo, ont permis d'identifier certains comportements récurrents. Bien que ces comportements soient pertinents pour répondre au troisième objectif du projet, visant à caractériser le comportement et à évaluer la sécurité des automobilistes et des cyclistes, le nombre insuffisant d'observations n'a pas permis de tirer des conclusions significatives.

5.2 Résultats

Une fois l'ensemble des séquences vidéo collectées, le traitement a été entamé, comprenant la correction des images et leur projection dans un système de coordonnées adapté au niveau du sol. Des analyses ont été menées concernant les débits des usagers, la position latérale des cyclistes sur la chaussée, la vitesse des véhicules motorisés, ainsi que les interactions entre les usagers de la vélorue. Les TIV, les TTC, ainsi que les situations de dépassements ont été étudiés.

5.2.1 Débits

Les débits de circulation des cyclistes et des automobilistes ont été comptabilisés, puis mis en rapport afin de déterminer si les bonifications de l'aménagement ont pu avoir un impact sur le volume de voitures empruntant les vélorues, une nuisance rapportée par 46,1 % et 45,6 % des répondants au sondage avant et après les changements respectivement. Le Tableau 5-2 présente les débits, en termes d'usagers par heure, pour les cyclistes (dans les deux sens de la vélorue) et les automobilistes sur chacun des sites étudiés, ainsi que le rapport entre les deux.

Tableau 5-2 : Débits observés sur les vélorues à l'étude

Site	**Phase**	**Débit vélo (véh/h)**	**Débit auto (véh/h)**	**Rapport vélo/auto**	**Variation**
Villeray / Henri-Julien	Avant	59	93	0,64	- 0,09
	Après	70	128	0,55	
Villeray / Saint-Denis	Avant	76	132	0,58	- 0,17
	Après	70	173	0,40	
Laurier / 9e Avenue	Avant	57	80	0,71	+ 0,17
	Après	40	45	0,88	
Laurier / 4e Avenue	Avant	52	81	0,64	- 0,03
	Après	72	118	0,61	

Pour chacun des sites étudiés, il ressort que la circulation cycliste demeure systématiquement inférieure au trafic motorisé, et ce, malgré les bonifications apportées aux aménagements. Seul le site Laurier / 9e Avenue présente des débits cyclistes et automobiles s'approchant de la parité, avec un ratio vélo-auto de 0,88 lors de la deuxième phase de l’étude. Il constitue d’ailleurs le seul site ayant observé une amélioration dans ce domaine, tandis que des écarts négatifs sont enregistrés sur les trois autres tronçons.

Néanmoins, pour une interprétation rigoureuse des résultats, il convient de prendre en compte l’influence de certains facteurs ayant pu affecter la collecte des données, ainsi que les problèmes techniques rencontrés avec les caméras lors de deux des sessions de collecte.

Premièrement, les prises d’images réalisées lors de la première phase ont eu lieu en plein été (30 juin et 21 août), et principalement durant les vacances scolaires, période pendant laquelle les horaires de travail sont susceptibles de varier pour de nombreuses personnes. Ce facteur a

certainement pu influencer les déplacements des usagers, notamment pour le site Laurier / 9e Avenue, où se situe une école primaire. Suite aux modifications apportées aux aménagements de la vélorue en septembre 2023, les collectes de données pour la deuxième phase ont été effectuées au début du mois d'octobre, dans un contexte bien différent de celui de la première phase, marqué par la reprise de l'année scolaire et des conditions climatiques distinctes.

Deuxièmement, en ce qui concerne les problèmes techniques rencontrés, le site, les heures de début et de fin, ainsi que la durée des deux collectes de données en question sont présentées au Tableau 5-3.

Tableau 5-3 : Durées des séquences vidéo pour les collectes incomplètes

Phase	**Site**	**Heure de début**	**Heure de fin**	**Durée**
Avant	Villeray / Henri-Julien	08:28	12:16	3 h 48 min
Après	Laurier / 9e Avenue	08:02	10:52	2 h 50 min

Pour ces cas particuliers, il est évident que les données recueillies ne reflètent pas l'ensemble des phénomènes de circulation susceptibles d'être observés au cours d'une journée typique, puisque seule la période de l'avant-midi a été observée, excluant ainsi l'heure de pointe du soir. Par conséquent, les débits moyens sur la journée peuvent en être potentiellement affectés, étant donné que l'achalandage fluctue au fil de la journée, comme le montrent les Figure 5-9 et Figure 5-10. Celles-ci illustrent l'évolution des débits cyclistes et automobiles au fil du temps, à partir des collectes de données complètes réalisées pour les mêmes sites. Ainsi, la collecte de la deuxième phase (Après) a été considérée pour le site Villeray / Henri-Julien, alors que pour Laurier / 9^{e} Avenue ce sont les données recueillies durant la première phase (Avant) qui ont été utilisées. Il convient de noter que le trafic motorisé est davantage impacté par cette limitation, étant donné que les rues étudiées sont à sens unique pour les voitures. En effet, un automobiliste circulant sur la vélorue le matin ne l'empruntera probablement pas lors de son trajet retour, et inversement. Comme mentionné précédemment, les vélorues étant équipées de voies à contresens pour les cyclistes, ces derniers peuvent utiliser le même itinéraire à l'aller comme au retour, ce qui atténue ainsi l'impact du problème technique lié aux caméras sur le débit cycliste.

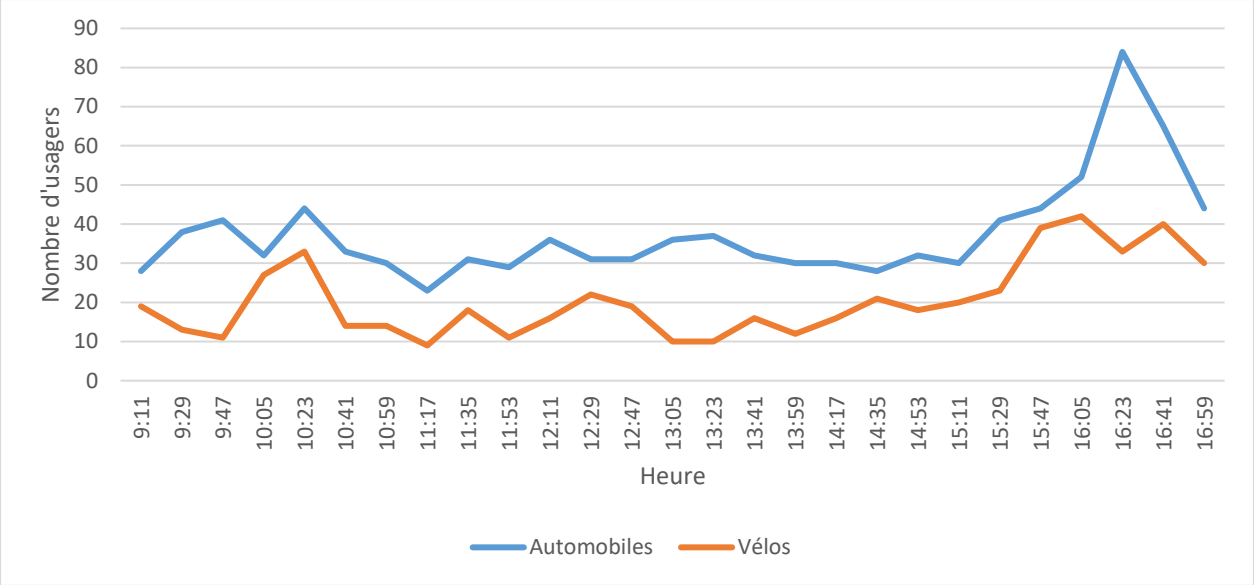

Figure 5-9 : Évolution des débits cycliste et motorisé pour la phase « Après » du site Villeray / Henri-Julien

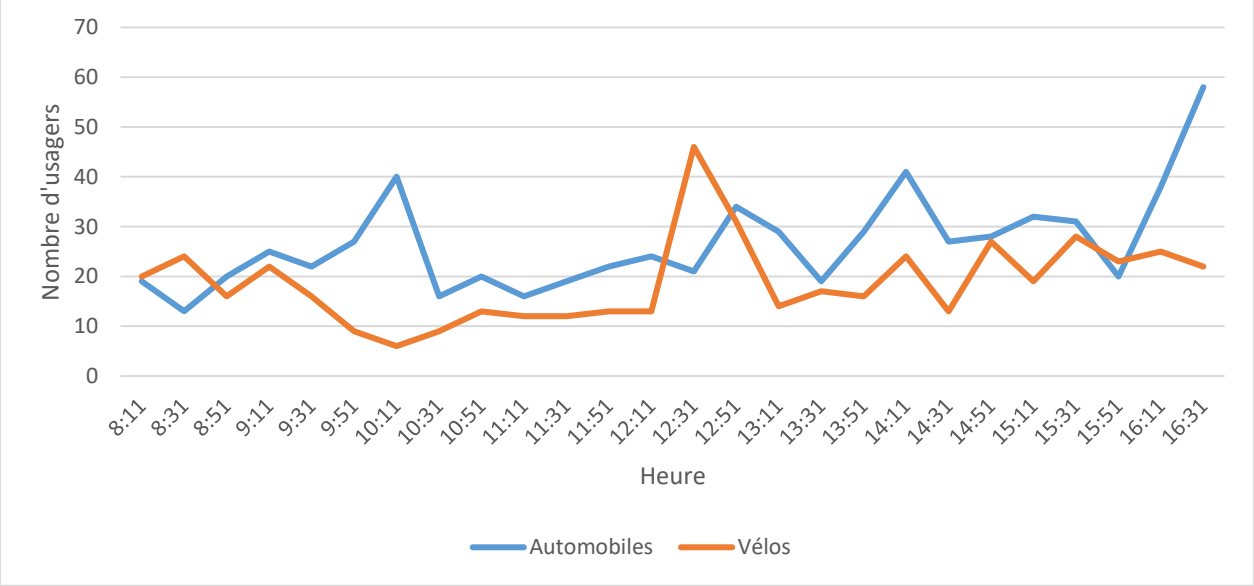

Figure 5-10 : Évolution des débits cycliste et motorisé pour la phase « Avant » du site Laurier / 9e Avenue

La rue Villeray, sens unique vers l'ouest, étant une rue de destination directement connecté au REV Saint-Denis, peut laisser croire que les débits sont similaires durant les deux pointes. Or, l'interprétation de la Figure 5-9 révèle une augmentation des débits pour les deux types d'usagers en fin d'après-midi. Bien que les débits horaires calculés pour le site Villeray / Henri-Julien aient

été affectés par le problème technique, cela ne suggère pas nécessairement un impact significatif sur le rapport vélo-auto, puisque l'écart entre le débit cycliste et le trafic motorisé demeure stable, voire s'accentue, au fil de la journée. En conséquence, il paraît peu probable que le débit automobile ait été surévalué lors de la première phase de l'étude, malgré le dysfonctionnement de la caméra. La diminution du rapport vélo-auto, passant de 0,64 à 0,55, apparaît donc plausible.

De son côté, l'Avenue Laurier est un sens unique en direction est, et constitue surtout un lien de transit, ce qui engendre des variations notables des débits tout au long de la journée. La Figure 5-10 montre en effet des débits légèrement plus élevés en après-midi pour le site Laurier / 9^{e} Avenue, ce qui suggère que le débit automobile observé de 45 véh/h lors de la deuxième phase a probablement été sous-évalué. Il est dès lors plausible que l'amélioration du rapport auto-vélo pour ce site soit attribuable à ce biais, d'autant plus que ce site est le seul ayant enregistré une amélioration à ce niveau.

En somme, l'analyse des débits cyclistes et automobiles sur les vélorues met en évidence des écarts persistants défavorables aux cyclistes, malgré les améliorations apportées aux aménagements. Parmi les sites étudiés, seul Laurier / 9^{e} Avenue se distingue par une quasi-parité entre les deux types d'usagers lors de la deuxième phase (rapport vélo-auto de 0,88), bien qu'une sous-évaluation des débits automobiles puisse expliquer cette amélioration. En revanche, les trois autres sites présentent une dégradation de ce taux. Ces résultats doivent toutefois être interprétés avec précaution, en raison des limites méthodologiques inhérentes, telles que les variations saisonnières et contextuelles entre les phases de collecte, ainsi que des problèmes techniques ayant compromis la représentativité des données pour certains sites.

Un facteur potentiellement responsable des débits motorisés élevés réside dans la conception même de l'aménagement, qui ne parvient pas à contraindre de manière suffisante la circulation automobile sur les sites étudiés. Comme le suggère le guide d'application de la vélorue, l'implantation de certains dispositifs d'aménagement peut permettre de réguler le débit de véhicules. Les déviateurs en constituent un exemple pertinent, en détournant les flux de circulation vers des rues adjacentes [1]. Comme présenté à la section 3.2, les deux vélorues étudiées intègrent un déviateur dans leur conception. La Figure 5-11 illustre l'emplacement de ces dispositifs, situés aux extrémités des vélorues étudiées, ce qui ne contraint pas les véhicules autant que si ces dispositifs étaient placés aux deux bouts.

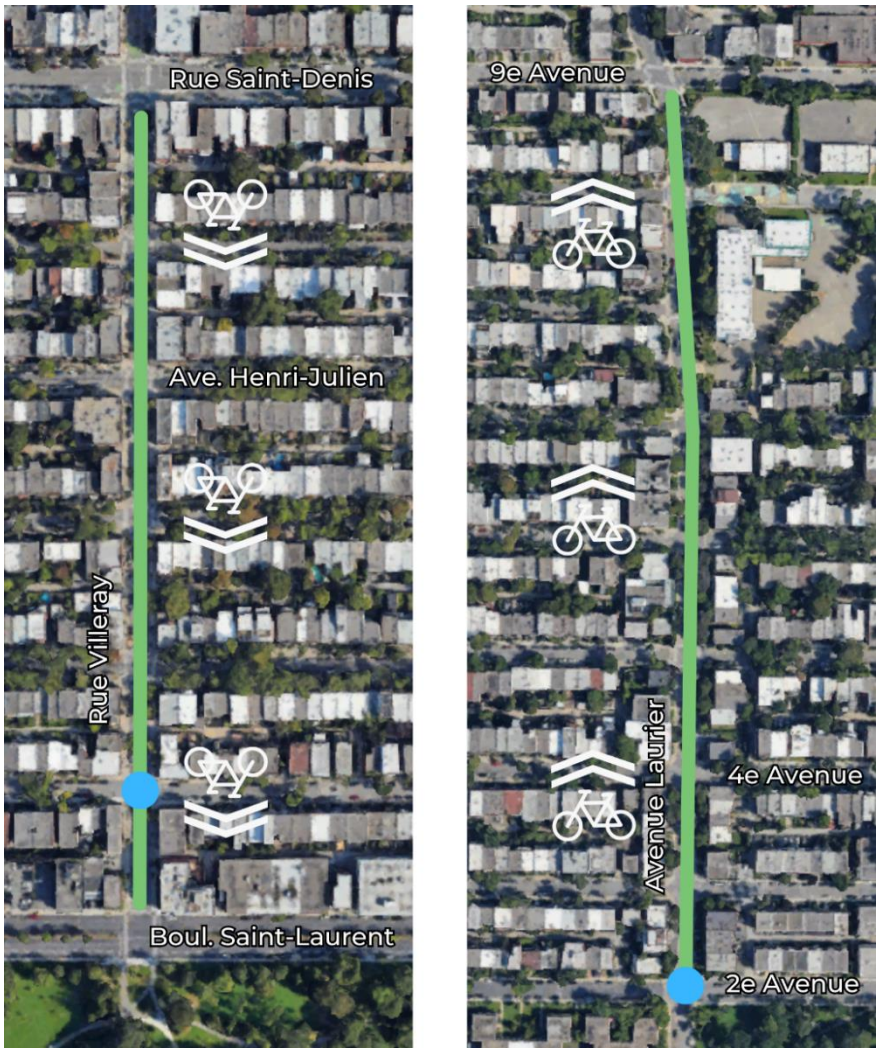

Figure 5-11 : Localisation des déviateurs sur les vélorues étudiées

En effet, selon les séquences vidéo enregistrées pour le site Laurier / 4e Avenue, un débit constant de véhicules emprunte la 4e Avenue pour rejoindre l'Avenue Laurier, permettant ainsi aux automobilistes de circuler pratiquement sur toute la longueur de la vélorue jusqu'au boulevard Saint-Michel. L'implantation d'un déviateur à mi-parcours de la rue pourrait sans doute contraindre la majorité des automobilistes utilisant la vélorue à rechercher un itinéraire alternatif, contribuant ainsi à une meilleure conformité avec la fonctionnalité et les objectifs du dispositif d'aménagement de la vélorue.

5.2.2 Positions latérales des cyclistes

Comme indiqué dans la méthodologie, l'objectif de cette analyse est de déterminer si un changement de comportement a été observé chez les cyclistes circulant sur les vélorues, en particulier en ce qui concerne les trajectoires empruntées. Les observations préliminaires ont suggéré que la majorité des cyclistes privilégiaient le côté droit de la rue, plutôt que de circuler au centre, bien que cette dernière option soit autorisée et encouragée. Une explication probable de ce comportement réside dans le sentiment de sécurité et de confort des cyclistes. En effet, tel que constaté à la section 4.2.3, malgré une hausse du sentiment de sécurité des cyclistes ayant répondu au sondage, il demeure que 40,2 % de ceux-ci ont répondu avoir un sentiment de sécurité « Moyen », « Faible » ou très « Très faible » pour la phase « Après ». Il convient de mentionner que parmi ceux-ci, le chiffre atteint 78,3 % pour les cyclistes ne pratiquant le vélo que quelques fois par année, 74,0 % pour les 40-49 ans, 88,8 % pour les 50 ans et plus, ainsi que 73,4 % pour les femmes. Ainsi, la sécurité demeure un enjeu important pour plusieurs types d'usagers plus vulnérables.

Pour l'analyse, les positions latérales moyennes de chaque cycliste ont été considérées et la Figure 5-12 a été générée. Les diagrammes en violons de cette figure représentent les distributions des données pour chaque site, avant et après les changements apportés. Ce type de diagramme permet de visualiser de manière plus détaillée la dispersion des données, en représentant notamment les différents quartiles, tout en offrant une meilleure visibilité par rapport à une boîte à moustaches traditionnelle.

Afin de bien interpréter les données, il faut considérer que la position 0 m correspond approximativement au centre de la chaussée, soit l'emplacement idéal où les cyclistes sont invités à circuler. Un chiffre supérieur à zéro indique que le cycliste se trouve à gauche de la ligne médiane, tandis qu'une valeur inférieure indique une position à droite de cette même ligne. Ainsi, en observant la figure, il est possible de considérer le sens de la vélorue comme allant de gauche à droite, avec la coordonnée 0 représentant le centre de la voie.

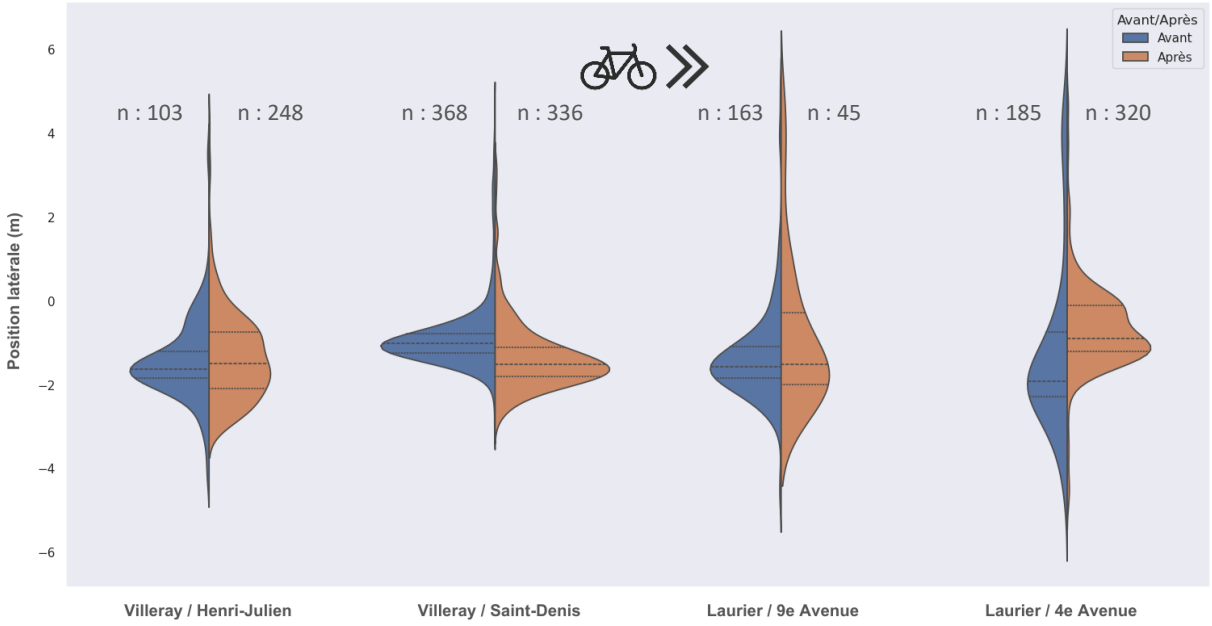

Figure 5-12 : Diagrammes en violon des positions latérales moyennes des cyclistes sur les vélorues étudiées

Comme toutes les positions de la trajectoire des cyclistes sont considérées dans le calcul de la moyenne, cette dernière est susceptible d'être affectée par les limitations de la caméra et la distorsion dans les coins de l'image. Ainsi, la Figure 5-13 présente cette fois les positions latérales des cyclistes à mi-chemin de chaque tronçon analysé, plutôt que de considérer la moyenne de toutes les positions de chaque cycliste. Cette approche permet valider la cohérence des observations.

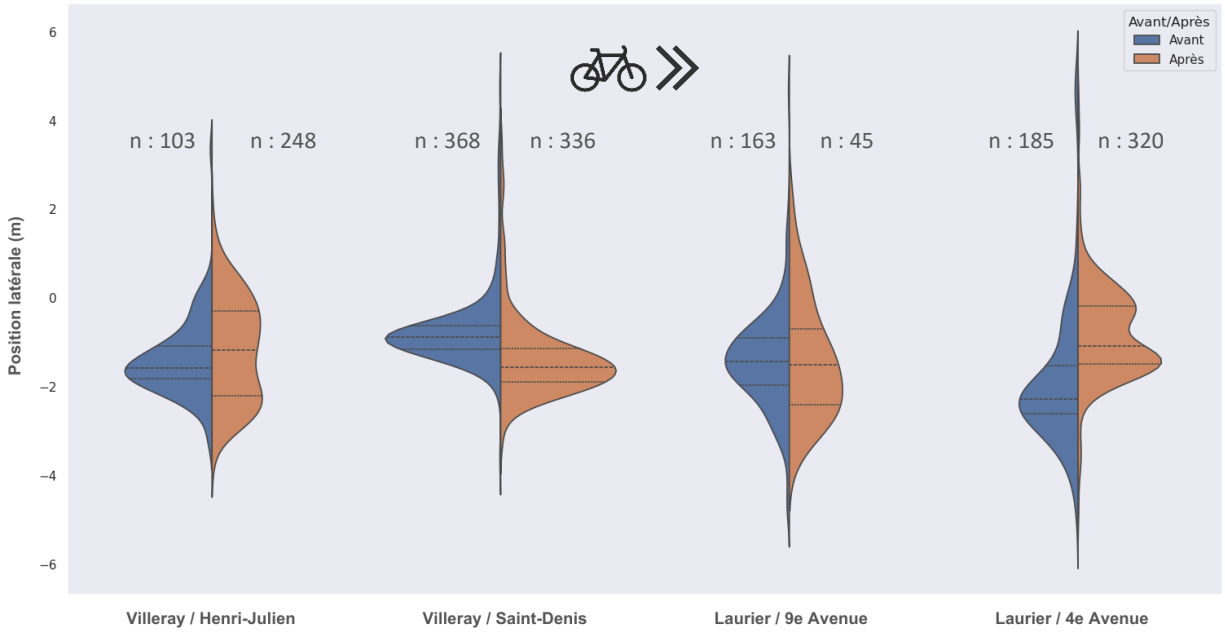

Figure 5-13 : Diagrammes en violon des positions latérales à mi-tronçon des cyclistes sur les vélorues étudiées

D'abord, en comparant les deux figures, à l'exception d'une légère diminution de la médiane pour le site Laurier / 4e Avenue avant les changements, il apparaît que les résultats obtenus à l'aide des deux méthodes sont relativement similaires.

Étant donné que les données ne suivent pour la plupart pas une distribution normale, que les échantillons sont de tailles différentes d'une phase à l'autre et que les données contiennent des valeurs aberrantes, des tests de Mann-Whitney ont été appliqués. Pour ces tests, l'hypothèse nulle est qu'il n'y a aucune différence entre les positions latérales moyennes et à mi-tronçon ($H_0 : \mu_1 = \mu_2$) et l'hypothèse alternative est qu'il y a une différence entre les positions latérales et à mi-tronçon ($H_1 : \mu_1 < \mu_2$ ou $\mu_1 > \mu_2$). L'hypothèse nulle est rejetée si la probabilité est plus faible que le niveau de confiance à 95 % ($p < 0,05$).

Ceux-ci ont permis de conclure qu'une différence significative entre les distributions des positions latérales moyennes et à mi-tronçon n'existe que pour les deux phases de l'étude sur le site Laurier / 4e Avenue, ainsi que pour la phase « Avant » du site Villeray / Saint-Denis. Ces résultats sont détaillés dans le Tableau 5-4.

Tableau 5-4 : Résultats des tests u de Mann-Whitney comparant les distributions des positions latérales moyennes et à mi-tronçon

Site	**Phase**	**Stat-U**	**Valeur-p**	**H_0**
Villeray / Henri-Julien	Avant	5342	0,97500	Non rejet
	Après	33228	0,07179	Non rejet
Villeray / Saint-Denis	Avant	78868	0,00011	Rejet
	Après	53874	0,30642	Non rejet
Laurier / 9^{e} Avenue	Avant	13588	0,64985	Non rejet
	Après	793	0,19814	Non rejet
Laurier / 4^{e} Avenue	Avant	10960	3,24E-05	Rejet
	Après	42679	0,00450	Rejet

L’absence d’écart significatif pour la plupart des collectes de données effectuées indique que le calcul de la position latérale moyenne s’avère précis en sachant que la valeur à mi-tronçon est une valeur obtenue à partir d'une position fixe sur la trajectoire.

Les écarts-types des positions latérales moyennes fournissent une mesure de la dispersion des positions de chaque cycliste et permettent d’évaluer la précision des valeurs calculées. Ces données sont illustrées à Figure 5-14.

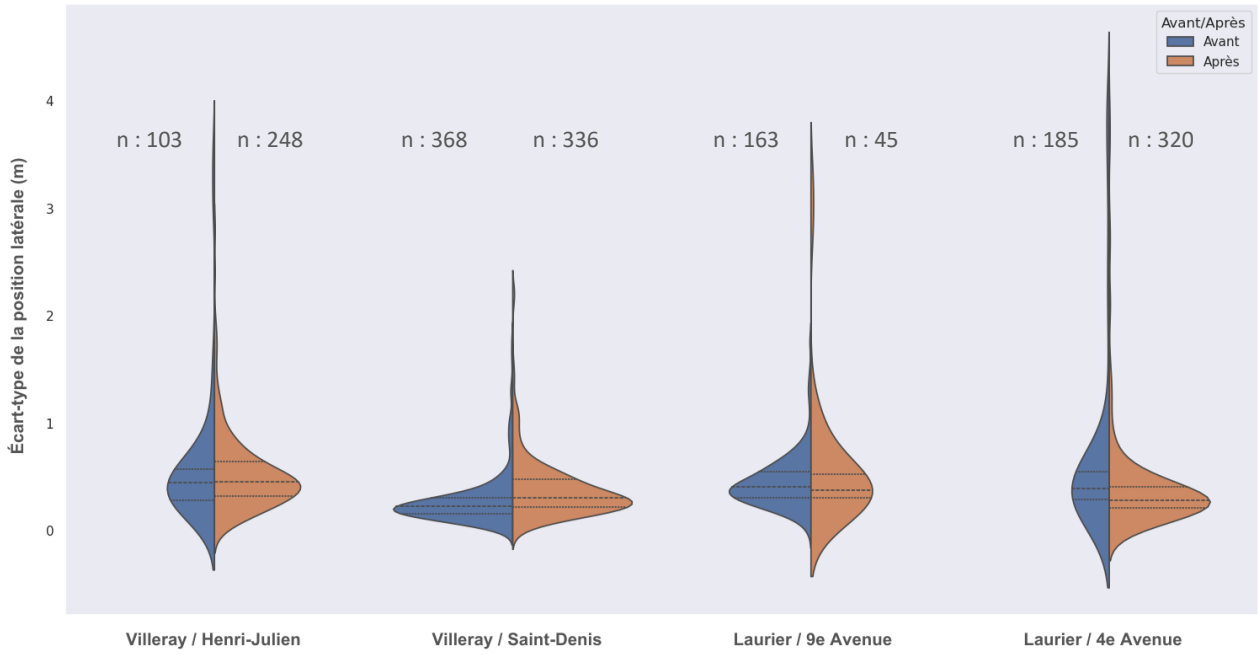

Figure 5-14 : Diagrammes en violon des écarts-types des positions latérales des cyclistes sur les vélorues étudiées

Les résultats montrent qu'il n'y a pas de variation significative dans le positionnement des cyclistes sur la chaussée. Une légère augmentation des écarts-types est observée pour le site Villeray / Saint-Denis, ce qui indique une plus grande diversité dans le positionnement des cyclistes après les modifications apportées à l'aménagement. En revanche, pour le site Laurier / 4e Avenue, une diminution des écarts-types est constatée, suggérant que les cyclistes ont tendance à se positionner de manière plus uniforme lors de la deuxième phase.

Ensuite, en comparant les données avant-après en considérant les positions latérales à mi-tronçon, les résultats sont mitigés et ne pointent pas vers une amélioration globale dans le positionnement des cyclistes sur la vélorue. Pour évaluer la significativité de ces différences, des tests de Mann-Whitney ont été appliqués pour certains sites.

Bien qu'un déplacement non significatif des positions latérales vers la gauche ($p = 0{,}1456$) soit observé pour le site Villeray / Henri-Julien, ce qui signifie un rapprochement vers le centre de la chaussée, c'est principalement la dispersion accrue des données qui se distingue pour la phase « Après » sur ce site. En effet, les quartiles sont plus éloignés de la médiane, ce qui suggère qu'une portion des cyclistes a modifié son comportement, tandis qu'une autre a maintenu sa pratique

précédente en se positionnant davantage sur le côté droit de la rue. Cette observation indique une plus grande liberté dans le positionnement des cyclistes sur la vélorue.

En revanche, pour le site voisin de Villeray / Saint-Denis, une régression marquée est observée. Les deux figures montrent un déplacement notable des positions latérales vers la droite de la chaussée, la médiane passant de -0,89 m à -1,57 m.

Pour l'Avenue Laurier, il n'y a pas de changement significatif au niveau du positionnement des cycliste ($p = 0,5965$) pour la 9e Avenue, néanmoins une dispersion des données est évidente, indiquant la présence de cyclistes circulant à la fois à droite et à gauche. Au site voisin, Laurier / 4e Avenue, les changements d'infrastructure semblent avoir considérablement amélioré la situation, avec un recentrement notable des positions latérales après les améliorations, caractérisé par un gain médian de plus d'un mètre (-2,29 m à -1,09 m).

Ainsi, il est notable que, conformément aux observations préliminaires, les cyclistes ont tendance à circuler du côté droit de la vélorue, les données de positions latérales étant majoritairement inférieures à 0. Ce comportement persiste malgré les incitations à circuler au centre de la chaussée, telles que recommandées pour ce type d'aménagement. Cela augmente ainsi le risque d'emportiérage, mettant en évidence une problématique de sécurité pour les cyclistes.

Sous un autre angle que celui du sentiment de sécurité et de confort, les conditions de circulation et la conception même des vélorues peuvent être des facteurs expliquant ce comportement. Par exemple, plusieurs intersections munies de feux de circulation interrompent les vélorues étudiées, créant parfois des files de voitures et obligeant les cyclistes à dévier de leur trajectoire. Le site Villeray / Saint-Denis illustre particulièrement ce phénomène, où de forts achalandages surviennent en raison du feu de circulation à l'intersection de la rue Saint-Denis, générant des flux d'usagers par vagues. En effet, lorsque le feu est vert en amont, de nombreux véhicules et cyclistes arrivent simultanément sur la vélorue, et, avec une distance de seulement 75 m avant l'intersection de la rue Drolet en aval, l'arrêt à cet endroit engendre parfois des files d'attente. Cette situation oblige les cyclistes à s'arrêter, comme le montre la Figure 5-15, où un véhicule effectue une manœuvre de stationnement, ou à circuler sur le côté, comme illustré à la Figure 5-16, où un cycliste circule sur le trottoir parallèlement au passage de plusieurs voitures sur la vélorue.

Figure 5-15 : Exemple d’un cycliste devant s’arrêter en raison de la congestion automobile

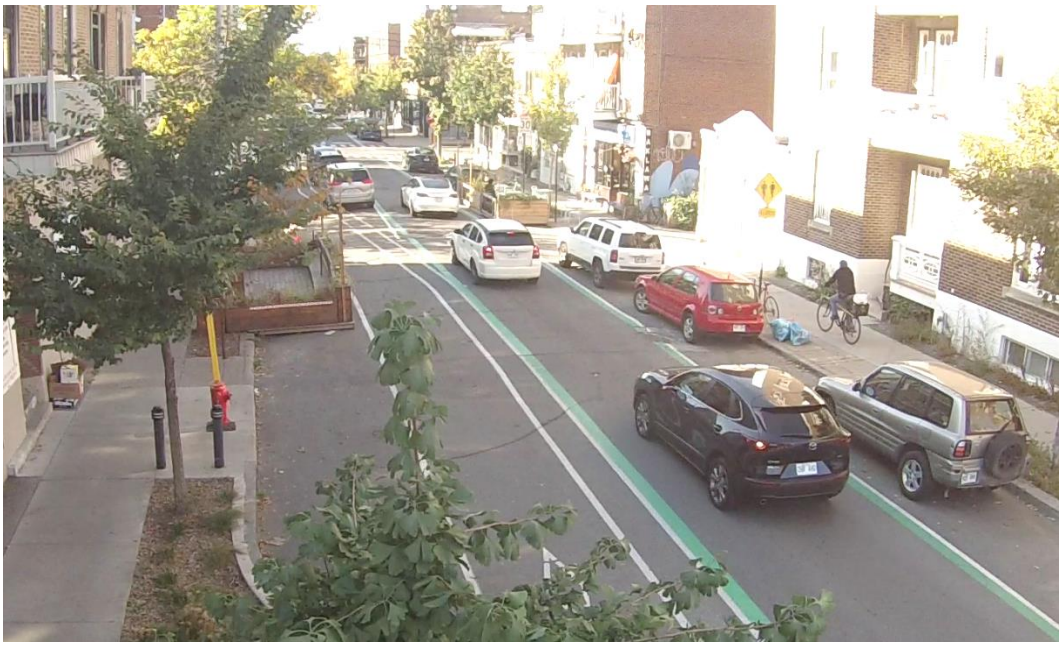

Figure 5-16 : Exemple d’un cycliste devant circuler sur le côté de la vélorue en raison de la circulation automobile

Certaines caractéristiques spécifiques des aménagements peuvent également expliquer la tendance des cyclistes à circuler sur le côté droit de la chaussée. Par exemple, sur l'Avenue Laurier, qui est plus large, les cyclistes sont parfois amenés à utiliser l’espace libre des voies de stationnement

inutilisées pour circuler, plutôt que de rester au centre de la voie, comme cela est recommandé, malgré la présence de bandes vertes délimitant désormais l'aménagement cyclable. Les Figure 5-17 et Figure 5-18 illustrent ce type de comportements observés avant et après les améliorations.

Figure 5-17 : Exemple d'un cycliste circulant sur la droite de la vélorue pour la phase « Avant »

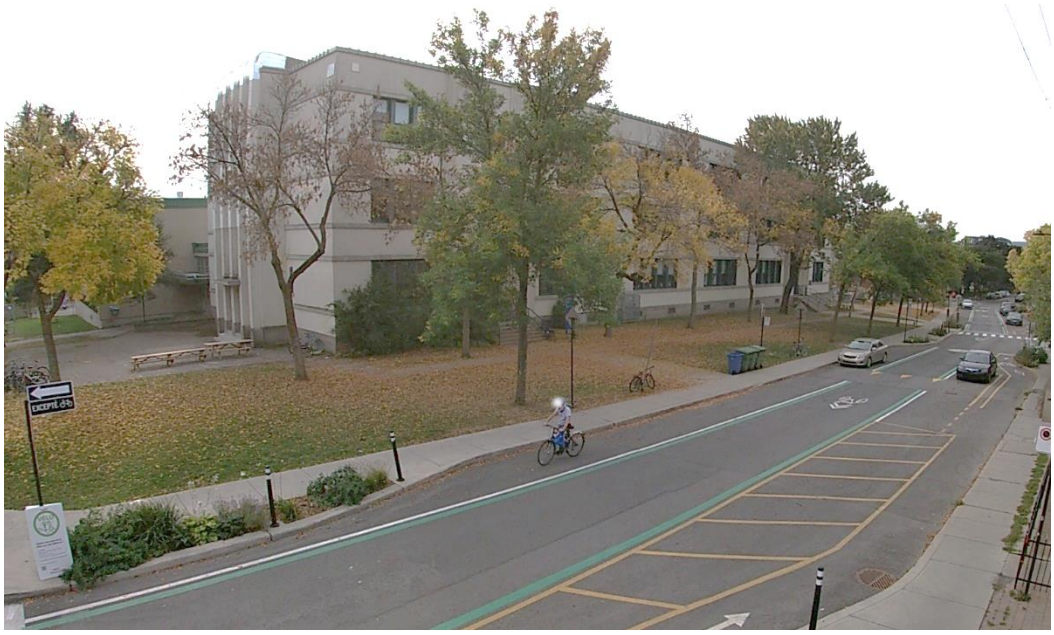

Figure 5-18 : Exemple d'un cycliste circulant sur la droite de la vélorue pour la phase « Après »

En somme, l'analyse des positions latérales des cyclistes sur les vélorues met en évidence une tendance générale à circuler à droite de la chaussée. Les données montrent néanmoins des disparités selon les sites, notamment une amélioration significative sur Laurier / 4e Avenue, où les cyclistes se sont recentrés après les modifications. À l'inverse, le site Villeray / Saint-Denis présente un déplacement des trajectoires vers la droite. Sur Villeray / Henri-Julien et Laurier / 9^{e} Avenue, ce sont surtout des dispersions des positions qui sont constatées, indiquant une plus grande liberté dans leur positionnement sur la vélorue. Ces résultats soulignent que, malgré les changements apportés aux aménagements, plusieurs contraintes influencent toujours les trajectoires des cyclistes, notamment le volume d'automobiles, qui n'a pas diminué tel que vu à la section 5.2.1.

5.2.3 Vitesses moyennes des voitures

La vitesse des automobiles sur les vélorues constitue un enjeu majeur, car elle affecte directement la circulation des cyclistes. De fait, 44,0 % et 35,6 % des répondants au sondage ont affirmé que la vitesse des voitures nuisait à la sécurité et au confort de ceux-ci sur la vélorue, avant et après les bonifications respectivement. En rappel, une vitesse limite de 30 km/h est imposée en tout temps sur la vélorue.

Les observations préliminaires ont mis en évidence l'importance de cette analyse, soulignant que de nombreux automobilistes ne respectent pas fréquemment cette limite de vitesse, ce qui contraint les cyclistes à adapter leur comportement pour prioriser leur sécurité lorsqu'ils empruntent la vélorue. Les vitesses moyennes des voitures ont donc été calculées et la Figure 5-19 illustre les résultats au moyen de diagrammes en violon pour les quatre sites à l'étude.

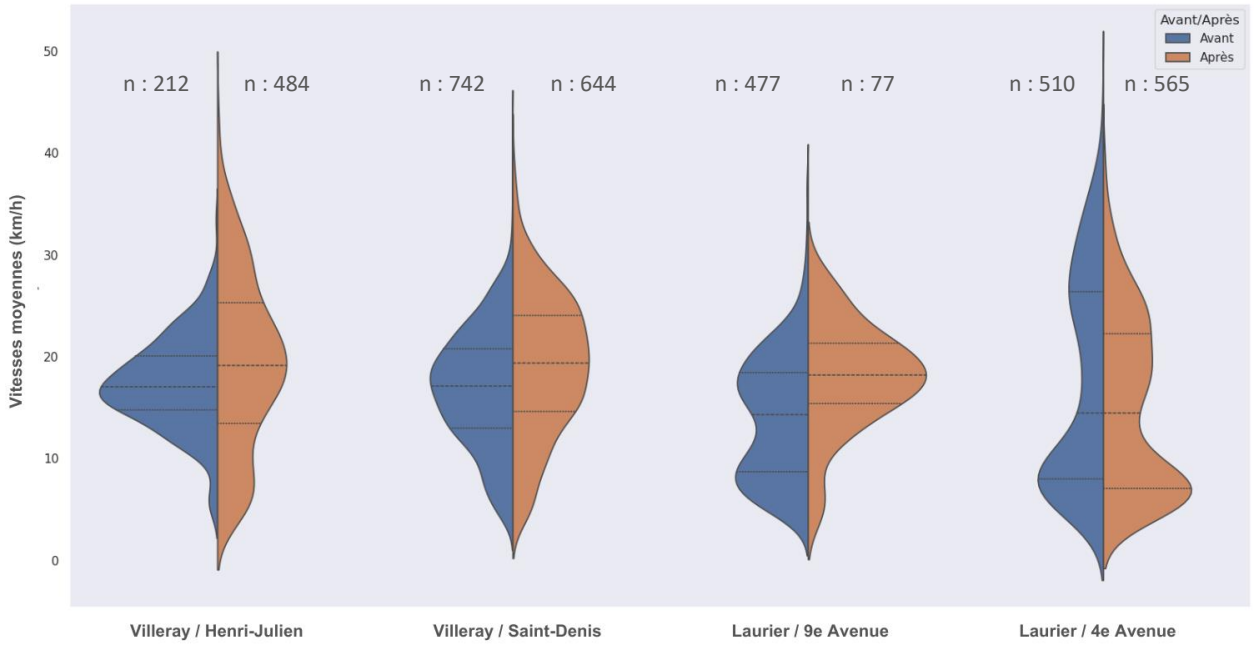

Figure 5-19 : Diagrammes en violon des vitesses moyennes des voitures sur les vélorues étudiées

Les vélorues analysées sont dotées de plusieurs intersections munies d'arrêts, ce qui ralentit inévitablement la vitesse des véhicules en comparaison avec des vélorues comportant des tronçons plus longs sans arrêts. En effet, tous les segments étudiés présentent une distance inférieure à 75 mètres entre deux intersections. La nécessité pour les automobilistes d'accélérer après chaque arrêt, puis de ralentir et de s'immobiliser à l'approche de l'arrêt suivant contribue partiellement à expliquer les faibles vitesses moyennes observées. Ce phénomène impacte de manière significative le calcul de la vitesse moyenne. Par conséquent, les résultats présentés dans la figure ci-dessus ne reflètent que partiellement le comportement réel des conducteurs.

Pour limiter l'influence des accélérations et décélérations, les vitesses instantanées ont additionnellement été calculées à mi-tronçon de chaque segment de vélorue analysée. La Figure 5-20 montre les résultats pour les quatre sites à l'étude.

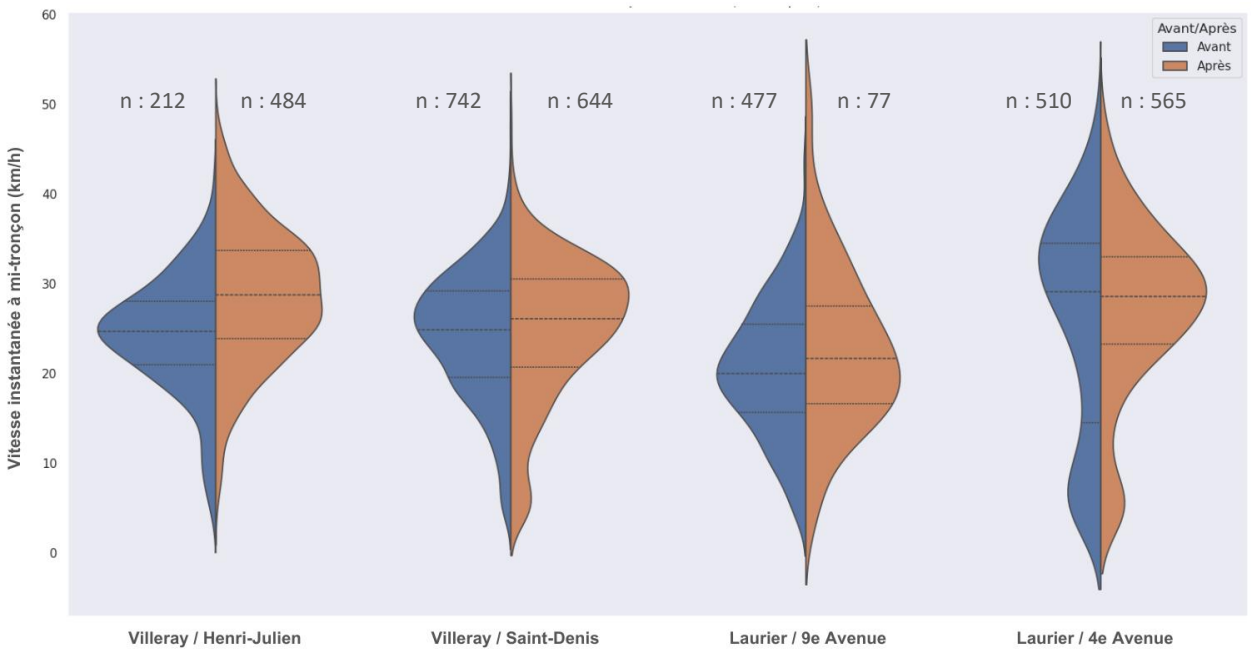

Figure 5-20 : Diagrammes en violon des vitesses instantanées à mi-tronçon des voitures sur les vélorues étudiées

Il est constaté que les vitesses instantanées relevées sont significativement plus élevées que les vitesses moyennes, et correspondent davantage aux comportements observés sur le terrain, alors que pour l'ensemble des collectes de données, la médiane est supérieure à 20 km/h et des vitesses allant jusqu'à plus de 50 km/h ont été enregistrées.

En interprétant ces résultats, il n'est pas possible de conclure à une amélioration globale, puisque la médiane des vitesses a augmenté sur l'ensemble des sites, sauf pour Laurier / 4^{e} Avenue. Il convient de souligner que ce dernier est le site où les vitesses les plus élevées ont été enregistrées, malgré la présence d'une école primaire et d'un dos d'âne sur le tronçon analysé, éléments qui devraient théoriquement limiter la vitesse des véhicules.

Aussi, il apparait que les manquements à la règle sont fréquents. En effet, pour le site Villeray / Henri-Julien, le quart des automobilistes ont circulé à plus de 33 km/h sur la vélorue pour la phase « Après ». C'est un chiffre semblable pour les deux phases de l'étude sur le site Laurier / 4^{e} Avenue, qui malgré cela montre une légère diminution des vitesses dans l'ensemble.

En dépit de l'absence de grandes variations dans les distributions des vitesses à mi-tronçon, des tests de Mann-Whitney ont à nouveau été effectués pour comparer les résultats des deux phases, illustrés dans le Tableau 5-5.

Tableau 5-5 : Résultats des tests U de Mann-Whitney comparant les distributions des vitesses instantanées à mi-tronçon pour les phases « Avant » et « Après »

Site	**Stat-U**	**Valeur-p**	**H_0**
Villeray / Henri-Julien	42827	2,37E-14	Rejet
Villeray / Saint-Denis	188120	0,006883	Rejet
Laurier / 9e Avenue	10817	0,087092	Non rejet
Laurier / 4e Avenue	33141	0,933878	Non rejet

Les tests statistiques permettent de conclure à des hausses significatives des vitesses pour les deux sites de la vélorue Villeray, alors que la situation est demeurée statistiquement stable pour ceux de la vélorue Laurier.

Ainsi, l'analyse des vitesses des véhicules motorisés sur les vélorues met en lumière des problématiques persistantes, et ce, malgré l'introduction de bandes vertes délimitant ces aménagements ainsi que l'ajout d'icônes aux différents points d'entrée. Les données révèlent une augmentation des vitesses sur trois des quatre sites étudiés, ce qui témoigne de l'insuffisance de l'aménagement en place et soulève des préoccupations quant à la sécurité et au confort des cyclistes.

5.2.4 Temps inter-véhiculaires (TIV) et temps à la collision (TTC)

Les interactions entre cyclistes et automobilistes ont notamment été analysées à l'aide d'indicateurs de sécurité, tels que le TIV moyen et le TTC minimum, afin d'évaluer le risque de collision par l'arrière. Seules les situations où une voiture suit un cycliste dans le sens de la circulation ont été prises en compte, tandis que le TIV permet également d'identifier si les usagers interagissent étroitement ou non. Un seuil maximal de 4 secondes a été considéré afin d'identifier les situations de suivi parmi toutes les paires vélo-auto consécutives.

La Figure 5-21 présente les diagrammes en violon des TIV moyens. Les problèmes techniques rencontrés ont fait en sorte qu'aucune occurrence n'a été observée pour la seconde phase de l'étude sur le site Laurier / 9e Avenue.

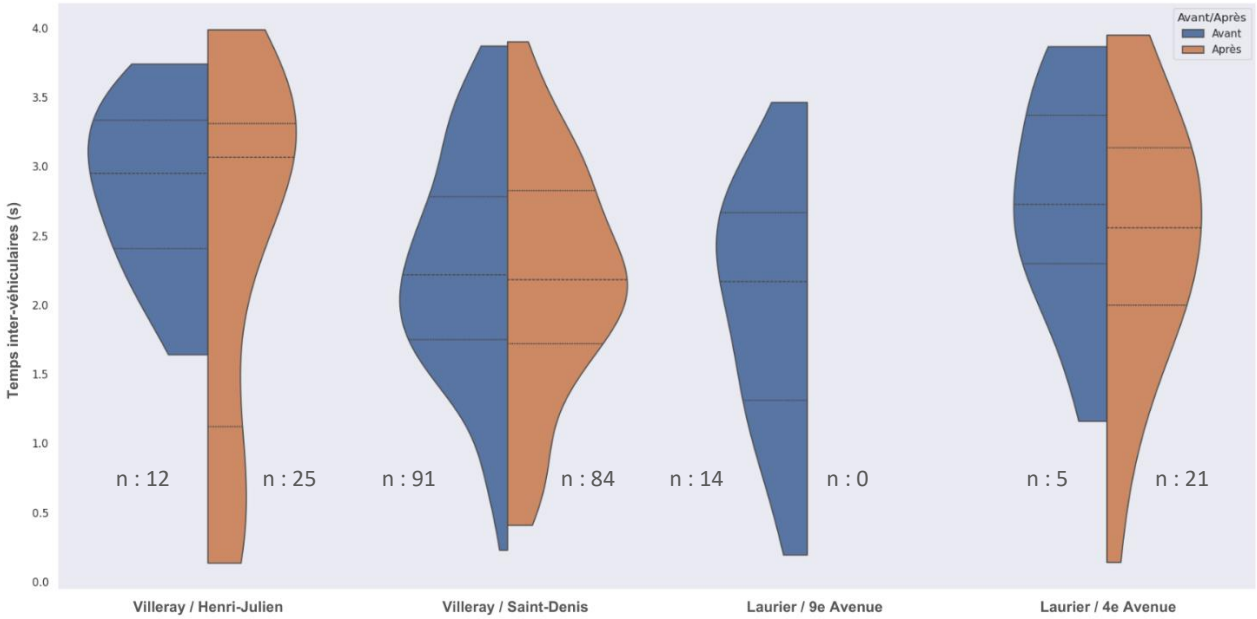

Figure 5-21 : Diagrammes en violon des TIV moyens entre les cyclistes suivis par des automobilistes

Des temps médians se situant presque tous entre 2 s et 3 s ont été calculés pour l'ensemble des séquences vidéo analysées. Malgré une hausse de la médiane pour le site Villeray / Henri-Julien, la dispersion des données et la baisse du premier quartile de 2,41 s à 1,12 s ne permettent pas de conclure à une amélioration. Ce sont des constats similaires pour l'ensemble des sites alors que le nombre d'observations y sont faibles, à l'exception de Villeray / Saint-Denis.

Pour ce dernier, aucun changement significatif entre les deux distributions n'a été observé. Une hausse de 3,9 % des situations dangereuses, à savoir les TIV inférieurs à 1 s, a été relevée, n'indiquant pas nécessairement un changement de comportement.

D'un autre côté, les données de TTC sont encore moins nombreuses pour l'ensemble des sites. En rappel, les TTC ont été calculés uniquement pour les situations où la vitesse de l'automobiliste suivant un cycliste était plus élevée que celle de ce dernier. La Figure 5-22 présente les résultats.

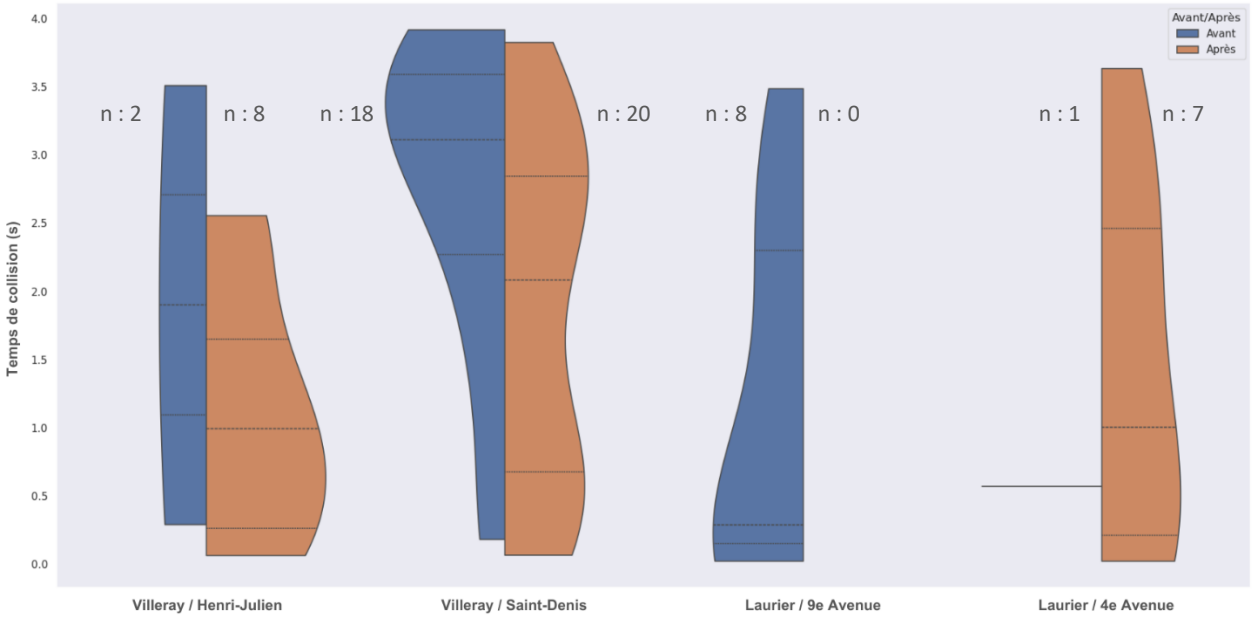

Figure 5-22 : Diagrammes en violon des TTC minimums entre les cyclistes suivis par des automobilistes

La quantité trop faible de situations relevées ne permet pas de tirer de conclusions définitives. Toutefois, ce manque de données constitue indirectement une preuve que les interactions potentiellement dangereuses entre cyclistes et automobilistes sont relativement rares. En effet, les deux vélorues étudiées, étant de faible longueur et ne représentant pas nécessairement des axes majeurs de circulation cycliste dans le réseau global de la ville de Montréal, semblent limiter ces situations à risque.

En somme, l'analyse de ces indicateurs de sécurité révèle des interactions limitées entre cyclistes et automobilistes sur les vélorues étudiées. Les TIV médians, généralement compris entre 2 et 3 secondes, montrent peu de variation significative entre les deux phases de l'étude, les observations étant insuffisantes. Concernant les TTC, leur faible fréquence reflète la rareté des suivis étroits entre usagers. Il convient toutefois de rappeler que seulement 22,3% des répondants au sondage ont indiqué ne pas être dépassés, ni suivis de trop près pour la phase après, constituant une augmentation de 5,3 % par rapport à la phase précédente et révélant un enjeu persistant au niveau de la sécurité des cyclistes.

5.2.5 Dépassements

Concernant les situations de dépassement, un nombre limité d'occurrences a également été observé, avec seulement neuf situations de dépassement relevées au total. Pour qu'une manœuvre soit considérée, il était nécessaire qu'une voiture effectue un dépassement complet d'un cycliste. Étant donné que cette manœuvre s'étend sur une distance relativement importante, la proximité des caméras par rapport à la rue a limité les possibilités d'observer pleinement ce type d'interaction.

Le Tableau 5-6 répertorie chacune des situations de dépassements, pour lesquelles les positions latérales du cycliste et de l'automobiliste par rapport au centre de la vélorue ont été relevées, permettant de calculer la distance de dépassement.

Tableau 5-6 : Situations de dépassements

Situation	**Site**	**Phase**	**Position latérale vélo (m)**	**Position latérale auto (m)**	**Distance de dépassement (m)**
1	Villeray / Saint-Denis	Avant	-1,70	0,36	2,06
2			-1,52	0,88	2,39
3		Après	-3,00	-0,32	2,68
4			-2,21	0,64	2,85
5			-3,27	0,17	3,43
6	Villeray / Henri-Julien	Après	-3,55	0,80	4,36
7	Laurier / 9e avenue	Avant	-2,51	1,30	3,81
8			-1,89	1,25	3,13
9	Laurier / 4e avenue	Avant	-4,40	-0,08	4,32

En premier, il est remarqué que pour chacun des dépassements, une distance de plus de 2 m a été respectée, bien qu'aucune distance minimale ne soit imposée sur ce type d'aménagement cyclable.

En deuxième, pour chaque cas ce sont les cyclistes qui ont fait l'effort d'ajuster leur positionnement sur la chaussée afin de laisser le dépassement se produire, les automobilistes n'ayant pas eu à dévier grandement de leur trajectoire pour réaliser leur manœuvre de dépassement. Des positions latérales particulièrement élevées, indiquant que le cycliste a dû se rapprocher du bord de la chaussée voire sortir du « corridor » de la vélorue, ont été notées pour les situations de dépassement 5, 6 et 9, dont un exemple est illustré à la Figure 5-23.

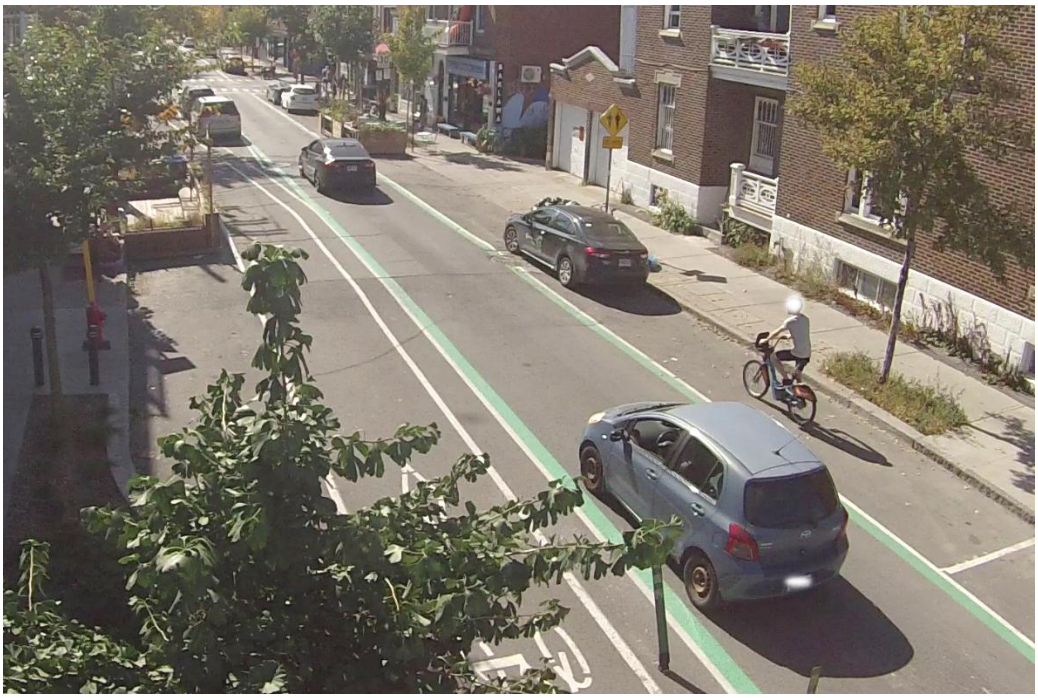

Figure 5-23 : Exemple de cycliste circulant à droite de la vélorue lors d'une situation de dépassement

L'analyse des situations de dépassements entre automobilistes et cyclistes met donc en évidence un faible nombre d'occurrences, ce qui limite la portée des conclusions. Les neuf manœuvres observées montrent néanmoins que les distances entre les positions latérales des cyclistes et des automobilistes impliqués ont systématiquement dépassé 2 mètres. Cependant, il est notable que ce sont les cyclistes qui ajustent leur trajectoire, parfois jusqu'à quitter le corridor désigné, pour permettre ces dépassements, comme en témoignent les positions latérales relevées pour certaines situations.

5.3 Difficultés rencontrées

Tel qu'abordé dans la section précédente, plusieurs contraintes en lien avec les aménagements analysés mais aussi relatives aux enregistrements des séquences vidéo ont eu pour effet de réduire la portée des résultats présentés.

Tout d'abord, il est possible les sites désignés pour les analyses n'aient pas été idéaux pour analyser les interactions entre cyclistes et automobilistes alors que peu de situations intéressantes ont été relevées. En effet, sauf pour le site Villeray / Saint-Denis, qui bénéficie d'un achalandage par vagues en raison du feu de circulation en amont, rares ont été les situations pour lesquelles les usagers ont été vus en train de circuler simultanément sur la vélorue, l'achalandage étant plutôt fragmenté. De plus, la présence d'intersections fréquentes, sans long segment continu, n'a pas favorisé l'observation de situations de dépassement, ni facilité l'analyse de la vitesse des automobilistes. En revanche, une étude menée sur des vélorues telles que celles de Saint-André et Mentana, situées dans l'arrondissement du Plateau-Mont-Royal, aurait vraisemblablement permis de récolter davantage de données pertinentes, ces deux rues présentant chacune des tronçons sans interruptions de plus de 200 m.

Ensuite, les problèmes encourus avec l'équipement lors des enregistrements vidéo ont eu un impact certain sur la précision des analyses et la validité des conclusions, alors que des données de circulation incomplètes pour deux collectes ont été utilisées pour l'analyse avant-après. Toujours par rapport aux prises d'images, la durée des enregistrements vidéo, couvrant une partie des deux heures de pointe n'était pas optimale, bien que dû à des contraintes d'équipement, alors que des achalandages important le matin et le soir n'ont pas été pris en compte dans les analyses. L'installation des caméras a également été problématique, devant les positionner selon un angle et une hauteur similaire d'une phase à l'autre afin d'assurer une uniformité. La présence de feuillage d'arbre a quelque peu entravé la vue pour le site Villeray / Saint-Denis, lors de la deuxième phase, alors que certains mouvements des installations ont aussi été détectés pour le site Villeray / Henri-Julien lors de cette même phase, devant ajuster la détection des objets en conséquence.

5.4 Synthèse

En résumé, l'analyse vidéo révèle des résultats nuancés et met en lumière plusieurs enjeux importants pour la sécurité et le confort des cyclistes, malgré les améliorations apportées aux

aménagements. Concernant les débits, bien que des bonifications aient été effectuées, les cyclistes restent largement désavantagés par rapport aux automobilistes, soulevant des questions sur l'efficacité de la conception de ces aménagements. L'analyse des positions latérales des cyclistes montre une tendance générale à circuler sur le côté droit de la chaussée, malgré les bonifications des aménagements. Une amélioration notable a été constatée sur Laurier / 4e Avenue, où les cyclistes semblent mieux se recentrer, tandis que Villeray / Saint-Denis présente un déplacement des trajectoires vers la droite. Ces observations soulignent que plusieurs facteurs tels que le débit de circulation automobile, continuent d'influencer les comportements des cyclistes, malgré les changements apportés. Concernant les vitesses automobiles, l'analyse souligne le dépassement fréquent de la limite de vitesse sur tous les sites étudiés, révélant également des hausses notables des vitesses sur la rue Villeray. Aussi, les indicateurs de sécurité, tels que les TIV et les TTC, ainsi que les dépassements révèlent un faible nombre d’observations, limitant la portée des conclusions. En définitive, les résultats soulignent que les aménagements bonifiés ne parviennent pas à améliorer la sécurité des cyclistes face aux automobilistes. Les comportements des cyclistes restent influencés par la présence de véhicules, et les vitesses automobiles demeurent élevées.

CHAPITRE 6 CONCLUSION

En somme, une méthodologie d'étude avant-après des vélorues a été établie se divisant en deux volets distincts : d'une part, la réalisation d'une enquête auprès des usagers visant à évaluer leur compréhension et leur perception de l'aménagement, et d'autre part la caractérisation de leurs comportements par analyse vidéo.

D'abord, plus de 300 participants ont pris part au sondage, répondant à un questionnaire comportant 28 questions, administré à la fois sur le terrain, en personne, et en ligne. Une amélioration générale du niveau de connaissance de l'aménagement a été constatée, et la présence des vélorues dans le paysage urbain est désormais plus perceptible qu'auparavant. En ce qui concerne la perception et l'expérience, il a été observé une progression du sentiment de sécurité et de confort suite à l'amélioration des aménagements, notamment chez les jeunes, les hommes et les cyclistes réguliers. Toutefois, il est à noter que la plupart des usagers se sentent encore gênés par la circulation automobile. Enfin, il semble que les préoccupations concernant la qualité des aménagements, en particulier la signalisation, aient été prises en compte dans la bonification des vélorues. Néanmoins, la circulation motorisée et le stationnement des voitures demeurent des problèmes souvent évoqués.

Ensuite, des séquences vidéo ont été prélevées sur quatre sites situés sur les deux vélorues ciblées. Durant les deux phases d'étude, des débits automobiles élevés, soit un peu moins de deux fois le débit des cyclistes, ont été observés pour la plupart des sites. De plus, une amélioration du positionnement latéral des cyclistes a été remarquée sur le site de Laurier / 4^{e} Avenue, tandis que sur Villeray / Saint-Denis, une dégradation a été observée, alors que les cyclistes circulent davantage sur la droite de la vélorue. Les autres sites ont montré principalement une dispersion des positions, suggérant une plus grande liberté de circulation des cyclistes sur toute la largeur de la chaussée. Aussi, aucune amélioration significative n'a été constatée en ce qui concerne les vitesses des véhicules, demeurant relativement stables d'une phase à l'autre pour l'Avenue Laurier, alors qu'elles ont augmentées significativement sur la rue Villeray. Le faible nombre d'interactions observées entre les cyclistes et les automobilistes n'a pas permis de tirer de conclusions franches sur la sécurité des usagers, bien que les observations aient permis de déceler certains comportements problématiques, les cyclistes étant fortement influencés par la présence automobile

Toutefois, certaines limitations doivent être soulignées. D'abord, les sites sélectionnés pour l'étude ne sont peut-être pas représentatifs de toutes les configurations possibles de vélorues, ce qui peut

avoir restreint la diversité des observations. Par ailleurs, la faible fréquence de certaines interactions, notamment les situation de dépassement et de suivi, a limité les analyses de sécurité. Le manque de données en général a eu pour effet d'entraver la capacité à tirer des conclusions solides sur les effets des aménagements sur les comportements des usagers.

Ainsi, malgré un moins bon rendement du questionnaire lors de la deuxième phase et des difficultés rencontrées en lien avec l'utilisation des caméras durant la collecte de données, les analyses nécessaires ont pu être menées, permettant de remplir les objectifs posés en début de projet. Les résultats révèlent des enjeux persistants relativement à l'usage de la vélorue, des ajustements supplémentaires sont nécessaires pour garantir une meilleure sécurité et une cohabitation plus harmonieuse entre les différents usagers.

Dans la perspective de faire des aménagements de ce type une option de déplacement viable, sécuritaire et favorisant la circulation des cyclistes, ce projet pourra servir de référence afin de redéfinir certaines règles d'usage, d'implantation et de signalisation des vélorues. Des travaux futurs pourraient également viser à étendre l'analyse à d'autres sites représentant mieux la diversité des aménagements cyclables de la ville.

RÉFÉRENCES

[1] Ministère des Transports et de la Mobilité durable du Québec, *Guide d'application – Vélorue*, 2021.

[2] Trouw, «La première rue cyclable est tombée sans gloire (De eerste fietsstraat roemloos tenonder),» 16 Janvier 1999.

[3] T. Becker, «Die Gestaltung des Erfolgsmodells Fahrradstraße – Weiterentwicklung für Tempo-30-Zonen,» *Straßenverkehrstechnik, vol. 5*, pp. 332-340, Mai 2019.

[4] Moniteur belge, «Arrêté royal relatif à la signalisation de la rue cyclable,» Décembre 2012.

[5] T. Andersen, «Cykelgader,» *Idékatalog for Cykeltrafik*, 2016.

[6] Collectif Cycliste 37, «La vélorue, nouvel aménagement cyclable,» 2017. [En ligne]. Available: https://www.cc37.org/la-velorue-nouvel-amenagement-cyclable/.

[7] Journal officiel du Grand-Duché de Luxembourg, «Règlement grand-ducal du 8 avril 2018 modifiant l'arrêté grand-ducal modifié du 23 novembre 1955 portant règlement de la circulation sur toutes les voies publiques,» 2018.

[8] RTV Utrecht, «Quart de siècle de rues cyclables : la Burgemeester Reigerstraat redevient une rue cyclable après 25 ans,» 19 Octobre 2021.

[9] I. Karim, T. Sayed et N. Saunier, «Automated Analysis of Pedestrian–Vehicle Conflicts: Context for Before-and-After Studies,» *Transportation Research Record, 2198(1)*, pp. 52-64, 2010. doi.org/10.3141/2198-07.

[10] P. G. Michalopoulos, «Vehicle detection video through image processing: the Autoscope system,» *IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 40, no. 1*, pp. 21-29, 1991.

[11] M. H. Zaki, T. Sayed et A. Cheung, «Computer Vision Techniques for the Automated Collection of Cyclist Data,» *Transportation Research Record, 2387(1),* pp. 10-19, 2013. doi.org/10.3141/2387-02.

[12] H. Dahlkamp, A. Ottlik et H.-H. Nagel, «Comparison of edge-driven algorithms for modelbased motion estimation,» *In Proceedings of the Workshop on Spatial Coherence in Visual Motion Analysis (SCVMA-2004),* 2004.

[13] N. Saunier et T. Sayed, «A feature-based tracking algorithm for vehicles in intersections,» chez *The 3rd Canadian Conference on Computer and Robot Vision*, Québec, Canada, 2006.

[14] H. M. Zaki et T. Sayed, «A framework for automated road-users classification using movement trajectories,» *Transportation Research Part C, Volume 33,* pp. 50-73, 2013. doi.org/10.1016/j.trc.2013.04.007.

[15] S. Zangenehpour, L. F. Miranda-Moreno et N. Saunier, «Automated classification based on video data at intersections with heavy pedestrian and bicycle traffic: Methodology and application,» *Transport Research Part C, 56,* pp. 161-176, 2015. doi:10.1016/j.trc.2015.04.003.

[16] A. Tarko, N. Saunier et A. Laureshyn, «Surrogate Measures of Safety,» *International Encyclopedia of Transportation, Elsevier*, pp. 662-667, 2021. doi.org/10.1016/B978-0-08-102671-7.10197-6.

[17] J. Hayward, «Near misses as a measure of safety at urban intersections,» 1971.

[18] M. Minderhoud et P. Bovy, «Extended time-to-collision measures for road traffic safety assessment,» *Accident Analysis & Prevention, Volume 33, Issue 1,* pp. 89-97, 2001. doi.org/10.1016/S0001-4575(00)00019-1.

[19] B. Allen, B. Shin et P. Cooper, «Analysis of traffic conflicts and collisions,» *Transp. Res. Rec. 667*, pp. 67-74, 1978.

[20] M. G. Mohamed et N. Saunier, «Motion Prediction Methods for Surrogate Safety Analysis,» *Transportation Research Record, 2386 (1),* pp. 168-178, 2013. doi.org/10.3141/2386-19.

[21] N. Saunier, T. Sayed et C. Lim, «Probabilistic Collision Prediction for Vision-Based Automated Road Safety Analysis,» *2007 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference, Bellevue, WA, USA,* pp. 872-878, 2007. doi: 10.1109/ITSC.2007.4357793.

[22] D. Ettehadieh, «Systematic Parameter Optimization and Application of Automated Tracking in Pedestrian-Dominant Situations [Mémoire de maîtrise, École Polytechnique de Montréal],» PolyPublie, 2014.

[23] É. Beauchamp, «Étude de la sécurité routière en présence d'un véhicule automatisé [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal],» PolyPublie, 2021.

[24] F.-Z. Dahak, «Mesure de la cohabitation cycliste-piéton dans les rues piétonnes par analyse vidéo [Mémoire de maîtrise, Polytechnique Montréal],» PolyPublie, 2023.

[25] City of Berkeley, «Bicycle Boulevards: Design Tools and Guidelines,» 2000.

[26] E. Minikel, «Cyclist safety on bicycle boulevards and parallel arterial routes in Berkeley, California,» *Accident Analysis & Prevention, Volume 45,* pp. 241-247, 2012. doi.org/10.1016/j.aap.2011.07.009.

[27] D. Surkan, «The Effectiveness of Saskatoon's Bicycle Boulevard,» *University of Saskatchewan Undergraduate Research Journal, Volume 2, Issue 2,* 2016.

[28] J. Dill, N. McNeil, J. Broach et L. Ma, «Bicycle boulevards and changes in physical activity and active transportation: Findings from a natural experiment,» *Preventive Medicine, Volume 69,* pp. 74-78, 2014. doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.10.006.

[29] R. Khut, «Bicycle boulevards: Statistical analysis of the presence of bicycle boulevards and their influence on bicycle-to-work rates in Portland, Oregon,» *University of Oregon ProQuest Dissertation & Theses,* 2012.

[30] M. VanZerr, «Resident Perceptions of Bicycle Boulevards: A Portland, Oregon Case Study,» 2009.

[31] L. Ma et J. Dill, «Does The Installation of Bicycle Boulevards Improve Residents' Perceptions of The Bicycling and Walking Environment? A Panel Study,» *Journal of Transport & Health, Volume 2, Issue 2, Supplement,* p. 24, 2015. doi.org/10.1016/j.jth.2015.04.525..

[32] E. Rubie, N. Haworth, D. Twisk et N. Yamamoto, «Influences on lateral passing distance when motor vehicles overtake bicycles: a systematic literature review,» *Transport Reviews, 40(6),* p. 754–773, 2020. doi.org/10.1080/01441647.2020.1768174.

[33] C. Toulouse, «Speed Limit Changes and Driver Behaviour: A Spatial Lag Model,» *Transport Findings,* 2020. doi.org/10.32866/001c.17408.

[34] R. von Stülpnagel, R. Hologa et N. Riach, «Cars overtaking cyclists on different urban road types – Expectations about passing safety are not aligned with observed passing distances,» *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Volume 89,* pp. 334-346, 2022. doi.org/10.1016/j.trf.2022.07.005.

[35] G. Jocher, A. Chaurasia et J. Qiu, «Ultralytics YOLOv8». 2023. https://orcid.org/0000-0002-7603-6750.

[36] N. Wojke, A. Bewley et D. Paulus, «Simple Online and Realtime Tracking with a Deep Association Metric,» chez *IEEE international conference on image processing*, 2017.

[37] A. Letty et I. Van Schagen, «Driving speed and the risk of road crashes: A review,» *Accident Analysis & Prevention,* vol. 38, n° %12, pp. 215-224, 2006.

ANNEXE A QUESTIONNAIRE (VERSION EN LIGNE)

Partie 1

1. Quel est votre genre ?
    - Homme
    - Femme
    - Autre
    - Je préfère ne pas répondre

2. Quel âge avez-vous ?

3. Quelle est votre occupation principale ?
    - Emploi - Temps plein
    - Emploi - Temps partiel
    - Étudiant
    - Retraité
    - Sans emploi

4. Possédez-vous un permis de conduire et une voiture ?
    - Permis de conduire avec voiture
    - Permis de conduire sans voiture
    - Pas de permis de conduire

5. Habitez-vous à proximité d'une vélorue (moins de 5 minutes à pied) ? Si oui, laquelle ?
    - Oui, rue Villeray (Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension)
    - Oui, rue Laurier Est (Rosemont–La Petite-Patrie)

- Oui, rue Island (Sud-Ouest)
- Oui, rue St-André (Plateau-Mont-Royal)
- Oui, rue Mentana (Plateau-Mont-Royal)
- Non

6. À quelle fréquence empruntez-vous une vélorue ?
    - Tous les jours
    - Quelques fois par semaine
    - Quelques fois par mois
    - Moins d'une fois par mois

7. Si vous empruntez une vélorue au moins une fois par mois, laquelle ?
    - Rue Villeray (Villeray–Saint-Michel–Parc-Extension)
    - Rue Laurier Est (Rosemont–La Petite-Patrie)
    - Rue Island (Sud-Ouest)
    - Rue St-André (Plateau-Mont-Royal)
    - Rue Mentana (Plateau-Mont-Royal)

Partie 2

8. Pour vous, le vélo est d'abord :
    - Un mode de transport
    - Un sport
    - Un loisir

9. À quelle fréquence faites-vous du vélo ?
    - À l'année

- À l'année sauf l'hiver
- En période estivale seulement
- Quelques fois par année
- Pas dans les 12 derniers mois

10. Si vous avez répondu « Pas dans les 12 derniers mois » à la dernière question, avez-vous l'intention de commencer ou d'adopter la pratique du vélo prochainement ?
    - Oui
    - Non
    - Incertain

11. Si vous avez répondu « Non » ou » Incertain » à la dernière question, quelles sont les raisons ? (Plusieurs réponses possibles)
    - Je n'ai aucun intérêt
    - Je ne possède pas de vélo
    - Je ne sais pas faire de vélo
    - Enjeux de sécurité
    - Enjeux de capacité physique
    - Conditions météorologiques
    - Autre

Partie 3

12. Savez-vous ce qu'est une vélorue, sa fonctionnalité et ses règles de circulation ?
    - Oui
    - Non
    - Incertain

13. Vrai ou faux ? Sur une vélorue, les automobilistes sont tenus de respecter une vitesse de 30 km/h.

14. Vrai ou faux ? Sur une vélorue, les automobilistes ne peuvent pas dépasser les cyclistes.

15. Vrai ou faux ? Sur une vélorue, les cyclistes peuvent circuler à deux de front (côte à côte).

16. Existe-t-il un panneau pour indiquer une vélorue ?

17. Avez-vous l'impression que les cyclistes ont la priorité de circulation sur une vélorue ?

    - Oui
    - Non
    - Parfois

18. En tant que cycliste, comment décririez-vous votre sentiment de sécurité et votre confort sur une vélorue ?

    - Très faible
    - Faible
    - Moyen
    - Élevé
    - Très élevé
    - Sans opinion

19. Qu’est-ce qui nuit à la sécurité et au confort sur une vélorue ? (Plusieurs réponses possibles)

    - Le nombre de voitures
    - La vitesse des voitures
    - Le stationnement des voitures

- Le manque de signalisation
- La qualité des aménagements (chaussée, trottoir, etc.)
- Autre

20. Comment pourrait-on améliorer la sécurité et le confort sur une vélorue ? (Plusieurs réponses possibles)
    - Diminuer le nombre de voitures
    - Diminuer la vitesse des voitures
    - Retirer des places de stationnements pour les voitures
    - Améliorer les aménagements
    - Ajouter de la signalisation
    - Autre

21. En circulant sur une vélorue, est-ce que les véhicules tentent de vous dépasser, ou vous suivent de trop près ?
    - Oui, souvent
    - Oui, parfois
    - Non

22. Circulez-vous à vélo avec des enfants sur une vélorue ?
    - Oui
    - Non, mais je serais à l'aise de le faire
    - Non

23. Avez-vous des exemples d’interactions dangereuses vécues ou observées sur une vélorue ? (Question ouverte)

24. Avez-vous remarqué les changements qui ont été apportés aux aménagements de vélorues (rue Villeray & Avenue Laurier) au début du mois de septembre ? *(Ajout lors de la seconde phase du sondage après la bonification des aménagements)*

    - Oui
    - Non

25. Si oui, avez-vous remarqué des changements dans le comportement des cyclistes et automobilistes qui y circulent ? (Question ouverte) *(ajout lors de la seconde phase du sondage après la bonification des aménagements)*

26. Veuillez nous laisser tout commentaire pertinent concernant les vélorues. (Question ouverte)