



Association des transports du Canada

Flèche jaune clignotante : Synthèse des pratiques

Février 2026



AVERTISSEMENT

Ce document n'est pas destiné à servir de base pour l'établissement de la responsabilité civile.

Le contenu présenté dans ce document a fait l'objet d'une recherche et d'une présentation attentives. Cependant, le document ne fournit aucune garantie exprimée ni implicite sur l'exactitude du contenu ni sur le contenu extrait d'ouvrages de référence. De même, le fait de distribuer ce document ne signifie pas non plus que l'ATC ou tout chercheur ou contributeur est responsable des omissions, erreurs ou fausses représentations pouvant résulter de l'utilisation ou de l'interprétation du contenu du présent document.

Les informations contenues dans le présent document doivent être prises en compte dans le contexte de la législation, de la réglementation et des politiques locales.

© Association des transports du Canada 2026
1111, prom. Prince of Wales, bureau 401
Ottawa (Ont.) K2C 3T2
Tél. : (613) 736-1350
www.tac-atc.ca/fr

No ISBN 978-1-55187-732-7
Code de publication de l'ATC : PTM-FAAS-F

Photos de couverture (de gauche à droite) avec l'autorisation de : Koch

Formulaire de documentation de rapport de l'ATC

Titre et sous-titre Flèche jaune clignotante : synthèse des pratiques		
Date du rapport Février 2026	Organisme de coordination et adresse Association des transports du Canada 1111, prom. Prince of Wales, bureau 401 Ottawa (Ont.) Canada K2C 3T2	No ITRD
Auteur(s) <i>MORR Transportation Consulting Ltd.</i> Jeannette Montufar, Ph. D., ing., PTOE, RSP1 Stephen Chapman, ing., RSP1 Maryam Moshiri, Ph. D., ing. en formation <i>CIMA+</i> Andrew Beal, ing.	Nom et adresse de l'organisme responsable de l'exécution du projet MORR Transportation Consulting Ltd. 1465 Buffalo Place, bureau 200 Winnipeg (Man.) R3T 1L8	
Résumé <p>Aux États-Unis, des feux de circulation à flèche jaune clignotante (FJC) ont été installés en grand nombre pour indiquer un virage permissif sur les voies exclusives pour réduire la confusion des conducteurs causée par la présence de feux verts pour virages permissifs, atténuer les incidents liés au problème de piégeage (feux jaunes décalés), améliorer l'efficacité opérationnelle des intersections et renforcer la sécurité des virages aux intersections en cas de conflit entre usagers. Bien que les feux de circulation à FJC soient désormais largement utilisés à travers les États-Unis, ils ne sont pas encore présents au Canada. Cette étude vise à présenter les résultats obtenus aux États-Unis avec les FJC et leur applicabilité au contexte canadien, ainsi qu'à évaluer les perspectives canadiennes à travers le pays en ce qui concerne les FJC.</p> <p>Ce rapport présente une synthèse des résultats obtenus à partir d'une analyse documentaire complète sur la recherche et l'expérience pratique liées aux feux de circulation à FJC aux États-Unis, un résumé des résultats issus d'entretiens de suivi avec des experts américains, une enquête auprès des administrations canadiennes, ainsi que les conclusions de deux séances de discussion avec ces administrations sur les principaux défis, avantages, bénéfices, et risques liés à l'application des feux de circulation à FJC au Canada. Ces conclusions ont servi de base aux prochaines étapes recommandées par le rapport pour une éventuelle mise en œuvre des FJC au Canada.</p>		Mots-clés Contrôle de la circulation <ul style="list-style-type: none">• Feu jaune• Feu clignotant• Feu de circulation• Virage
Citation recommandée : Montufar, J., Chapman, S., Moshiri, M., et Beal, A. 2026. <i>Flèche jaune clignotante : synthèse des pratiques</i> . Ottawa (Ont.) : Association des transports du Canada.		

Remerciements

Partenaires de financement du projet

- Bunt and Associates
- Ministère des Transports et de la Mobilité durable
- Municipalité régionale d'Halifax
- Ville de Calgary
- Ville d'Ottawa
- Ville de Kelowna
- Ville de Montréal
- Ville de Saskatoon
- Ville de Toronto
- Ville de Vancouver

Consultants de projet

- Andrew Beal, CIMA+
- Stephen Chapman, MORR Transportation Consulting Ltd.
- Jeannette Montufar, MORR Transportation Consulting Ltd.
- Maryam Moshiri, MORR Transportation Consulting Ltd.

Comité directeur du projet

- Daniel Beaulieu, Ville de Montréal
- Mélanie Beaulieu, ministère des Transports et de la Mobilité durable
- Michelle Buchko, Ville de Saskatoon
- Winston Chou, Ville de Vancouver
- Stuart Edison, Ville d'Ottawa
- Alexandre Ferrari, ministère des Transports et de la Mobilité durable
- Mike Furuya, Bunt and Associates
- Greg Iwaskow, Ville de Calgary
- Bhanuja Karunamoorthy, Ville de Toronto
- Roddy McIntyre, Municipalité régionale d'Halifax
- Dominic Méthot-Plante, ministère des Transports et de la Mobilité durable
- Jill Morrison, Municipalité régionale d'Halifax
- Stephen Sargeant, Ville de Kelowna

Chef de projet de l'ATC

- Romaine Morrison, Association des transports du Canada

Résumé

Aux États-Unis, des feux de circulation à flèche jaune clignotante (feux à FJC) ont été installés en grand nombre pour indiquer un virage permissif sur les voies exclusives et pour réduire la confusion des conducteurs causée par la présence de feux verts pour virages permissifs, atténuer les incidents liés au problème de piégeage (feux jaunes décalés), améliorer l'efficacité opérationnelle des intersections et renforcer la sécurité des virages aux intersections en cas de conflit entre usagers.

Bien que les feux à FJC soient désormais largement utilisés à travers les États-Unis, ils ne sont pas encore présents au Canada. Cette étude vise à présenter les résultats obtenus aux États-Unis avec les FJC et leur applicabilité au contexte canadien, ainsi qu'à évaluer les perspectives canadiennes à travers le pays en ce qui concerne les FJC.

Ce rapport présente une synthèse des résultats obtenus à partir d'une analyse documentaire complète sur la recherche et l'expérience pratique liées aux feux à FJC aux États-Unis, un résumé des résultats issus d'entretiens de suivi avec des experts américains, une enquête auprès des administrations canadiennes, ainsi que les conclusions de deux séances de discussion avec ces administrations sur les principaux défis, avantages, bénéfices, et risques liés à l'application des feux à FJC au Canada. Ces conclusions ont servi de base aux prochaines étapes recommandées par le rapport pour une éventuelle mise en œuvre des FJC au Canada.

L'analyse documentaire et les entretiens ont révélé que les États-Unis ont obtenu des résultats globalement positifs en ce qui concerne les FJC en termes de rendement, de sécurité et de compréhension des usagers. Les facteurs de modification des collisions (FMC) publiés indiquent une réduction des taux de collision lorsque le phasage de virage permissif ou protégé-permissif est remplacé par des feux à FJC, sans que des changements soient apportés au phasage des feux de circulation. Les FMC publiés indiquent également qu'en transformant un phasage de virage entièrement protégé en feux de circulation à FJC protégés-permissifs, on peut augmenter les taux de collision. Cependant, les représentants sont d'avis que cela est principalement attribuable au changement du phasage protégé et non à la FJC en soi. La recherche a également démontré une amélioration de la sécurité des piétons puisqu'en présence de feux à FJC, les conducteurs cèdent davantage le passage aux intersections où les passages piétons sont conflictuels. Les feux à FJC offrent des avantages opérationnels en permettant des modifications du phasage selon l'heure de la journée, et ils peuvent également permettre un phasage de virage à gauche retardé aux intersections souhaitées, tout en atténuant le problème de sécurité lié au problème de piégeage.

Les administrations canadiennes ont manifesté leur intérêt à l'égard de l'application des feux à FJC au Canada par l'entremise d'enquêtes et des séances de discussion de groupe. Les FJC sont principalement considérées comme un outil de la trousse d'outils des applications ciblées lorsque cela est justifié. Cependant, l'étude a révélé d'importantes différences entre les contextes américain et canadien. Les deux exemples suivants sont dignes de mention.

1. L'utilisation préexistante des flèches vertes clignotantes au Canada peut affecter la compréhension des feux à FJC par le conducteur (en particulier chez les daltoniens). Les États-Unis n'utilisent pas de flèches vertes clignotantes.
2. L'intérêt est plus grand au Canada à l'égard de l'application des feux à FJC sur les voies partagées, ce qui n'a pas été recommandé ni mis en œuvre aux États-Unis.

Par conséquent, l'étude recommande une première étape pour formaliser l'utilisation des flèches vertes fixes dans le *Manuel canadien de la signalisation routière* (MCSR) avant la mise en place des FJC. Les étapes suivantes avant la mise à jour du MCSR consistent à déterminer, à tester et à mettre à l'essai les configurations de signalisation en vue de l'application des FJC dans des contextes de voies exclusives et partagées afin de combler les lacunes en matière de compréhension de la sécurité et du rendement des FJC dans le contexte canadien.

Table des matières

1. Introduction	1
1.1 Contexte	1
1.2 Méthodologie	2
2. Analyse documentaire	5
2.1 Description des feux à flèche jaune clignotante aux États-Unis	5
2.2 Application	8
2.3 Rendement opérationnel	18
2.4 Rendement en matière de sécurité.....	21
2.5 Compréhension des usagers et conformité à la réglementation	29
3. Entretien avec des experts	36
4. Enquête canadienne	42
5. Séances de discussion de groupe	49
6. Résumé des conclusions	53
6.1 Résultats tirés de l'expérience américaine.....	53
6.2 Applicabilité des feux de circulation à FJC dans le contexte canadien.....	56
7. Recommandations pour les prochaines étapes	59
8. Références	60
9. ANNEXE A - Réponses à l'enquête auprès des administrations canadiennes	67

Liste des figures

Figure 1 :	Phase de FJC pour virage à gauche uniquement permissif à l'aide d'un feu de circulation exclusif à trois sections au-dessus de la voie de virage à gauche	6
Figure 2 :	Phase de FJC pour virage à gauche protégé-permissif (VGPP) à l'aide d'un feu de circulation exclusif à quatre sections (à gauche) ou d'un feu de circulation bimodal à trois sections (à droite) au-dessus de la voie de virage à gauche.....	6
Figure 3 :	Phase traditionnelle de virage à gauche protégé-permissif à l'aide d'un feu de circulation à cinq sections, en configuration niche ou verticale	7
Figure 4 :	FJC de virage à droite protégé-permissif à l'aide d'un feu de circulation exclusif à quatre sections au-dessus de la voie de virage à droite	8
Figure 5 :	Panneau supplémentaire pour les feux à FJC.....	8
Figure 6 :	Panneau supplémentaire pour les feux à FJC au Minnesota	8
Figure 7 :	Fenêtre d'entrée de l'outil décisionnel définissant le mode de virage à gauche.....	10
Figure 8 :	Synchronisation typique et proposée pour les VGPP à FJC pour la phase de transition vers la flèche rouge	12
Figure 9 :	Exemple de phases de signalisation pour problème de piégeage	13
Figure 10 :	Feu de circulation vertical à cinq sections avec feu vert circulaire et feu de circulation vertical à quatre sections avec FJC.....	18
Figure 11 :	Configurations de feux de circulation à FJC à quatre et trois sections	29
Figure 12 :	Configurations des feux de circulation pour VGPP-FJC.....	35
Figure 13 :	Feu à FJC à lentille double à trois sections (ou lentille bimodale).....	39
Figure 14 :	Intersection en Oregon à FJC supplémentaire pour virage à gauche	40
Figure 15 :	Tailles des réseaux de feux de circulation des administrations publiques ayant répondu à l'enquête.....	43
Figure 16 :	Pourcentage des administrations répondantes qui utilisent des flèches vertes clignotantes (FVC) pour les virages à gauche protégés.....	44
Figure 17 :	Pourcentage des administrations répondantes qui modifient le séquençage des phases aux intersections selon l'heure de la journée	46
Figure 18 :	Nombre d'administrations répondantes qui souhaitent mettre en place des feux à FJC.	47
Figure 19 :	Principales raisons données par les administrations répondantes qui ont décidé de ne pas mettre en place des feux de circulation à FJC pour le moment sur leur territoire	48

Liste des tableaux

Tableau 1:	Ressources pour l'analyse documentaire.....	3
Tableau 2:	Qualité de la documentation.....	3
Tableau 3 :	Analyse économique (ratios B/C) de divers dispositifs FJC	17
Tableau 4:	Résumé des FMC de la documentation sur l'installation de feux de circulation à FJC pour différentes phases de virage à gauche (adapté de Jones, Foster & Bhagat, 2023).....	22
Tableau 5 :	Facteurs de modification des collisions pour différents niveaux de gravité des collisions et différentes catégories de conversion à la FJC	23
Tableau 6 :	Administrations publiques ayant répondu à l'enquête canadienne	42
Tableau 7 :	Nombre d'administrations répondantes qui ont indiqué des problèmes de collisions liés aux virages permissifs et différents usagers de la route aux intersections à des degrés divers	45
Tableau 8 :	Administrations ayant participé aux discussions de groupe	49
Tableau 9 :	Contributions des groupes de discussion.....	50

1. Introduction

1.1 Contexte

La synchronisation des feux de circulation est une tâche complexe qui doit établir un équilibre entre le flux efficace de la circulation et les risques de collision tout en tenant compte de la variabilité de la circulation découlant des fluctuations de débit au cours de la journée, de la coordination entre les intersections, des mesures d'adaptation aux différents modes de transport (piétons, cyclistes, circulation automobile), de la préemption des véhicules d'urgence, de la priorité au transport en commun, des ressources limitées, de la disponibilité des données, et d'autres facteurs. Un aspect important de la synchronisation des feux de circulation constitue les mouvements de virages permissifs des véhicules motorisés (à gauche et à droite) qui entrent en conflit avec la circulation en sens inverse ou qui entravent les virages et les mouvements des piétons et des cyclistes. Environ 17 % de toutes les collisions aux intersections au Canada sont associées aux virages à gauche qui croisent la circulation en sens inverse, plus de la moitié se produisant à des intersections signalisées (estimation fondée sur les données de 2021 de la Base de données nationale sur les collisions de Transports Canada).

Des feux de circulation à flèche jaune clignotante (feux à FJC) ont été installés en grand nombre à travers les États-Unis pour indiquer un virage à gauche permissif et pour réduire la confusion des conducteurs causée par la présence de feux verts fixes pour virages permissifs (Zhang, Li, & Wu, 2023). Ce qui est préoccupant, c'est que les conducteurs sont confus lorsqu'ils effectuent un virage à gauche sur un feu vert circulaire permissif en supposant, à tort, que le virage à gauche a la priorité sur la circulation en sens inverse, surtout dans certaines conditions géométriques (Srinivasan, Lan, Carter, Smith, & Signor, 2020). Une enquête nationale américaine a indiqué que, dans la majorité des États ayant répondu à l'enquête, les feux à FJC sont la signalisation privilégiée pour les virages à gauche en termes de fonctionnement (Thapa, Asaduzzaman, & Abedi, 2022). Le terme « flèche jaune clignotante ou FJC » est la traduction du terme utilisé dans tous les documents des États-Unis, y compris dans le MUTCD (*Manual on Uniform Traffic Control Devices*).

Suite à l'achèvement d'une étude menée par le National Cooperative Highway Research Program (*rapport 493 du NCHRP*, Brehmer et al., 2003) qui recommandait l'utilisation des FJC pour indiquer les virages à gauche permissifs sur des voies de virage exclusives puisqu'ils étaient mieux compris par les conducteurs, puisqu'ils offraient des avantages opérationnels et permettaient des améliorations significatives de la sécurité des virages à gauche, l'utilisation des FJC a été incluse dans l'édition de 2009 du MUTCD des États-Unis (FHWA, 2009). Le MUTCD de 2009 et de 2023 permettent l'utilisation des feux à FJC pour indiquer les virages à gauche permissifs sur tous les dispositifs séparés de feux de virage à gauche utilisés sur la voie de virage à gauche et fonctionnant en mode protégé-permissif ou en mode permissif (Qi et al., 2012). Bien que le rapport 493 du NCHRP (Brehmer et al., 2003) indique que les feux à FJC peuvent être utilisés sur les voies partagées (c'est-à-dire les voies partagées de virage et de circulation directe), on recommande finalement leur installation uniquement sur les voies de virage exclusives.

Les feux à FJC représentent un outil potentiel pour gérer les conflits entre les usagers vulnérables de la route et les véhicules qui effectuent un virage. Cependant, pour être efficace, cette nouvelle forme de signalisation doit être bien comprise par les usagers, appliquée dans le bon contexte, présentée de manière uniforme, conforme aux lois et règlements, et correctement exploitée afin que les résultats

souhaités puissent être atteints. Bien que les feux à FJC soient largement utilisés à travers les États-Unis, ils ne sont pas encore présents au Canada. Cette étude vise à parfaire les connaissances sur l'expérience américaine concernant l'application, la sécurité et le rendement opérationnel des feux à FJC, et à comprendre comment cela pourrait se traduire dans le contexte canadien. Sans réflexion approfondie, une approche d'utilisation des FJC pourrait entraîner l'échec de la première étape, ce qui limiterait l'utilisation future de ces dispositifs ou ce qui ne réglerait pas, voire même aggraverait, les conflits et collisions aux intersections. Les FMC indiquent qu'en remplaçant un virage entièrement protégé par un feu de circulation à FJC, on peut augmenter les taux de collision (même si l'on croit que cela est principalement attribuable au remplacement du phasage protégé), tandis que les taux de collision liés au remplacement des phasages permissifs ou protégés-permissifs par des feux à FJC entraînent une réduction des collisions.

Ce rapport contient une synthèse des résultats d'une analyse documentaire complète sur la recherche et l'expérience pratique liées aux feux à FJC aux États-Unis, ainsi qu'un résumé des résultats issus d'entretiens de suivi avec des experts américains, d'une enquête auprès des administrations canadiennes et de deux séances de discussion de groupe avec des administrations canadiennes qui ont défini les principaux défis, avantages, bénéfices et risques liés à l'application des feux à FJC au Canada. Ces conclusions ont servi de base aux prochaines étapes recommandées pour la mise en place potentielle des FJC au Canada.

1.2 Méthodologie

Ce rapport présente les résultats de quatre tâches concernant les feux à FJC : (1) une analyse documentaire, (2) des entretiens avec des experts sur l'application des feux à FJC, (3) une enquête auprès des administrations canadiennes, et (4) deux séances de discussion de groupe avec des administrations canadiennes ainsi qu'un représentant américain. La méthodologie de chaque tâche est décrite ci-dessous.

1.2.1 Analyse documentaire

Le volet d'analyse documentaire reposait sur une revue complète de la documentation américaine et canadienne publiée en anglais et en français au cours des 25 dernières années. Cependant, aucune documentation canadienne, ni en anglais ni en français, n'a été jugée pertinente pour cette étude. L'analyse documentaire a été guidée par les sujets définis par le Comité directeur de projet (CDP), ainsi que par les sujets présentés par l'équipe de recherche. L'analyse documentaire comprenait des ouvrages sur la recherche et l'expérience pratique liés aux feux à FJC aux États-Unis, incluant des périodiques et revues d'ingénierie, des articles et textes facilement accessibles, des actes de conférences, ainsi que des rapports et lignes directrices gouvernementaux et industriels facilement accessibles, lesquels sont indiqués dans le Tableau 1.

L'analyse documentaire a initialement identifié 107 publications traitant des questions étudiées dans ce projet. Après un examen plus approfondi de ces documents, 68 d'entre eux ont été jugés particulièrement applicables à ce projet. On a ensuite évalué la qualité de la recherche en classant chaque publication dans la catégorie des publications qualitatives ou quantitatives, dans les recherches rigoureuses ou non rigoureuses, comme le résume le Tableau 2.

Les recherches rigoureuses et non rigoureuses sont définies comme suit :

- Recherche rigoureuse : analyse basée sur des données fondées sur des preuves; ou pour des données non analytiques, le sujet est-il expliqué de manière approfondie et avec suffisamment de détails;
- Recherche non rigoureuse : analyse basée sur des observations qualitatives, un échantillon de petite taille, des données biaisées, etc.; ou pour le contenu non analytique, le contenu est-il difficile à comprendre ou à suivre.

Tableau 1: Ressources pour l'analyse documentaire

<i>Catalogues de bibliothèques spéciales</i>	<i>Organismes gouvernementaux et industriels</i>
<ul style="list-style-type: none"> • TRIS (Transport Research Information Services) • American Society for Civil Engineers • Science Direct • Presses scientifiques du CNRC • CMF Clearinghouse • Dissertations et thèses universitaires 	<ul style="list-style-type: none"> • Federal Highway Administration • AASHTO • Transportation Research Board Standing Committee on Traffic Control Devices (ACP 55) • NCUTCD (National Committee on Uniform Traffic Control Devices) • NACTO (National Association of City Transportation Officials) • Départements des Transports des États • NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration) • Association des transports du Canada
<i>Revue scientifique et actes de conférences</i>	
<ul style="list-style-type: none"> • Transportation Research Record • Institute of Transportation Engineers Journal • Journal of Traffic and Transportation Engineering • Journal of Safety Research • Injury Prevention • Canadian Journal of Civil Engineering • Accident Analysis and Prevention • Journal of Transportation Engineering 	

Tableau 2: Qualité de la documentation

Qualité de la recherche	Rigoureuse	Non rigoureuse
Qualitative	9	8
Quantitative	39	14
Total	48	22

1.2.2 Entretiens avec des experts

À la suite de l'analyse documentaire, des entretiens virtuels ont été menés avec quatre experts sur les feux à FJC afin que l'application des FJC aux États-Unis soit mieux comprise. Les experts interrogés étaient

des représentants de la FHWA (Federal Highway Administration), du NCUTCD (National Committee on Uniform Traffic Control Devices), du Comité des techniques et de la gestion de la circulation (CTGC) de l'Association des transports du Canada, ainsi que de la Ville de Richland, dans l'État de Washington. La Ville de Richland a été choisie en raison de sa vaste expérience et de son historique d'utilisation des feux à FJC sur son territoire.

1.2.3 Enquête canadienne

Une enquête en ligne auprès des administrations canadiennes a été réalisée sur une période de quatre semaines. L'enquête visait à déterminer le niveau de connaissance et d'intérêt des administrations canadiennes en ce qui concerne les feux à FJC, leurs pratiques actuelles en matière de signalisation et les obstacles nuisant à la mise en place de feux à FJC sur leur territoire.

L'enquête en ligne de 22 questions a été distribuée aux administrations canadiennes, et explicitement aux membres gouvernementaux du CTGC, ainsi qu'aux membres gouvernementaux du Comité de la sécurité routière et du Comité intégré des transports actifs qui ne font pas partie du CTGC, afin que les personnes les plus compétentes sur ce sujet en matière d'exploitation et de sécurité puissent répondre à l'enquête. L'enquête visait à obtenir des résultats de diverses administrations municipales et provinciales situées à différents emplacements géographiques et ayant des réseaux de signalisation de tailles variées. Au total, 19 villes et municipalités et quatre administrations provinciales ont répondu à l'enquête.

1.2.4 Séances de discussion de groupe

Deux séances de discussion de groupe virtuelles ont été organisées avec 16 administrations de différentes tailles et de différents lieux géographiques (est et ouest du Canada), afin de renforcer, d'affiner et d'approfondir les résultats des enquêtes. Au total, 23 spécialistes supervisant les opérations, l'entretien ou la gestion des feux de circulation de leur administration ont été mobilisés. Les séances ont donné lieu à des discussions et à de l'apprentissage fondés sur les expériences d'autres administrations quant aux différentes techniques de signalisation, ainsi que sur les possibilités et défis perçus quant à l'utilisation potentielle de feux à FJC dans le contexte canadien.

Les sujets suivants ont été abordés à chaque séance :

- Niveau de connaissance et d'intérêt à l'égard de la mise en place des FJC
- Application actuelle des feux à FJC et utilisation potentielle des FJC au Canada
- Objectif et avantages de la mise en place des feux à FJC au Canada
- Préoccupations concernant la mise en place des feux à FJC dans le contexte canadien
- Discussions sur le processus de mise en place des feux à FJC (par exemple, le processus de déploiement, les exigences législatives et réglementaires, la justification politique, etc.)

Les séances de discussion de groupe ont mis en lumière les différences existant entre les administrations canadiennes en ce qui concerne les pratiques actuelles de signalisation, les accords et les points de vue opposés sur les feux à FJC, ainsi que les possibilités et inconvénients liés à la mise en place de feux à FJC dans le contexte canadien. Un représentant américain était présent à une séance afin de permettre aux participants canadiens d'apprendre de l'expérience américaine.

2. Analyse documentaire

2.1 Description des feux à flèche jaune clignotante aux États-Unis

Les feux de circulation à flèche jaune clignotante (feux à FJC) sont utilisés en remplacement de la signalisation traditionnelle à feu vert circulaire pour les virages à gauche ou à droite permissifs, où les conducteurs doivent céder le passage à la circulation conflictuelle, y compris les piétons et cyclistes.

Pour les virages à gauche, les feux à FJC peuvent être utilisés pour les phases de virage à gauche uniquement permissif ou de virage à gauche protégé-permissif, ou lorsque la phase uniquement protégée est remplacée par l'une des deux phases de virage à gauche mentionnées. Le MUTCD (*Manual on Uniform Traffic Control Devices*) (FHWA, 2023) fournit des configurations de signalisation pour chaque type de phasage de virage à gauche :

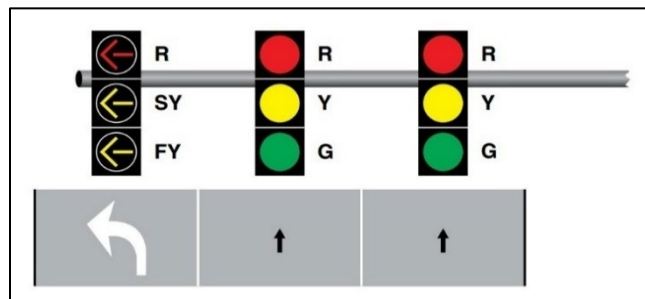
- FJC pour virage à gauche uniquement permissif : peut utiliser un feu de circulation à trois sections à flèche rouge fixe, à flèche jaune fixe et à flèche jaune clignotante, placées exclusivement pour la voie de virage à gauche, comme l'illustre la Figure 1. La FJC de virage à gauche uniquement permissif remplace le feu de circulation traditionnel à trois sections par un feu de circulation fixe de couleur sans modification du phasage.
- FJC pour virage à gauche protégé-permissif (VGPP-FJC) : peut utiliser un feu de circulation à quatre sections à flèche rouge fixe, flèche jaune fixe, flèche jaune clignotante et flèche verte fixe, placées exclusivement pour la voie de virage à gauche, comme l'illustre la Figure 2. La flèche jaune clignotante est utilisée pour la partie permissive du virage à gauche. Les feux à FJC à quatre sections offrent la flexibilité de changer le signal de virage uniquement protégé, uniquement permissif et protégé-permissif en fonction de l'heure de la journée et des caractéristiques de la circulation afin d'assurer un flux de circulation plus efficace selon la demande. Plus récemment, un feu de circulation à trois sections et à FJC à double flèche (feu bimodal) a été utilisé par certaines administrations (par exemple, en Oregon, à Portland et à Richland) avec la même fonctionnalité que le feu à FJC à quatre sections. Le MUTCD 2023 propose également une configuration de signalisation à FJC à trois sections et à une lentille bimodale partageant une flèche jaune fixe et une flèche jaune clignotante, comme l'illustre la Figure 2. Une autre configuration de signalisation bimodale à FJC est utilisée par certaines administrations : une lentille partagée pour les feux à flèche verte fixe et à flèche jaune clignotante. La section 3 fournit de l'information supplémentaire sur ce dispositif. Le VGPP-FJC remplace le feu de circulation traditionnel à cinq sections (c'est-à-dire le feu en niche ou vertical) par un feu vert circulaire pour virage à gauche permissif, avec phasage inchangé, qui est partagé pour le virage à gauche et les déplacements de la circulation directe adjacents, comme l'illustre la Figure 3.
- Une phase de virage à gauche uniquement protégé peut être convertie en une phase de virage à gauche uniquement permissif ou protégé-permissif avec la mise en place d'un feu à FJC pour répondre aux objectifs d'efficacité opérationnelle, et ce, en utilisant les deux dispositifs de signalisation mentionnés précédemment et associés à la phase de virage à gauche (c'est-à-dire un feu de circulation à trois sections pour les virages à gauche permissifs ou un feu de circulation à quatre sections pour les virages à gauche protégés-permissifs).

Les manœuvres de virage à gauche permissif augmentent le risque de conflits entre véhicules et entre véhicules et transport actif par rapport à la phase de virage à gauche entièrement protégé. Les conducteurs plus jeunes et plus âgés ont particulièrement du mal à distinguer la distance requise pour effectuer un virage à gauche permissif en toute sécurité. L'utilisation de la phase permissive laisse

également les piétons sans phase de passage protégé (FHWA, 2013a). Ainsi, le feu à FJC tente d'attirer davantage l'attention du conducteur sur la circulation conflictuelle des véhicules en approche et des usagers vulnérables de la route lorsqu'ils effectuent un virage à gauche.

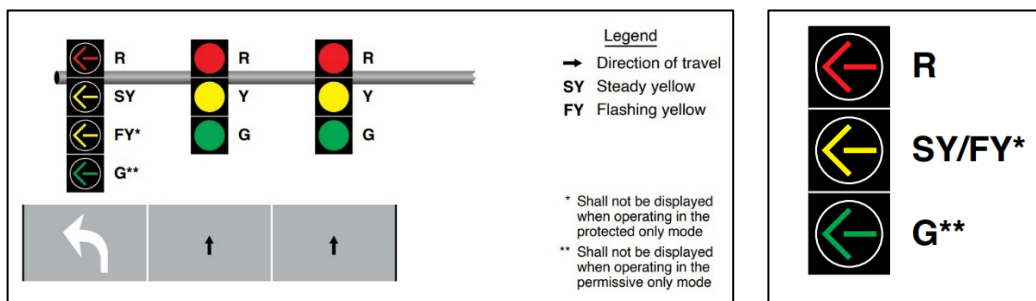
Une phase de virage à gauche protégé-permissif combine les deux autres phases de virage à gauche en offrant un équilibre entre la sécurité d'une phase de virage à gauche entièrement protégé et l'efficacité d'une phase de virage à gauche uniquement permissif. Les phases de virage à gauche protégé-permissif à flèche jaune clignotante (VGPP-FJC) ont le potentiel d'améliorer les mouvements de circulation en permettant à plus de véhicules d'effectuer leurs virages à gauche pendant les phases de virage permissif, notamment aux heures creuses; cependant, leur sûreté est perçue comme inférieure à celle des phases de virage à gauche uniquement protégé (Hajbabaie, Sattarov, & Mohebifard, 2018). Le feu à FJC peut remplacer le feu de circulation traditionnel à cinq sections ou le feu de circulation pour virage uniquement protégé si une étude technique détermine que la phase permissive est sécuritaire à certains moments de la journée (Cleveland Utilities, 2024).

Figure 1: Phase de FJC pour virage à gauche uniquement permissif à l'aide d'un feu de circulation exclusif à trois sections au-dessus de la voie de virage à gauche



(Source : MUTCD, 2023)

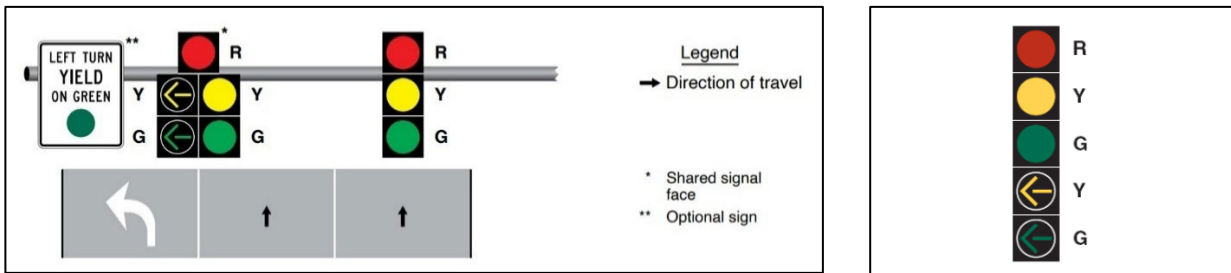
Figure 2: Phase de FJC pour virage à gauche protégé-permissif (VGPP) à l'aide d'un feu de circulation exclusif à quatre sections (à gauche) ou un feu de circulation bimodal à trois sections (à droite) au-dessus de la voie de virage à gauche



(Source : MUTCD, 2023)

Legend: SY- Steady yellow, FY- Flashing yellow

Figure 3: Phase traditionnelle de virage à gauche protégé-permissif à l'aide d'un feu de circulation à cinq sections, en configuration niche ou verticale

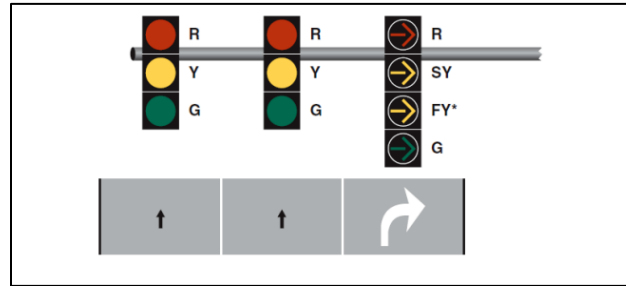


(Source : MUTCD, 2023)

La phase de flèche jaune clignotante (FJC) pour virage à droite est une pratique de signalisation plus récente aux États-Unis. Comme pour les feux de circulation à FJC pour virage à gauche, le MUTCD (FHWA, 2023) permet l'utilisation de feux à FJC à quatre sections pour les virages à droite, comme l'illustre la Figure 4, qui prend en charge les configurations de multiples phases : phase permissive, phase protégée et phase permissive-protégée.

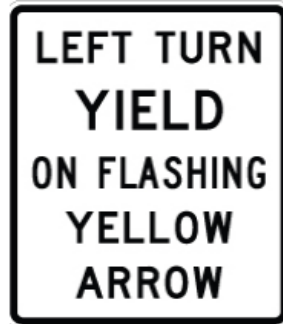
Un panneau supplémentaire peut être installé à côté de la face du feu à flèche jaune clignotante pour virage à gauche ou à droite, indiquant de CÉDER LE PASSAGE EN TOURNANT À GAUCHE (DROITE) SUR FLÈCHE JAUNE CLIGNOTANTE, comme l'indique le MUTCD (FHWA, 2023) et tel qu'illustré à la Figure 5 et la Figure 6. Le panneau complémentaire optionnel a été installé par les administrations craignant une mauvaise interprétation par les conducteurs du nouveau feu de circulation à FJC. Des études ont montré que l'ajout d'un panneau a un certain impact sur la sûreté des FJC et sur le niveau de compréhension du conducteur, car ils sont déjà bien compris par les conducteurs. Par exemple, dans l'Illinois, Schattler et al. (2016) ont constaté une réduction supplémentaire de 9 % des collisions lors de virages à gauche après l'installation de panneaux supplémentaires avec les feux de circulation à FJC. Minnesota, Davis et al. (2023) indiquent une augmentation du niveau de compréhension de 94 à 96 % en ce qui concerne les feux de circulation à FJC grâce à l'installation d'un panneau, tout en observant que les conducteurs respectent davantage l'espacement requis lorsque le panneau est présent.

Figure 4 : FJC de virage à droite protégé-permissif à l'aide d'un feu de circulation exclusif à quatre sections au-dessus de la voie de virage à droite



(Source : MUTCD, 2023)

Figure 5: Panneau supplémentaire pour les feux à FJC



(Source : MUTCD, 2023)

Figure 6: Panneau supplémentaire pour les feux à FJC au Minnesota



(Koch, 2024)

2.2 Application

Cette section présente une synthèse de la documentation sur l'application du feu de circulation à flèche jaune clignotante (feu à FJC) en définissant les contextes de mise en place et les facteurs justifiant l'utilisation de FJC, tels que la synchronisation des feux, la géométrie des intersections, l'activité piétonne et les avantages économiques.

2.2.1 Facteurs de justification

Le choix d'un mode de contrôle approprié pour les virages à gauche à une intersection signalisée, avec une possible variabilité tout au long de la journée, est un processus décisionnel complexe en raison des nombreux facteurs et caractéristiques de la circulation qui influent sur ce choix (Hajbabaie, Sattarov, & Mohebifard, 2018). Les recherches existantes qui définissent les variables influant sur le processus décisionnel sont résumées ci-dessous :

- Qi et al. (2012) ont élaboré des lignes directrices pour les installations de VGPP-FJC au Texas basées sur une enquête auprès des ingénieurs de la circulation, un essai sur le terrain à cinq intersections et une analyse des collisions à 51 intersections. Sur la base des résultats de l'étude, les auteurs ont

recommandé de sélectionner le mode de contrôle du virage à gauche en tenant compte du débit de circulation (débit de circulation pour les virages à gauche et débit de circulation en sens inverse), de la limite de vitesse, de la distance de vue, du nombre de voies et de l'historique des accidents au virage à gauche. Ils ont constaté que les FJC peuvent être utilisées pour la plupart des feux de circulation où des VGPP sont déjà présents afin d'améliorer la sécurité aux intersections et de réduire à la fois les collisions et les conflits. Cependant, ils ajoutent que l'utilisation des VGPP-FJC n'est pas recommandée aux intersections très fréquentées où les volumes des virages à gauche et de la circulation en sens inverse sont élevés, et ces configurations doivent être mises en place avec une grande prudence aux intersections où une phase de virage à gauche dans les deux directions est utilisée. Un volume de circulation élevé peut entraîner de la confusion liée aux flèches jaunes fixes lorsque les conducteurs tournant à gauche ne savent pas que le feu à FJC sera remplacé par un feu jaune fixe. L'étude sur les conflits routiers sur le terrain a constaté une augmentation des incidents de « feux rouges brûlés » et de « recul dans la voie de virage à gauche ». Les auteurs recommandent une flèche rouge fixe relativement longue (de 3 à 4 secondes) entre le feu jaune fixe et la FJC pour avertir les conducteurs tournant à gauche de la fin de la phase protégée.

- Radwan et al. (2013) ont créé un cadre interactif pour système d'aide à la décision (système DSS) pour le Département des Transports de Floride (FDOT) qui fournit des conseils sur le bien-fondé de modifier une phase de virage à gauche entièrement protégé en phase de virage protégé-permissif (en utilisant des configurations de FJC), en tenant compte des informations telles que : l'heure de la journée, le nombre de voies à traverser, la vitesse et le débit de la circulation en sens inverse, la durée du feu vert pour la phase de virage à gauche protégé, le volume de virages à gauche, ainsi que le type et la densité des usages du sol à proximité, comme l'illustre la Figure 7. Selon les paramètres, le remplacement de la phase de virage à gauche entièrement protégé en phase de virage protégé-permissif peut ne servir que quelques véhicules durant la phase permissive — ce qui crée un potentiel de collision, mais n'offre qu'une réduction minimale du délai; ou cela peut avoir plus d'impact. Le système DSS utilisait un modèle statistique développé à partir de plus de 200 heures de données vidéo enregistrées à 13 intersections en Floride centrale. Il n'y a pas eu d'évaluation de l'effet des configurations à FJC par rapport aux feux verts circulaires — à part la reconnaissance que les feux de circulation à FJC à quatre sections permettent une phase variable de virage à gauche, où le mode de phase de virage à gauche peut passer de totalement permissif, protégé-permissif ou entièrement protégé à différents moments de la journée. Les feux de circulation à quatre sections à FJC étaient considérés comme la norme pour la phase variable de virage à gauche, sur recommandation du MUTCD de 2009 (FHWA, 2009).

Figure 7: Fenêtre d'entrée de l'outil décisionnel définissant le mode de virage à gauche

INPUTS	
Time Of Day in sec	29400
No of Crossing Lane	4
Speed	45
PT Green Time (min)	26
Total No of Left Turn	147
Tot Opp. Vol.	1260
Criteria	DOWNTOWN
Land Use	COMMERCIAL
OUTPUTS	
No of Left Turn	17.56
Percentage of Left Turn	11.94 %

(Radwan , Abou-Senna, Navarro, & Chalise, 2013)

- Radwan et al. (2016) ont développé les travaux réalisés en 2013, permettant une sélection automatisée du mode de phase de virage à gauche (entièrement protégé ou protégé-permissif à FJC), pouvant changer d'un cycle à l'autre en fonction des données en temps réel sur l'espacement du flux de circulation en sens inverse, en utilisant le cadre du système DSS de l'étude de 2013. La base de données du modèle a été élargie pour inclure des données vidéo provenant de 38 intersections à travers l'État de Floride — contre 13 intersections en Floride centrale dans l'étude de 2013. Les données étendues comprenaient également des paramètres supplémentaires, notamment les espacements dans les virages à gauche, l'utilisation de la voie opposée et le délai d'arrêt aux virages à gauche. Le système automatisé a été simulé à l'aide du logiciel microscopique de simulation de la circulation VISSIM, puis testé à deux intersections dans le comté de Seminole, en Floride, où le cadre du système DSS a été intégré aux détecteurs et au contrôleur de feux. Les tests ont confirmé l'applicabilité et la validité du cadre du système DSS. Les feux de circulation de virage à gauche à FJC et à quatre sections permettent de régler les modes de virage à gauche au cas par cycle, afin d'exploiter les intersections de la manière la plus efficace possible.
- Abou-Senna et al. (2019) ont développé une plateforme matérielle exclusive pour le phasage variable de virage à gauche, en développant les travaux de Radwan et al. de 2013 à 2016. Les travaux élargis comprenaient des tests logiciels supplémentaires avec des données réelles, ainsi que des tests sur le terrain à six intersections en Floride. Les tests ont confirmé que le système surveillait précisément la circulation en temps réel et basculait entre une phase entièrement protégée et une phase protégée-permissive, de manière raisonnable et conforme aux attentes du conducteur. Les essais ont également montré que des signaux coordonnés avec des cycles très longs (trois minutes et plus) permettaient de créer des espacements suffisants pour des virages à gauche permissifs, même avec de forts volumes en sens inverse, car les longs cycles entraînaient une circulation forte en pelotons. Inversement, des cycles plus courts éliminaient suffisamment d'espacements, même avec la coordination. Le calcul des espacements minimaux reposait sur deux méthodes différentes : l'une était plus précise, l'autre plus conservatrice. Le projet a abouti à un dispositif matériel compatible avec les différents types de contrôleurs utilisés dans les districts du FDOT. Le dispositif recueille des

intrants sous forme de données de volume et de synchronisation du signal et les données de phasage produisent des extrants sous forme de recommandation pour la mise en place d'une phase de virage à gauche entièrement protégé ou protégé-permissif lors du cycle suivant. L'algorithme développé dans le cadre du projet peut permettre aux contrôleurs de feux de circulation d'utiliser un phasage variable de virage à gauche lorsque des feux de circulation pour virage à gauche à quatre sections sont disponibles.

- Alfawzan (2019) a mené une analyse documentaire et une analyse du rendement en matière de sécurité des feux de virage à droite en Floride. Les feux à FJC de virage à droite ne peuvent être installés que sur les voies exclusives de virage à droite, conformément au MUTCD. Sur la base de recherches antérieures, ils ont constaté que selon le rapport 279 du NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) (Neuman, 1985), les voies de virage à droite en zones urbaines sont significativement affectées par les volumes de virage à droite, les collisions par l'arrière lors des virages à droite et les volumes de passages piétons, tandis que dans les zones rurales, la vitesse, les volumes de virage à droite et les types d'utilisation des sols étaient les facteurs significatifs (Varma, Ale et al. 2008).
- Davis et al. (2015) ont créé des lignes directrices pour le phasage variable des virages à gauche, où la phase de virage protégé est modifiée pour une phase de virage permissif ou protégé-permissif à différents moments de la journée grâce à l'utilisation de feux de circulation à FJC. Un modèle statistique a été développé à partir de données sur le débit de circulation et les caractéristiques des intersections issues de 436 collisions lors de virages à gauche dans la région des Twin Cities au Minnesota. Le modèle identifiait le risque de collision lors d'un virage à gauche sur une journée, en se basant sur les volumes de virages à gauche et de la circulation en sens inverse, le type de phase de virage à gauche, la classification routière basée sur la limite de vitesse en sens inverse et l'obstruction de la ligne de vue par les véhicules tournant à gauche en sens inverse. Un outil de tableau Excel a été développé pour fournir aux utilisateurs une prédiction du risque de collision lors d'un virage à gauche sur une approche donnée pendant la phase de virage permissif ou protégé-permissif de façon distincte pour chaque heure de la journée, en fonction des volumes de virages à gauche et de la circulation en sens inverse saisis par l'utilisateur (à partir d'aussi peu qu'une heure par jour), ainsi que des mesures pouvant déterminer si les lignes de vue pouvaient être obstruées.
- Le Département des Transports de Virginie a conçu des directives pour déterminer et documenter le mode de phasage pour virages à gauche (*Guidance for Determination and Documentation of Left-Turn Phasing Mode*, 2015) afin d'orienter le processus décisionnel de sélection du mode de phase des feux de circulation de virage à gauche. Ces directives indiquent que les facteurs à considérer incluent la distance de vue, l'espacement essentiel de passage, la géométrie des intersections et les collisions pouvant être corrigées aux virages à gauche.

2.2.2 Synchronisation et phasage de la signalisation

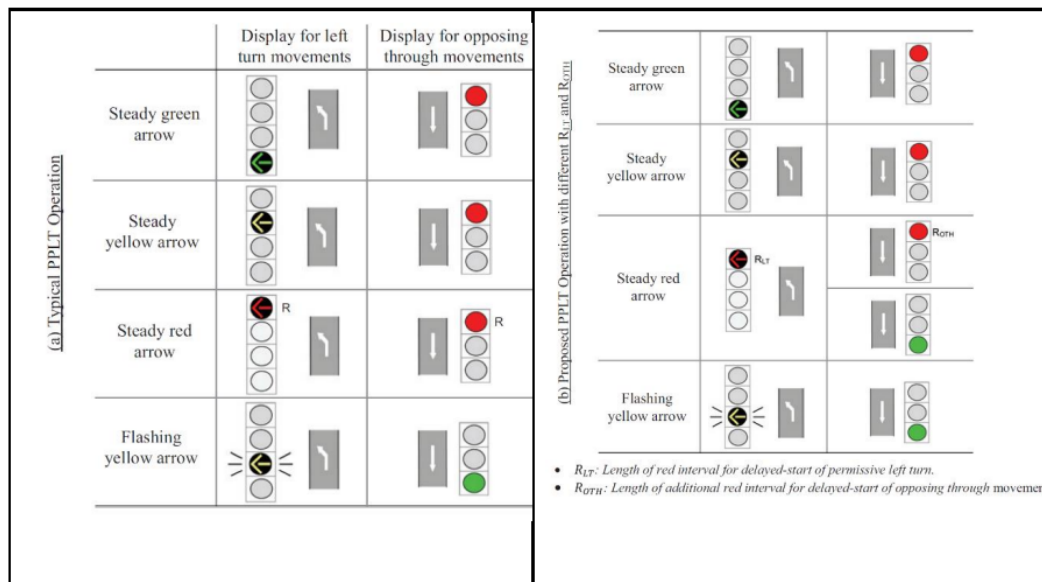
Les feux à FJC peuvent être utilisés pour les phases de virage à gauche uniquement permissif ou les phases de virage à gauche protégé-permissif (VGPP), soit en modifiant la signalisation traditionnelle du feu de circulation tout en maintenant la même phase (c'est-à-dire en remplaçant le feu de circulation de virage à gauche permissif par une FJC de virage à gauche permissif ou en remplaçant un VGPP par un VGPP-FJC), soit en modifiant le phasage du feu de circulation et en remplaçant un virage à gauche protégé (VGP) par un VGPP-FJC.

Les flèches jaunes clignotantes permettent aux ingénieurs de la circulation d'utiliser en toute sécurité différents indicateurs (feux verts ou jaunes clignotants) à différents moments de la journée. Par exemple, des flèches jaunes clignotantes permissives peuvent être utilisées lors de périodes de faible volume, tandis que des flèches vertes protégées peuvent être utilisées lors de périodes à fort volume (gouvernement du comté de Beaufort, s.d.). Le phasage variable des virages à gauche selon l'heure du jour a montré qu'il améliore les opérations aux intersections et réduit les délais. Cependant, il a également montré qu'il cause une certaine confusion chez les conducteurs. (Hajbabaie, Sattarov, & Mohebifard, 2018)

Le début du signal d'un feu à FJC peut être retardé pour la transition d'une phase de virage à gauche protégé à une phase de virage à gauche permissif, une enquête montrant que 71 % des administrations d'État qui y ont répondu et qui utilisent les FJC retardent également le début des FJC en raison de ses avantages accrus en matière de sécurité (Appiah & Cottrell, 2014). Pour ce faire, on met généralement en place un indicateur de signalisation à flèche rouge avant le début du signal du feu à FJC (c'est-à-dire en passant d'un virage à gauche protégé par une flèche verte à un feu jaune fixe, puis à une flèche rouge, puis enfin à une flèche jaune clignotante pour virage permissif).

Mahbub, Kang et Lee (2019) ont effectué une simulation de micro-circulation et une analyse des conflits pour évaluer les effets de deux options de transition à intervalle rouge sur l'efficacité et la sécurité des intersections. Ils ont évalué les longueurs appropriées de deux options de phasage à intervalle rouge pour la transition entre un feu à FJC et un phasage VGPP : l'une est un intervalle rouge pour le début retardé des virages à gauche permissifs; l'autre est un intervalle rouge supplémentaire pour le début retardé des déplacements de la circulation directe en sens inverse, comme l'illustre la Figure 8. Une référence utile, qui décrit la longueur équilibrée des deux intervalles rouges dans différents niveaux de circulation, est ainsi développée. (Mahbub, et al., 2019 ; Chen, 2023)

Figure 8: Synchronisation typique et proposée du feu de VGPP pour la phase de transition de la flèche rouge



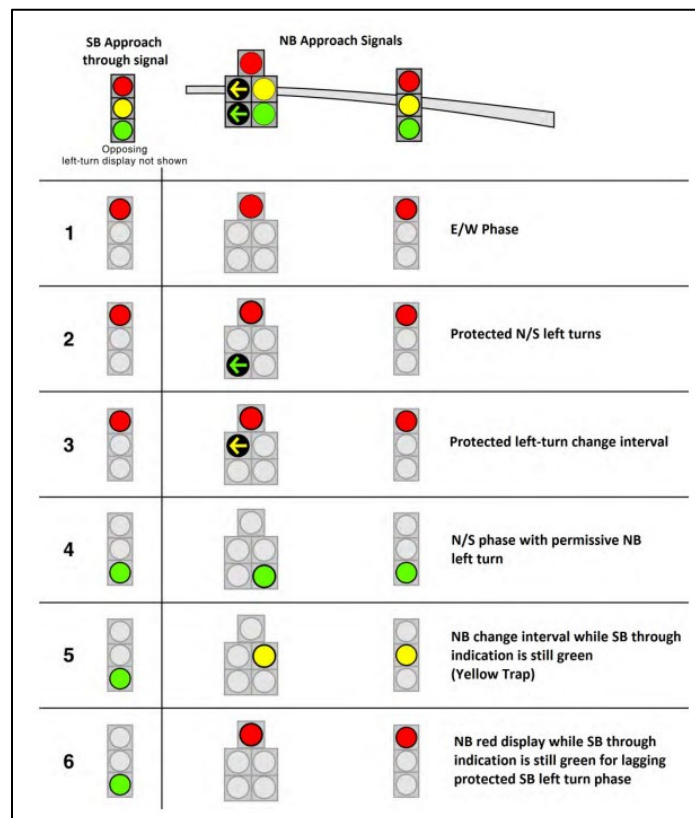
(Mahbub, Kang, & Lee, 2019; Chen, 2023)

Les feux à FJC sont également couramment utilisés pour atténuer le problème de piégeage survenant lors d'une phase de virage à gauche permissif, également appelé la séquence de phasage avance-décalage

(FHWA, 2013a). Une situation de piégeage se produit lorsqu'un virage à gauche permissif fait face à un vert décalé en sens inverse, comme l'illustre la Figure 9. Lorsque ce problème survient, le véhicule qui effectue un virage à gauche permissif se retrouve soit bloqué à l'intersection en raison de l'absence d'espacements dans la circulation directe en sens inverse qui a un feu vert, soit le conducteur qui tourne à gauche voit un feu jaune et suppose à tort que la circulation en sens inverse a également un feu jaune similaire et il effectue un virage à gauche dans la circulation venant en sens inverse. Le conducteur tournant à gauche suppose que la circulation en sens inverse ralentira et s'arrêtera alors qu'en réalité les véhicules opposés entrent dans l'intersection, car ils ont un feu vert circulaire, ce qui crée un risque de collision.

La flèche jaune clignotante est recommandée comme l'option la plus efficace pour éliminer le problème de piégeage, car elle alerte le conducteur tournant à gauche que la manœuvre reste un virage à gauche permissif et qu'il doit céder le passage à la circulation en sens inverse (FHWA, 2013a). Cependant, la FJC atténue la signification du feu fixe pendant l'intervalle de changement, lorsque les véhicules tournant à gauche ont la priorité lors d'un intervalle de changement à la flèche jaune fixe dans un virage à gauche uniquement protégé, tandis qu'ils doivent céder la priorité à la circulation lorsque le feu jaune fixe suit le feu à FJC (Hajbabaie, Sattarov, & Mohebifard, 2018).

Figure 9: Exemple de phases de signalisation pour problème de piégeage



(Source : FHWA, 2013a)

- Le début de la flèche jaune clignotante (FJC) peut être retardé (par exemple, avec une flèche rouge) pendant la transition d'un mouvement protégé à un mouvement permissif dans un virage à gauche

protégé-permissif. Appiah et Cottrell (2014) ont mené une enquête auprès d'organismes de transport et d'experts nationaux et ont constaté que 71 % d'entre eux ont mis en place un décalage au début de la FJC, et une certaine préférence existait pour l'utilisation de la flèche rouge en raison des avantages perçus en matière de sécurité.

2.2.3 Géométrie des intersections

- La politique de l'AASHTO sur la conception géométrique des routes et des rues, 6^e édition (*Policy on Geometric Design of Highways and Streets* 6th Edition, AASHTO, 2011) stipule que le conducteur d'un véhicule approchant d'une intersection doit avoir une vue dégagée de l'ensemble de l'intersection, y compris de tous les feux de circulation, ainsi que des longueurs suffisantes sur la route pour qu'il puisse anticiper et éviter les collisions potentielles pour que des flèches jaunes clignotantes soient installées.
- En Caroline du Nord, cinq intersections (en date de rédaction du présent rapport) utilisent une flèche jaune clignotante double pour virage à gauche (FJC double pour virage à gauche). Des villes dans d'autres États les utilisent également, notamment Tucson, en Arizona (NCDOT, 2015). La FJC double pour virage à gauche peut être installée sur les voies doubles de virage à gauche qui offrent une distance de vue suffisante à l'intersection pour permettre aux véhicules tournant à gauche de voir la circulation en sens inverse. D'autres facteurs doivent aussi être pris en compte, notamment les vitesses opérationnelles dans les corridors, les débits de circulation et les voies de circulation directe en sens inverse, les distances de croisement pour les virages à gauche, l'historique des accidents à l'intersection, le phasage typique des virages à gauche dans le corridor, ainsi que d'autres facteurs propres à l'emplacement. Une étude de cas à une intersection en 2014 a révélé que la FJC double de virage à gauche réduirait les délais de près de 50 % et la longueur des files de véhicules de 20 à 30 % (NCDOT, 2015).
- Zhang, Li et Wu (2023) ont évalué l'effet de l'utilisation des FJC sur les voies simples et doubles de virage à gauche, car cela n'a pas suffisamment fait l'objet d'études. Ils ont développé des fonctions de rendement en matière de sécurité (FRS) pour différentes combinaisons de types de collisions et de nombres de voies de virage à gauche. Les auteurs ont constaté que les intersections avec voies doubles de virage à gauche connaissent une augmentation de 31,2 % des collisions totales lorsqu'on passe du mode 24 heures au mode FJC selon l'heure de la journée, tandis que les intersections avec une seule voie de virage à gauche voient une diminution de 60 % des collisions par l'arrière.
- Davis et al. (2015) ont élaboré des directives pour le département des Transports du Minnesota concernant l'utilisation des phases de virage à gauche autorisé selon l'heure de la journée qui peuvent bénéficier d'une FCJ. Un modèle statistique a été développé pour exprimer le risque de collisions lors de virages à gauche au cours à une heure donnée en fonction de la demande de virage à gauche, des débits de circulation en sens inverse, de la limite de vitesse en sens inverse et de l'obstruction de la distance de vue, et ce, pour une phase permissive ou protégée-permissive et avec l'utilisation de feux de circulation à FJC. Le modèle prenait en compte l'obstruction des lignes de vue pour un virage à gauche créé par la géométrie de l'intersection, évaluée à l'aide de distances longitudinales et de décalages latéraux entre l'approche en question et l'approche en sens inverse.
- Radwan et al. (2013) ont développé un modèle statistique fournissant des recommandations pour maintenir une phase de virage à gauche entièrement protégé ou pour passer à une phase de virage à gauche protégé-permissif (avec des indicateurs de FJC), basé sur plusieurs facteurs, y compris le

nombre de voies de circulation directe dans le sens inverse du virage à gauche. L'étude a intentionnellement combiné les effets de tous ces facteurs pour recommander le mode de virage à gauche et n'a pas identifié de directives pour l'utilisation de la phase protégée-permissive (FJC) uniquement en fonction du nombre de voies de circulation directe en sens inverse.

2.2.4 Activité piétonne et cycliste

- Nassereddine, et al. (2023) ont utilisé des vidéos pour évaluer les interactions entre les véhicules tournant à droite et les piétons aux emplacements munis de feux verts fixes ou de flèches jaunes clignotantes permettant les virages à droite. Les horodatages recueillis à des emplacements clés des véhicules et des piétons ont été documentés et utilisés pour calculer le temps requis par le conducteur pour effectuer un virage à droite, et le temps requis par le piéton pour atteindre le point de conflit potentiel. Des modèles de régression linéaire non probabilistes ont été créés pour décrire la relation entre la position du piéton et le temps requis par le véhicule pour terminer son virage à droite. Des temps de virage à droite plus longs ont été associés à un plus grand respect de la présence des piétons, ce qu'on a appelé l'indicateur de respect des piétons (IRP). Les résultats ont indiqué que les interactions contrôlées par des flèches jaunes clignotantes avaient des valeurs IRP plus élevées que celles contrôlées par un feu vert circulaire.
- Hurwitz, et al. (2018b) ont étudié la mise en place d'une FJC pour virage à droite permissif et protégé-permissif (VDPP) afin d'étudier la sécurité et l'efficacité opérationnelle de la mise en place de FJC sur les voies exclusives de virage à droite. Le modèle de microsimulation de plusieurs options de phase de VDPP en fonction de débits de circulation variables (volumes de véhicules tournant à droite, mouvements conflictuels de piétons et mouvements de véhicules tournant à gauche) a indiqué que les volumes de piétons avaient les plus grands effets sur les délais. Les auteurs suggèrent que la mise en place d'une FJC au lieu d'un feu vert circulaire fixe peut davantage inciter les conducteurs à céder le passage et améliorer la sécurité des piétons aux intersections signalisées ayant de forts volumes de virages à droite permissifs à partir de voies exclusives de virage à droite.
- Knodler, et al. (2006) ont examiné la compréhension des conducteurs et des piétons en ce qui concerne le feu à FJC dans une série d'évaluations de simulation de conduite dynamique et sur ordinateur, avec un total de 139 conducteurs et de 100 piétons dans 5 930 scénarios expérimentaux. Ils ont constaté qu'il existait un haut niveau de compréhension de la priorité de passage des piétons et que la reconnaissance de la priorité de passage des piétons n'était pas affectée négativement par la FJC. Les auteurs recommandent l'utilisation de feux à FJC aux intersections en T où les passages piétons sont fréquents.

2.2.5 Priorité au transport en commun

L'analyse documentaire n'a relevé aucune référence concernant l'utilisation de flèches jaunes clignotantes pour la priorité au transport en commun, en ce qui concerne la priorité au déplacement des autobus, la réduction des délais pour les passagers du transport en commun et l'amélioration de la fiabilité du service de transport en commun.

2.2.6 Infrastructures et entretien

- Le département des Transports de Virginie (VDOT) (2016) a mis à jour le supplément de la Virginie au MUTCD, révision 1 (2011 *Virginia Supplement to the MUTCD, Revision 1*) pour qu'il comprenne des

recommandations sur l'installation de feux à FJC à tous les virages à gauche uniquement permissifs et protégés-permissifs lorsqu'il existe une voie exclusive pour les virages à gauche. Les recommandations exigent également de proposer un feu de circulation à quatre sections pour les virages à gauche uniquement permissifs ou uniquement protégés, où il y a un potentiel de conversion future en virages à gauche protégés -permissifs. Le VDOT (2016) recommande l'utilisation du panneau indiquant de céder le passage en tournant à gauche sur flèche jaune clignotante à tous les emplacements où des flèches jaunes clignotantes sont installées.

- Chamber (2016) a mené une étude sur le terrain portant sur la transformation de feux de circulation traditionnels en flèches jaunes clignotantes à Glendale, en Arizona. L'étude comprenait six catégories : les intersections à nombre élevé d'accidents (priorité 1), la modification du feu de circulation uniquement (priorité 2), le remplacement du feu de circulation avec modifications du terre-plein central (priorité 3), le remplacement du feu de circulation et du bras du mât (priorité 4), le remplacement du feu de circulation, du poteau et du bras du mât (priorité 5), et les intersections où l'utilisation de la flèche jaune clignotante n'est pas recommandée (priorité 6). Pour se conformer aux normes du MUTCD, les données collectées comprenaient : le contrôle du feu de circulation pour virage à gauche, la longueur du bras du mât, le type et l'emplacement du poteau, le type de feu de circulation, la position latérale du feu de circulation, ainsi que la présence de feux, de boutons-poussoirs et de minuteries de compte à rebours pour piétons. Les exigences de distance de vue devaient être respectées, tout équipement sur le terre-plein central était indiqué, et la capacité du contrôleur devait répondre aux exigences pour que les intersections soient admissibles aux feux à flèches jaunes clignotantes. L'étude a fourni des estimations des coûts pour les différentes catégories de mise en place de FJC, en dollars américains de 2010.
- Jones, Foster et Bhagat (2023) ont évalué la sécurité et le rendement économique des 841 feux à FJC installés entre 2007 et 2021 dans le Missouri à l'aide d'une simple analyse avant-après. Ils ont estimé que les bénéfices du cycle de vie de l'installation des FJC à une intersection devraient être de cinq à 44 fois supérieurs au coût d'installation, selon la phase de virage à gauche utilisée avant et après l'installation de la FJC. Le ratio B/C le plus bas se rapportait au remplacement de la phase de virage à gauche uniquement permissif en phase FJC de virage à gauche protégé-permissif (VGPP-FJC) (ratio B/C de 5,4). Cependant ce scénario de phasage avait un échantillon réduit, et le résultat le plus élevé pour les installations FJC dont la phase de virage à gauche demeurait inchangée (c'est-à-dire ratio B/C de 39 pour la transformation d'une phase de virage à gauche uniquement permissif en une phase de virage à gauche uniquement permissif, et ratio B/C de 43,6 pour une transformation VGPP en VGPP-FJC). La transformation du phasage de protégé à FJC protégée-permissive a entraîné un ratio B/C négatif de 193 en raison de l'augmentation des collisions. L'analyse suppose une durée de vie de 10 ans des feux à FJC et un coût d'installation de 2 820 \$US par approche, sans prendre en compte les avantages potentiels des changements en matière de délais.
- Srinivasan et al. (2020), dans le cadre d'une étude de la FHWA, ont évalué la sécurité et le rendement économique des FJC en utilisant des données de collision provenant de 307 emplacements traités et 438 emplacements non traités de quatre États : Oklahoma, Oregon, Nevada et Caroline du Nord. Le rendement économique des FJC a été analysé pour cinq catégories de dispositifs :
 - Catégorie 1 : du VGPP traditionnel au VGPP-FJC sur une seule route (sur trois tronçons)
 - Catégorie 2 : du VGPP traditionnel au VGPP-FJC sur une seule route (sur quatre tronçons)
 - Catégorie 3 : du VGPP traditionnel au VGPP-FJC sur les deux routes

- Catégorie 4 : du VGPP permissif ou du VGPP traditionnel à une FJC permissive sur une seule route
- Catégorie 5 : du virage permissif à une FJC permissive sur une route

Le Tableau 3 indique les bénéfices économiques de la réduction des collisions et les ratios B/C connexes pour les catégories de dispositifs 1 à 5. On constate que les ratios moyens bénéfices-coûts varient de 56:1 à 144:1, basés sur un coût d'installation supposé de 6 000 \$ par tronçon d'approche et une durée de vie attendue de 10 ans. Le ratio B/C pour les conversions de phases uniquement protégées à un VGPP-FJC n'a pas été calculé en raison d'une augmentation des collisions liées aux virages à gauche.

Tableau 3 : Analyse économique (ratios B/C) de divers dispositifs FJC

Treatment Category	KABC Crash Reduction *	PDO Crash Reduction *	Economic Benefits from Crash Reduction *	Annualized Treatment Cost *	B/C Ratio Mean	B/C Ratio Min	B/C Ratio Max
1	0.30	0.27	\$72, 010	\$854	84:1	46:1	116:1
2	0.5	0.18	\$117,626	\$1,709	69:1	38:1	95:1
3	0.78	0.85	\$191,990	\$3,417	56:1	31:1	78:1
4	1.16	-1.12	\$245, 410	\$1,709	144:1	79:1	198:1
5	0.68	-0.08	\$152,535	\$1,709	89:1	49.1	123:1

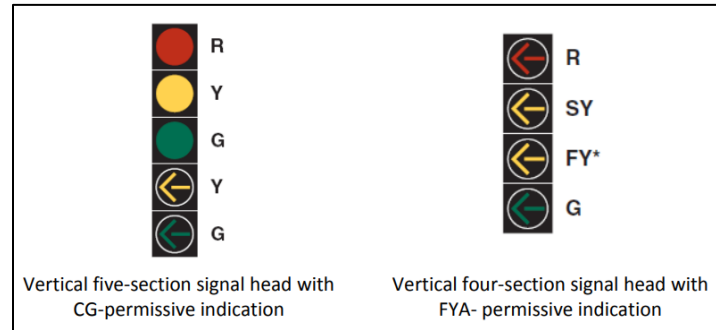
* Per intersection per year

Min = minimum; Max = maximum.

(FHWA, 2020; Srinivasan, et al., 2020)

- Schattler, Anderson et Hanson (2016) ont évalué l'efficacité du remplacement du feu vert circulaire de virage à gauche permissif pour la signalisation des VGPP sur un feu de circulation à cinq sections par une FJC pour le même intervalle, mais sur un feu de circulation à quatre sections, comme l'illustre la Figure 10, à 86 intersections à Peoria, en Illinois. Ils ont constaté que la mise en place des FJC produisait un rapport bénéfices-coûts de 19,8:1, en utilisant les coûts équivalents de 2010 et une durée de vie de 15 ans.

Figure 10: Feu de circulation vertical à cinq sections à feu vert circulaire et feu de circulation vertical à quatre sections à FJC



(Schattler, Rietgraf, Burdett, & Lorton, 2013)

2.3 Rendement opérationnel

Cette section présente une synthèse de la documentation sur l'impact opérationnel des flèches jaunes clignotantes sur le flux de la circulation et l'efficacité des intersections, notamment des informations relatives à la longueur des files de voitures, les délais, la capacité des intersections et la progression globale de la circulation avec ou sans les feux de circulation.

- Abou-Senna et al. (2023) ont développé une plateforme matérielle qui propose un dispositif générique compatible avec différents types de dispositifs de contrôle de la circulation et qui permet l'automatisation de la sélection des modes de virage à gauche à flèches jaunes clignotantes, en fonction des espacements disponibles dans la circulation en sens inverse, les données étant acquises en temps réel à partir de capteurs existants sur le terrain. Les feux de circulation à quatre sections à FJC offrent un mode variable pouvant changer les phases de virage à gauche à la demande, ce qui permet l'utilisation de la FJC en fonction des conditions de la circulation. Ils ont réalisé les essais sur le terrain et l'évaluation du système d'aide à la décision en basculant entre les modes de flèche rouge et de flèche jaune clignotantes de manière rationnelle et conforme aux attentes des conducteurs et aux seuils acceptables d'espacement pour virage à gauche. L'analyse a démontré que le facteur d'utilisation des recommandations du système d'aide à la décision pour les intersections variait de 65 % à 75 % pendant les heures de pointe en semaine, et entre 90 % et 95 % pendant les heures creuses et les fins de semaine. Le système d'aide à la décision a réduit les délais à toutes les intersections de 737 heures-véhicule à 440 heures-véhicule.
- Davis, Stern, Duhn et Gao (2023) ont mené une étude sur le terrain à neuf emplacements du Minnesota pour évaluer l'effet de l'installation d'un panneau indiquant de céder le passage en tournant à gauche avec une FJC et un feu de circulation vert circulaire sur le niveau d'acceptation de l'espacement par les conducteurs. En général, plus l'espacement essentiel est long, plus les conducteurs sont prudents lorsqu'ils décident d'effectuer un virage. Les auteurs ont constaté qu'aux emplacements où la vitesse est de 30 mi/h en sens inverse, en moyenne, le panneau supplémentaire augmente de manière significative l'espacement essentiel pour les FJC et les feux verts circulaires, avec des résultats similaires pour les FJC aux emplacements où la limite de vitesse est de 40 mi/h (par exemple, pour les FJC, le panneau augmenterait l'acceptation moyenne de l'espacement de 4,2 secondes à 5,2 secondes à 30 mi/h et de 4,9 secondes à 5,4 secondes à 40 mi/h). L'absence de

panneau entraînerait en général une acceptation d'espacements plus courts pour les FJC comparativement aux feux verts circulaires.

- Thapa, et al. (2022) ont évalué le fonctionnement de trois types de feux de virage à gauche, soit uniquement protégé, protégé-permissif et flèche jaune clignotante, à 28 intersections (72 approches) en Louisiane grâce à une analyse opérationnelle utilisant des données vidéo pour estimer les délais. L'analyse a montré un délai moyen de 50,69 secondes par véhicule aux feux uniquement protégés, de 46,04 secondes par véhicule aux feux protégés-permissifs, et de 31,49 secondes par véhicule aux feux à FJC. Le délai aux feux à flèches jaunes clignotantes était inférieur à celui des flèches pour virage uniquement protégé et pour virage protégé-permissif dans l'ensemble, cependant la taille de l'échantillon pour les flèches jaunes clignotantes était plus petite.
- Abou-Senna et al. (2021) ont développé un algorithme pour optimiser en toute sécurité les opérations de circulation en passant d'une flèche rouge à une flèche jaune clignotante en temps réel, en fonction de la vitesse minimale des véhicules dans la circulation en sens inverse, du nombre de voies à traverser, du nombre de cycles à analyser avant le changement. L'algorithme a calculé l'espacement entre véhicules pour chaque voie de manière indépendante par rapport à un seuil prédéterminé à partir des données recueillies sur le terrain sur 30 000 cycles grâce à cette recherche. L'algorithme a été testé à des intersections en Floride, et des données vidéo ont été recueillies pour capturer l'algorithme testé afin de valider les décisions de l'algorithme.
- Alfawzan (2019) a développé un outil d'aide à la décision par analyse de microsimulation pour prédire l'application efficace d'un feu à FJC de virage à droite permissif en utilisant un ensemble de variables paramétriques, notamment le flux de circulation faisant entrave, un intervalle de feu vert faisant entrave, la longueur du cycle et le volume de piétons. L'efficacité des phases de signalisation a été évaluée par le débit moyen maximal de virage à droite. Trois phases de feux à FJC de virage à droite ont été évaluées :
 - Virage à droite dans la circulation directe faisant entrave lorsque le véhicule tournant à droite est entravé par la circulation transversale et les passages de piétons
 - Virage à droite dans la circulation à gauche faisant entrave lorsque le véhicule tournant à droite est entravé uniquement par la circulation en sens inverse effectuant un virage à gauche
 - Virage à droite sur la voie directe adjacente lorsque le véhicule tournant à droite manœuvre simultanément avec la phase de feu vert de la voie adjacente et n'est entravé que par les passages de piétons

Alfawzan (2019) a constaté que la FJC de virage à droite dans la circulation directe faisant entrave est efficace et est fortement recommandée à un intervalle vert imminent de 40 secondes ou plus. Un panneau indiquant de céder le passage aux piétons a été fortement recommandé pour avertir les conducteurs tournant à droite de céder le passage aux piétons qui traversent en même temps que la circulation directe qui fait entrave.

La phase de la FJC de virage à droite dans la circulation à gauche qui fait entrave n'a été globalement efficace qu'à un intervalle faisant entrave de 45 secondes ou plus et s'est avérée inefficace à un intervalle de feu vert faisant entrave inférieur à 20 secondes.

Il a été constaté que le volume de piétons et la phase piétonne jouent un rôle important pour justifier une utilisation efficace de la phase de FJC de virage à droite sur la voie directe adjacente. Il a été

constaté qu'une phase de FJC de virage permissif était efficace à un intervalle total piéton faisant entrave de 25 secondes (c'est-à-dire un débit moyen maximal de virage à droite de trois véhicules ou plus par cycle) ou plus et peu efficace à un intervalle total piéton faisant entrave inférieur à 20 secondes (c'est-à-dire un débit moyen maximal de virage à droite de 2,1 à 2,9 véhicules par cycle).

- Panthangi (2019) a utilisé le VISSIM et le logiciel Surrogate Safety Assessment Model (SSAM) de la FHWA pour analyser la sécurité de différentes séquences de phase de virage à gauche : les feux à FJC et les VGPP à feux verts circulaires avec ou sans intervalle de dégagement entièrement rouge. Il a été constaté que l'introduction d'un intervalle de dégagement entièrement rouge entre les phases protégée et permissive (c'est-à-dire le début retardé de la FJC) a augmenté le délai moyen des véhicules, par exemple, de 27,8 à 29,3 secondes et de 25,1 à 29,9 secondes à deux emplacements différents.
- Hajbabaie, Sattarov et Mohebifard (2018) ont mené une simulation pour évaluer le rendement opérationnel du mode de contrôle variable de virage à gauche selon l'heure de la journée avec une flèche jaune clignotante (FJC), en alternant entre les phases permissive, uniquement protégée et protégée-permissive tout au long de la journée. Ils ont constaté que le mode variable permettait des flux de circulation plus efficaces et des délais moyens moins longs. Cependant, cela a également entraîné plus de confusion chez les conducteurs se trouvant face à une phase variable de signalisation selon l'heure de la journée. Une enquête de compréhension des conducteurs a d'ailleurs démontré qu'environ la moitié des conducteurs faisant face à une phase variable de virage à gauche pensaient se tromper. Les analyses statistiques de l'expérience de simulation (comprenant 4 050 observations au total) ont montré que le nombre de véhicules tournant à gauche et que le mode de signalisation de virage à gauche avaient le plus grand effet sur le délai aux intersections; un modèle a donc été développé pour sélectionner le meilleur mode de signalisation de virage à gauche basé sur la géométrie des intersections et le produit croisé du virage à gauche et des mouvements de circulation directe en sens inverse.
- Appiah et Cottrell (2014) ont mené une étude et une analyse de simulation évaluant l'effet sur la sécurité et le rendement opérationnel d'un délai optionnel au début d'une flèche jaune clignotante lors de la transition d'un mouvement protégé à un mouvement permissif de virage à gauche. Ils ont constaté que 71 % des administrations d'État qui ont répondu à l'enquête et qui utilisent les FJC retardent également le début des FJC. Cela se fait généralement par la mise en place d'une flèche rouge avant le début de la FJC. Les auteurs n'ont constaté aucun impact négatif significatif sur le délai moyen, la longueur moyenne de la file de voitures ou le délai moyen arrêté tant pour les véhicules tournant à gauche ou que pour ceux à l'intersection dans l'ensemble.
- Medina et al. (2018) indiquent que les opérations VGPP-FJC offrent une plus grande flexibilité pour améliorer les flux de circulation par rapport aux VGPP traditionnels. Par exemple, les FJC peuvent permettre à un nombre plus grand de véhicules de tourner à gauche lorsque le virage est permissif, car il suffit que les véhicules en sens inverse aient un feu vert. Alors qu'un VGPP traditionnel ne permet un virage à gauche permissif que lorsque les véhicules adjacents et les véhicules en sens inverse ont un feu vert. Ainsi, sous les mêmes exigences contradictoires, cet avantage opérationnel de la FJC peut améliorer la mobilité, mais il crée aussi davantage de conflits potentiels permissifs, et donc aussi de collisions (Medina, et al 2018).

2.4 Rendement en matière de sécurité

Cette section fournit une synthèse de la documentation portant sur le rendement en matière de sécurité des flèches jaunes clignotantes en fonction de leur effet sur les collisions et conflits, ainsi que de leur impact sur les usagers vulnérables de la route, y compris les facteurs de modification des collisions.

2.4.1 Effet sur les collisions

La documentation démontre que l'installation d'un feu de circulation à FJC a généralement eu un effet positif sur la sécurité, cependant, dans certaines situations, elle a entraîné une augmentation des collisions. (Gong & Yang, 2023). Le Tableau 4 présente un résumé des facteurs de modification des collisions (FMC) présents dans des publications clés pour l'installation d'une flèche jaune clignotante dans différents scénarios de phasage de virage à gauche, avec des résultats statistiquement significatifs (Jones, Foster, & Bhagat, 2023). Jones, Foster et Bhagat (2023) ont constaté que, de manière générale, l'installation d'une FJC, sans changement de phasage, entraînait des améliorations sur le plan de la sécurité avec des les FMC pour les collisions mortelles et avec blessures (CMB) allant de 0,75 à 0,86 pour le phasage de virage protégé-permissif et de 0,35 à 0,65 pour le phasage de virage permissif.

La documentation démontre également que l'installation d'un phasage de virage à gauche protégé à n'importe quel degré entraîne des améliorations sur le plan de la sécurité (Gong & Yang, 2023) et que le remplacement de la phase de virage permissif par une FJC de virage à gauche protégé-permissif entraîne des FMC pour les CMB allant de 0,6 à 0,97 (Jones, Foster, & Bhagat, 2023). Inversement, la documentation démontre que la suppression d'un feu de virage à gauche uniquement protégé et l'installation d'une phase de virage permissif entraînent une augmentation des collisions et que le remplacement d'une FJC pour virage uniquement protégée par une FJC de virage protégé-permissif entraîne des FMC pour les CMB allant de 3,19 à 4,78 (Jones, Foster, & Bhagat, 2023). Les études évaluant le rendement en matière de sécurité des feux à flèche jaune clignotante sont décrites plus en détail ci-dessous.

Tableau 4: Résumé des FMC de la documentation sur l'installation de feux de circulation à FJC pour différentes phases de virage à gauche (adapté de Jones, Foster & Bhagat, 2023)

Étude	FDR (Facteurs de modification des collisions)			
	PP → PP	PT → PP	PM → PP	PM → PM
Schattler, et al. (2016)	0,62 (KABCO)	S.O.		
Simpson et Troy (2015) ¹	0,84 (KABCO) / 0,75 (KABC)	3,68 (KABCO) / 4,78 (KABC)	0,60 (KABCO) / 0,60 (KABC)	0,50 (KABCO) / 0,35 (KABC)
Shea et Medina (2018) ¹	0,98 (KABCO)	S.O.		
Srinivasan, et al. (2020)	0,51 – 0,85 (KABCO) ²	S.O.		
Srinivasan, et al. (2011) ¹	0,81 (KABCO)	2,24 (KABCO)	0,64 (KABCO)	S.O.
Jones, et al., 2023	0,86 (KABC) / 0,82 (DMS)	3,19 (KABC) / 2,33 (DMS)	0,97 (KABC) / 0,24 (DMS)	0,64 (KABC) / 0,57 (DMS)

¹Les FDR sont calculés pour toutes les collisions de virage à gauche, et non seulement pour les collisions LTO (left-turn-opposing).

²Les FDR varient selon le nombre de branches à l'intersection et le nombre d'approches où la flèche jaune clignotante (FJC) est installée.

Note : • PP – protégé-permissif • PT – protégé seulement • PM – permissif seulement • DMS – dommages matériels seulement (équivalent de O – property damage only)

- La FHWA a mené une étude complète (Srinivasan et al., 2020) évaluant le rendement en matière de sécurité des FJC en utilisant des données sur les collisions provenant de 307 emplacements traités et de 438 emplacements non traités de quatre États : Oklahoma, Oregon, Nevada et Caroline du Nord. Cette étude a tenu compte des différents systèmes de phases avant-après, du nombre de routes avec des installations de FJC, et du nombre de tronçons à chaque intersection. On a analysé six types différents d'accidents (totales, collisions mortelles et avec blessures - CMB, collisions par l'arrière, collisions en angle, collisions lors de virages à gauche et de virages à gauche avec circulation directe en sens inverse) pour sept catégories de traitement différentes :
 - Catégorie 1 : d'un VGPP traditionnel à un VGPP-FJC sur une seule route (sur trois tronçons)
 - Catégorie 2 : d'un VGPP traditionnel à un VGPP-FJC sur une seule route (sur quatre tronçons)
 - Catégorie 3 : d'un VGPP traditionnel à un VGPP-FJC sur les deux routes
 - Catégorie 4 : d'un VGPP permissif ou traditionnel à une FJC permissive sur une seule route
 - Catégorie 5 : d'un virage permissif à une FJC permissive sur une route
 - Catégorie 6 : d'au moins une phase protégée à un VGPP-FJC sans adaptation à l'heure de la journée
 - Catégorie 7 : d'au moins une phase protégée à un VGPP-FJC avec adaptations à l'heure de la journée

En général, il a été constaté que l'installation d'une FJC entraîne une réduction des collisions lors de virages à gauche s'il ne s'agit pas du remplacement d'une phase de virage à gauche entièrement protégé. Les catégories de traitement portant sur les phases permissives ou protégées-permissives durant la période précédente ont connu une réduction des collisions examinées dans l'étude, des collisions de véhicules tournant à gauche et des collisions de véhicules tournant à gauche avec la

circulation directe en sens inverse. Le Tableau 5 illustre que les FMC statistiquement significatifs pour les six catégories de traitement, car la catégorie 7 n'a pas donné de résultats statistiquement significatifs. L'installation d'une FJC a entraîné une réduction des collisions étant les principales cibles (virages à gauche-VG; virages à gauche et circulation directe en sens inverse-VGCDI) allant de 15 à 50 % selon la catégorie de traitement. Par exemple, le remplacement d'un VGPP par un VGPP-FJC a entraîné une diminution de 19 % des collisions lors des virages à gauche. Le nombre total de collisions a été réduit de 11 à 18 %, selon la catégorie de traitement.

Le remplacement d'une phase protégée par un VGPP-FJC (catégories 6 et 7) a entraîné une augmentation des collisions VG et VGCDI, la catégorie 6 (sans adaptation à l'heure de la journée) montrant une augmentation statistiquement significative des collisions VG et VGCDI allant de 55 à 91 %.

Tableau 5 : Facteurs de modification des collisions pour différents niveaux de gravité des collisions et différentes catégories de conversion à la FJC

Recommended CMFs						
Crash Type	Category 1	Category 2	Category 3	Category 4	Category 5	Category 6
Total	0.849	0.889	0.818	–	–	–
KABC	0.791	0.801	0.782	0.808	0.787	–
RE	–	0.884	–	–	–	–
ANG	–	–	–	–	–	–
LT	–	0.746	0.624	0.729	0.612	1.551
LTOT	–	0.615	0.507	0.733	0.548	1.910

– No Data.

(Adapté de la FHWA, 2020)

- La ville de Chandler, en Arizona (2024), est en train de remplacer toutes ses flèches de virage à gauche par des feux de circulation quadruples à flèche jaune clignotante (FJC), et elle a analysé trois ans de données de collision avant et après chaque installation de feux quadruples à FJC. À ce jour, elle a constaté qu'en moyenne, les collisions de VG et le total des collisions aux intersections ont diminué de 22 % après l'installation de FJC.
- Lee, Cunningham et Simpson (2023) ont évalué le rendement en matière de sécurité du remplacement d'un virage à gauche uniquement protégé par un virage à gauche protégé-permissif à FJC (VGPP-FJC) avec adaptations selon l'heure de la journée grâce à une étude observationnelle avant-après. Ils ont constaté que pour une journée complète d'exploitation, ce remplacement avait entraîné une légère augmentation du nombre total de collisions et des changements significatifs des collisions ciblées (c'est-à-dire une augmentation des collisions lors de virages à gauche sur la même chaussée et une diminution des collisions par l'arrière). Ces résultats démontrent qu'un compromis s'était établi entre les collisions de virage à gauche sur la même chaussée et les collisions par l'arrière après le remplacement du feu. De plus, l'utilisation du VGPP-FJC à des moments précis de la journée a entraîné un nombre significativement plus élevé de collisions sur la même chaussée par rapport à l'utilisation permanente de la phase de VGPP-FJC. Les auteurs suggèrent donc que les ingénieurs pourraient prolonger davantage l'utilisation de la phase uniquement protégée en périphérie des périodes de pointe afin de réduire l'augmentation des collisions liées aux virages à gauche.

- Jones, Foster et Bhagat (2023) ont évalué le rendement en matière de sécurité des feux à FJC installés entre 2007 et 2021 sur 841 approches en milieu urbain et rural du Missouri, en utilisant une simple analyse avant-après. Ils ont constaté que l'utilisation des FJC réduisait les collisions mortelles et avec blessures (CMB) des VGCDI d'environ 14 % et les collisions avec dommages matériels (CDM) seulement des VGCDI d'environ 18 %, aux emplacements équipés de contrôles de phase de virage gauche protégé-permissif avant et après l'installation des FJC. L'étude a révélé que le remplacement d'une phase de VG uniquement permissif par une phase de VG protégé-permissif avec FJC n'entraînait qu'une réduction de 3 % des CMB, mais une réduction de 76 % des CDM. Toutefois, cette étude ne reposait que sur un petit échantillon de sept intersections. Ils ont également constaté que les bénéfices en matière de sécurité de l'utilisation d'une FJC ne sont pas suffisamment significatifs pour compenser les impacts négatifs du remplacement d'une approche avec virage à gauche uniquement protégé par une phase de VGPP-FJC (FMC = 2,33).
- Zhang, Li et Wu (2023) ont évalué le rendement en matière de sécurité des FJC sur les voies de virage à gauche simple et double pour différents types d'exploitation : 24 heures sur 24, selon l'heure de la journée, et de 24 heures à l'heure de la journée. Ils ont constaté que les intersections avec une voie de virage à gauche simple ou double, ayant des FJC utilisées 24 heures sur 24 et selon l'heure de la journée réduisent les collisions de 8,7 à 50 %. Cependant, les intersections à voies de virage à gauche doubles ont affiché une augmentation de 31,2 % du total des collisions lorsque les FJC utilisées 24 heures sur 24 sont remplacées par des FJC utilisées selon l'heure de la journée, tandis que les intersections à une seule voie à gauche ont affiché une diminution de 60 % des collisions par l'arrière.
- Chen (2023) a évalué l'efficacité en matière de sécurité des indications à flèches jaunes clignotantes mises en place aux virages à gauche protégés-permissifs (VGPP) à cinq intersections signalisées dans la ville de Rancho Cucamonga, en Californie. L'auteur a utilisé la méthode du théorème de proportionnalité de base pour comparer le nombre réel de collisions à cinq intersections au nombre prédit de collisions en se basant sur des facteurs mesurables tels que le DJMA, la limite de vitesse et le nombre de voies. L'analyse a révélé une amélioration de la sécurité à chaque intersection, ce qui suggère que les flèches jaunes clignotantes contribuent à réduire les collisions qui surviennent.
- Thapa et al. (2022) ont évalué la sécurité de trois types de feux de virage à gauche : virage uniquement protégé, virage protégé-permissif et flèche jaune clignotante, à 166 intersections en Louisiane dans le cadre d'une analyse des collisions. L'analyse a démontré que les collisions aux virages à gauche protégés-permissifs étaient presque deux fois plus élevées que celles aux intersections à flèches jaunes clignotantes (respectivement 2,29, 1,20 et 1,11 collisions par intersection par an). Une comparaison avant-après pour les intersections à FJC a montré que les collisions aux virages à gauche ont diminué de 17,73 %.
- Tainter et al. (2021) ont mené une étude avant-après sur 350 feux de virage à gauche protégé-permissif convertis en flèches jaunes clignotantes à travers le Massachusetts. Cette étude comprenait une analyse coûts-avantages évaluant les avantages économiques de l'installation de FJC à trois types différents d'intersections à FJC : trois voies à une FJC, quatre voies à une FJC, et quatre voies à deux FJC ou plus. Les collisions ont été analysées par an à l'aide de l'échelle des blessures CMB de la FHWA, le coût économique par blessure étant calculé à l'aide des coûts ajustés de la FHWA du Massachusetts. En utilisant les coûts ajustés de la FHWA, les intersections à trois voies à FJC ont donné la plus grande fourchette de rapport coûts-avantages, de 180:1 à 22:1. Les intersections à quatre voies à plusieurs approches à FJC donnaient la plus petite fourchette (22:1 à 3:1). Sur la base des résultats, les auteurs suggèrent que les flèches jaunes clignotantes devraient être mises en place

à grande échelle, quel que soit le type d'intersection, car elles réduisent le nombre annuel moyen de collisions avec blessés et entraînent un coût économique plus faible des blessures pour les trois types de traitement.

- Panthangi (2019) a utilisé le système VISSIM et le logiciel SSAM (Surrogate Safety Assessment Model) de la FHWA pour analyser la sécurité de différentes séquences de phase de virage à gauche : les FJC et les feux verts circulaires de VGPP avec ou sans intervalle de dégagement entièrement rouge. Il a été constaté que moins de conflits survenaient lorsque le feu vert circulaire d'une intersection était remplacé par une FJC avec un intervalle de dégagement entièrement rouge entre les phases protégée et permissive (c'est-à-dire lorsque la FJC est retardée).
- Medina, Shea et Azra (2018) ont évalué le rendement en matière de sécurité de diverses conversions de feux et phases de virage à gauche de l'Utah, y compris à 74 approches à FJC. Ils ont constaté qu'au final, la FJC et la phase permissive traditionnelle présentaient des rendements annuels similaires en matière de collision, tandis que la FJC avait un taux de collision plus élevé que la phase de VGPP, avec un FMC de 1,33. Ils ont également constaté un changement dans la distribution des collisions avec l'installation d'une FJC, alors qu'une concentration plus élevée de collisions survenait dans les heures précédant les heures de pointe de l'après-midi (14 h – 16 h), ce qui laisse entendre que les stratégies opérationnelles des heures de pointe pourraient être étendues aux heures creuses.

Certaines intersections de l'Utah avaient un virage à gauche décalé, ce qui a créé des problèmes de sécurité pour l'exploitation des FJC. Depuis, le DOT de l'Utah a retiré toutes les phases de virage à gauche décalées pour l'exploitation des FJC et a installé un panneau supplémentaire indiquant que le virage à gauche est autorisé sur la FJC.

- Hajbabaie, Sattarov et Mohebifard (2018) ont constaté que la documentation démontre que le remplacement d'un virage à gauche uniquement protégé par un virage à gauche protégé-permissif (VGPP) à l'aide d'une flèche jaune clignotante (FJC) est associé à une augmentation des taux de collision, mais qu'il réduit le délai aux intersections. Cependant, comparativement aux feux de circulation en niche (c'est-à-dire les feux verts fixes de virage à gauche permissif), les feux verticaux à quatre sections à FJC sont associés à des FMC plus faibles, moins de confusion chez les conducteurs et une réduction des délais.
- King, et al. (2018) ont examiné le rendement en matière de sécurité du remplacement des feux de virage à gauche par (1) un feu vert circulaire à une flèche jaune clignotante pour la partie permissive du virage à gauche protégé-permissif (VGPP), et (2) un virage à gauche uniquement protégé à une flèche jaune clignotante de virage protégé-permissif (VPP-FJC) à 28 intersections en Virginie. Ils ont constaté que le premier scénario de remplacement (d'un VGPP à un VGPP-FJC) devait entraîner une réduction de 12 % du total des collisions, une réduction de 14 % des collisions mortelles et avec blessures, et une réduction de 30 % des collisions en angle, ce qui est cohérent avec d'autres études montrant que la FJC est mieux comprise que le feu vert circulaire traditionnel pour la partie permissive de la phase de VGPP. D'après des études antérieures, ils constatent que la réduction des collisions peut dans la plupart des cas compenser le coût de remplacement du feu de circulation.

King et al. (2018) ont également développé des modèles prévisionnels de simulation pour prédire la capacité et les conflits (c'est-à-dire le risque pour la sécurité) des modes de contrôle de virage uniquement permissif et de VGPP. Les variables prédictives et d'entrée des modèles se sont révélées être différentes pour la synchronisation des feux, le débit de circulation et les paramètres des caractéristiques des intersections pour chaque heure de la journée. On considère que ce modèle est

un outil d'aide à la décision qui permet aux spécialistes de faire un choix optimal quant au mode de contrôle du virage à gauche tout au long d'une journée.

- En 2020, le département des Transports de l'Illinois a mis en place la flèche jaune clignotante (FJC) à plus de 100 intersections, et celles-ci fonctionnent avec une phase de VGPP. Schattler, Anderson et Hanson (2016) ont évalué l'efficacité liée au remplacement du feu vert circulaire pour les virages à gauche permissifs pour la signalisation des VGPP à feu de circulation à cinq sections par une FJC pour le même intervalle, mais avec un feu de circulation à quatre sections sur 164 approches à 86 intersections, en utilisant à la fois la méthode naïve avant-après et la méthode empirique de Bayes. Des panneaux de signalisation supplémentaires indiquant de céder le passage en tournant à gauche sur flèche jaune clignotante ont également été installés à côté de plus de la moitié des FJC.
- Schattler et al. (2016) ont constaté que le remplacement des FJC entraînait une réduction de 23,3 % des collisions liées aux virages à gauche et une réduction de 24,8 % des collisions entre véhicules effectuant un virage à gauche avec la circulation directe en sens inverse (VGCDI), avec des réductions encore plus importantes lorsque des panneaux supplémentaires étaient également installés. Aux 90 approches à FJC avec panneaux supplémentaires, une réduction significative de 31,9 % et 30,9 % a été observée pour les collisions VG et VGCDI, respectivement. Ils ont également constaté une réduction statistiquement significative des deux types de collisions chez les jeunes conducteurs (âgés de 16 à 21 ans), avec une réduction de 36,1 % des collisions VGCDI chez les plus jeunes contre 24,8 % chez l'ensemble des conducteurs. Cette constatation suggère que les FJC sont particulièrement utiles pour les jeunes conducteurs qui décident d'effectuer un virage à gauche aux intersections signalisées par un VGPP.
- Simpson et Troy (2015) ont développé des facteurs de modification des collisions (FMC) pour la mise en place de FJC dans différents scénarios en analysant les données de collision de 222 intersections en Caroline du Nord. Les scénarios de conversion et les résultats des conversions étaient les suivants :
 - Catégorie 1 – Virages uniquement permissifs à VGPP-FJC : l'application exclusive aux intersections a entraîné une réduction de 7 % du total des collisions, de 35 % des collisions avec blessures et de 26 % des collisions ciblées. Pour les 42 tronçons traités, une réduction de 40 % des collisions ciblées a été constatée.
 - Catégorie 2 – Virages uniquement protégés à VGPP-FJC : l'application exclusive aux intersections a entraîné une augmentation de 12 % du total des collisions, une augmentation de 21 % des collisions avec blessures et une augmentation de 244 % des collisions ciblées. Pour les 49 tronçons traités, une augmentation de 268 % des collisions ciblées a été observée.
 - Catégorie 2A – Virages uniquement protégés à VGPP-FJC selon l'heure de la journée : les emplacements avec variations selon l'heure de la journée prévoyaient le fonctionnement de la FJC pendant les heures creuses (21 h à 6 h) et prévoyaient une phase entièrement protégée le reste de la journée. L'application exclusive aux intersections a entraîné une réduction de 10 % du total des collisions, une réduction de 7 % des collisions avec blessures et une augmentation de 173 % des collisions ciblées. Pour les 34 tronçons traités, une augmentation de 173 % des collisions ciblées a été observée. Les auteurs suggèrent qu'il pourrait y avoir des avantages à utiliser des FJC adaptées à l'heure de la journée à des emplacements où les collisions ciblées surviennent à des heures précises et qu'un mode de virage à gauche entièrement protégé pourrait fonctionner pendant les périodes auxquelles les collisions sont les plus fréquentes.

- Catégorie 3 - VGPP de feu en niche à cinq sections à VGPP-FJC : l'application exclusive aux intersections a entraîné une réduction de 7 % du total des collisions, une réduction de 15 % des collisions avec blessures et une réduction de 22 % des collisions ciblées. Pour les 124 tronçons traités, une réduction de 16 % des collisions ciblées a été constatée.
- Catégorie 4 – Virages uniquement permissifs à virages uniquement permissifs à FJC : l'application exclusive aux intersections a entraîné une réduction de 11 % du total des collisions, une réduction de 31 % des collisions avec blessures et une réduction de 59 % des collisions ciblées. Pour les 64 tronçons traités, une réduction de 50 % des collisions ciblées a été constatée.

Pour les catégories 3 et 4, on propose exclusivement des modifications des feux de virage à gauche, sans modification de la phase. On a constaté une réduction statistiquement significative des collisions de virages à gauche ciblées et des collisions avec blessures lorsque le feu vert circulaire est remplacé par une FJC pour les virages à gauche permissifs et lorsque le phasage reste inchangé, peu importe si le phasage de virage à gauche est protégé-permissif ou uniquement permissif (c'est-à-dire pour les catégories 3 et 4). Les résultats des catégories 1, 2 et 2A étaient moins déterminants, ce qui suggère une variabilité du rendement et la nécessité d'examiner un échantillon de plus grande taille.

- Schattler et al. (2015) ont comparé des collisions à 90 approches à FJC avec un panneau de signalisation supplémentaire indiquant de céder le passage en tournant à gauche sur flèche jaune clignotante et à 74 approches à FJC sans ce panneau. Ils ont constaté que la présence du panneau entraînait une réduction plus importante des collisions que lorsque ce panneau était absent. Ils ont également constaté que les conducteurs plus âgés (65 ans et plus) n'affichaient pas la même réduction des collisions que l'ensemble des conducteurs. Les auteurs suggèrent que l'installation de panneaux supplémentaires et que la sensibilisation du public sur la nouvelle signalisation pourraient améliorer la sécurité de l'intersection signalisée.
- Appiah et Cottrell (2014) ont mené une analyse de simulation évaluant l'effet en matière de sécurité et de rendement lié à l'ajout d'un délai optionnel au début de la flèche jaune clignotante en affichant une flèche rouge lorsqu'un virage à gauche à flèche verte fait place à une FJC de virage à gauche permissif. Ils ont constaté que ce délai produisait des bénéfices significatifs en matière de sécurité, sauf lorsque la circulation en sens inverse était faible. Grâce à une enquête auprès des administrations d'État, ils ont également constaté que l'utilisation d'une flèche rouge pour retarder le début de la FJC était perçue comme bénéfique en matière de sécurité par la majorité des administrations interrogées.
- Pulugurtha et al. (2012) ont mené une étude avant-après à six intersections de la ville de Charlotte, en Caroline du Nord, en effectuant une évaluation à l'aide de la méthode empirique de Bayes. Les résultats de la méthode empirique de Bayes ont indiqué que le nombre de collisions aurait généralement augmenté si des FJC n'avaient pas été installées dans le deuxième scénario (après).
- Sur la base de la collecte et de l'analyse de données réalisées à plus de 50 intersections après la mise en place d'une flèche jaune clignotante (FJC) de virage à gauche uniquement permissif, Noyce, Bergh et Chapman (2007) ont conclu que lorsque la phase de virage à gauche protégé-permissif faisait place à une FJC de virage à gauche permissif avait amélioré le rendement en matière de sécurité (diminution significative des collisions). En revanche, la sécurité n'a pas été améliorée lorsqu'une phase de virage à gauche uniquement protégée avait été remplacée par une FJC comprenant une phase de virage à gauche protégé-permissif.

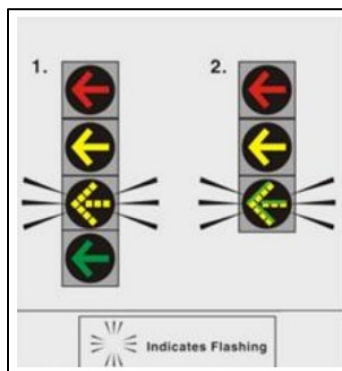
- Noyce et al. (2007) ont évalué la capacité des flèches jaunes clignotantes à améliorer la sécurité en ce qui concerne les résultats en matière de collisions. Les résultats de l'analyse des collisions ont été interprétés en fonction du phasage des feux, des débits de circulation, des limites de vitesse affichées et de la géométrie des intersections. Cinquante intersections où des flèches jaunes clignotantes ont été installées ont été analysées dans le cadre d'une étude avant-après. Les résultats ont montré que la sécurité avait été améliorée aux intersections ayant une phase de virage protégé-permissif avant la mise en place de flèches jaunes clignotantes ayant une phase uniquement permissive. La sécurité n'a pas été améliorée aux intersections ayant une phase uniquement protégée avant la mise en place de flèches jaunes clignotantes ayant une phase protégée-permissive.

2.4.2 Conflits entre piétons et cyclistes

- Kothuri, Monsere, Jashami & Hurwitz (2020) ont mené une enquête en ligne axée sur le niveau de compréhension des conducteurs titulaires d'un permis relativement aux divers types feux de virage à droite, y compris les FJC. La principale observation tirée de cette enquête concernant les FJC est que 20 % des répondants ont indiqué à tort qu'ils s'arrêteraient avant de tourner à droite sur une FJC, tandis que 25 % ont déclaré à tort avoir la priorité pour effectuer un virage à droite et n'ont pas tenu compte de la nécessité de céder le passage dans leur compréhension du feu vert circulaire. Les auteurs estiment que, bien qu'une partie des réponses concernant les virages à droite sur FJC soit incorrecte puisque les répondants effectueraient un arrêt avant de tourner, ce comportement améliore la sécurité des piétons.
- Cunningham et al. (2020) ont analysé les données de 10 emplacements où des flèches jaunes clignotantes de virage à droite ont été installées et 14 emplacements où des feux avec intervalles de passage prioritaires pour piétons ont été installés. Ces emplacements étaient tous séparés (c'est-à-dire qu'aucune flèche jaune clignotante de virage à droite n'était située au même endroit qu'un feu avec intervalle de passage prioritaire pour piétons, et les données étaient collectées après l'installation, donc les données avant-après n'étaient pas disponibles). On a donc mis fin au projet prématurément. L'étude a montré que les intervalles de passage prioritaire pour piétons étaient plus efficaces pour le passage prioritaire des piétons que les flèches jaunes clignotantes de virage à droite, soit 84 % contre 49 %. Cependant, la comparaison des taux de passage prioritaire peut afficher certaines lacunes en raison de la nature des données collectées. L'étude n'a également trouvé aucune différence concernant les taux de passage prioritaire pour les configurations de voie de virage à droite simple ou double, cependant la taille des échantillons était relativement petite.
- En utilisant le simulateur de conduite de l'Université de l'Oregon, l'étude Tuss (2020) a évalué l'impact de différentes variables (nombre de piétons, volumes de véhicules en sens inverse, type de configuration de feux) sur la capacité du conducteur à percevoir les piétons, en se basant sur la durée de fixation oculaire du conducteur. Les résultats suggèrent que pour une situation donnée (trois véhicules en sens inverse), les conducteurs concentrent davantage leur attention sur les piétons qui traversent la route lorsqu'ils sont confrontés à une FJC verticale à 4 sections du MUTCD (durée moyenne totale de fixation de 1,6 seconde) que lorsqu'ils sont confrontés à une FJC à 3 sections (durée moyenne totale de fixation de 0,9 seconde).
- Hurwitz et al. (2013) ont mené une étude basée sur un simulateur pour suivre les mouvements oculaires des participants en interaction avec des piétons aux intersections à flèches jaunes clignotantes, lorsque des feux à FJC doubles à trois sections et des feux à FJC à quatre sections étaient utilisés. Le simulateur avait 24 combinaisons de scénarios, incluant des scénarios avec zéro, trois et

neuf véhicules en approche, des piétons s'approchant du véhicule, s'éloignant du véhicule ou se déplaçant des deux côtés, et des feux à FJC à trois et quatre sections, comme l'illustre la Figure 11. L'étude a utilisé des tests statistiques et a révélé que de 4 à 7 % des conducteurs ne fixent pas les piétons sur les passages piétons conflictuels, qu'il n'y avait aucune différence statistique dans les durées de fixation oculaire entre les feux à trois ou quatre sections et que les flèches jaunes clignotantes peuvent nécessiter une signalisation supplémentaire dans les zones piétonnes fortement achalandées. Les jeunes conducteurs étaient surreprésentés dans les données utilisées dans cette recherche et les résultats pourraient être différents avec un échantillon de plus grande taille.

Figure 11 : Configurations des feux à FJC à quatre et trois sections



(Hurwitz & Monsere, *Driver Behavior in the Presence of Pedestrians at Signalized Intersections Operating the Flashing Yellow Arrow*, 2013)

- Aucune documentation n'a été trouvée sur l'effet des feux à FJC sur la sécurité des cyclistes.

2.5 Compréhension des usagers et conformité à la réglementation

Cette section présente une synthèse de la documentation portant sur le niveau de compréhension et le comportement des conducteurs ainsi que sur le comportement des piétons et des cyclistes en ce qui concerne un nouveau dispositif de signalisation, ainsi que sur la nécessité de sensibiliser le public à ce nouveau dispositif.

- Des chercheurs de l'Université du Minnesota ont mené une enquête en ligne pour examiner le niveau de compréhension des conducteurs concernant les flèches jaunes clignotantes, avec ou sans panneau indiquant de céder le passage en tournant à gauche sur flèche jaune clignotante (Koch, 2024; Davis, Stern, Duhn, & Gao, 2023). L'enquête comptait 480 répondants et a révélé que presque tous les participants semblaient comprendre la FJC (90 % des répondants ne s'étant pas identifiés comme professionnels des transports ont correctement interprété la FJC), et que le niveau de compréhension des usagers augmentait de deux points de pourcentage (de 94 % à 96 %) lorsque le panneau indiquant de céder le passage en tournant à gauche était présent.

Les chercheurs ont également mené une étude sur le terrain à neuf intersections des Twin Cities pour évaluer l'acceptation des espacements entre véhicules. Ils ont constaté qu'en moyenne, les conducteurs attendaient un espacement plus grand avec des feux verts circulaires fixes, comparativement aux espacements attendus avec des flèches jaunes clignotantes. Ils ont également

constaté qu'en moyenne, les espacements critiques étaient significativement plus longs aux emplacements où des panneaux supplémentaires indiquant de céder le passage étaient présents (pour les feux verts circulaires et les feux à FJC), alors que l'installation d'un panneau avec la FJC entraînait une augmentation de l'espacement critique similaire à celui de l'espacement à un feu vert circulaire.

- Tainter et al. (2020) ont étudié le lien entre la synchronisation et la conception des feux traditionnels et les facteurs humains à l'aide d'une enquête informatisée et d'une étude sur le terrain pour déterminer les niveaux de compréhension des usagers concernant les flèches jaunes clignotantes et les feux verts circulaires de virage à gauche. Les résultats de l'enquête ont démontré des niveaux de compréhension similaires entre la flèche jaune clignotante et les feux verts circulaires. L'évaluation sur le terrain a donné des résultats similaires, cependant les conducteurs semblaient créer moins de conflits potentiels en présence d'un intervalle de dégagement entièrement rouge entre les phases protégée et permissive.
- Kothuri, Monsere, Jashami & Hurwitz (2020) ont mené une enquête en ligne axée sur le niveau de compréhension des conducteurs titulaires d'un permis concernant divers types de feux de virage à droite, y compris la FJC, en Oregon. Les résultats ont montré que la plupart des répondants (76 %) comprenaient les FJC de virage à droite, et qu'ils comprenaient mieux qu'ils devaient céder le passage à la FJC pour les virages à droite permissifs que lorsqu'ils étaient en présence d'un feu vert circulaire, 25 % des répondants indiquant qu'ils avaient la priorité sans indiquer qu'ils devaient le passage en présence d'un feu vert circulaire.
- Jashami et al. (2019) ont évalué le niveau de compréhension des conducteurs concernant les feux de virage à droite en se concentrant sur les flèches jaunes clignotantes dans un simulateur de conduite en Oregon. Le simulateur a été utilisé pour 46 participants et 16 scénarios expérimentaux. Les chercheurs ont utilisé un modèle factoriel contrebalancé pour étudier trois variables indépendantes : le type de feu de signalisation et l'affichage actif, la longueur de la baie de virage à droite et la présence de piétons. Ils ont ainsi évalué la prise de décision des conducteurs et leur attention visuelle. Un modèle par probits ordonnés à effets mixtes et un modèle mixte linéaire mixte ont été utilisés pour examiner les données collectées. Les résultats ont montré que lorsqu'une flèche jaune clignotante était présentée aux conducteurs, ils comprenaient mieux que le virage à droite était permissif. Lorsque des piétons étaient présents pendant une phase de flèche jaune clignotante, presque tous les conducteurs faisaient preuve de prudence, cédaient le passage aux piétons et s'arrêtaient quand cela était nécessaire. Lorsque la même manœuvre était présentée pendant une phase de feu vert circulaire, les conducteurs étaient moins susceptibles d'adopter le comportement correct.
- Jashami (2020) a poursuivi l'étude de Jashami et al. (2019) en ajoutant huit scénarios supplémentaires et une durée totale de fixation oculaire sur différents points d'intérêt. La durée moyenne totale de la fixation oculaire du feu de signalisation était nettement plus élevée lorsque les conducteurs tournaient à droite sur un feu jaune clignotant comparativement au feu vert circulaire. Cette durée plus longue indique que les conducteurs effectuent une recherche visuelle plus rigoureuse et sont plus aptes à céder le passage, ce qui améliore la sécurité des piétons.
- Panthangi (2019) a utilisé le système VISSIM et le logiciel SSAM (Surrogate Safety Assessment Model) de la FHWA pour analyser la sécurité liée à diverses séquences de phase de virage à gauche. Les résultats leur ont permis de conclure que moins de conflits surviennent lorsque la séquence de phase

de virage à gauche à une intersection passe du feu vert circulaire à la flèche jaune clignotante (FJC) et qu'un intervalle de dégagement entièrement rouge est introduit entre les phases protégée et permissive. De plus, ils ont constaté que le remplacement d'une séquence de phase de virage à gauche avec feu vert circulaire par une séquence avec FJC réduit le nombre total d'accidents et a très peu d'effets négatifs sur le rendement de cette intersection.

- Ryan et al. (2019) ont réalisé une évaluation en deux étapes du comportement des conducteurs concernant les flèches jaunes clignotantes et le passage prioritaire des piétons aux virages à droite. L'évaluation comprenait une enquête statique auprès de plus de 200 répondants et des scénarios de virage à droite simulés avec divers volumes de piétons, dont la moitié comportait des flèches jaunes clignotantes, avec 144 participants. Les résultats ont montré que les conducteurs comprenaient parfaitement les flèches jaunes clignotantes, car ils ne se comportaient pas de manière imprudente lorsqu'ils voyaient des FJC dans la simulation.
- Hurwitz et al. (2018a) ont mené des recherches comprenant une enquête et une étude sur simulateur auprès de conducteurs de l'Oregon pour évaluer le niveau de compréhension lié aux flèches jaunes clignotantes dans le contexte des virages à droite. L'enquête a fait l'objet de 399 réponses et a révélé que les conducteurs comprennent bien les feux circulaires verts et les flèches jaunes clignotantes. Cependant, les flèches jaunes clignotantes donnaient lieu à un plus grand nombre de réponses incorrectes, puisque les conducteurs indiquaient qu'ils croyaient devoir s'arrêter, tandis que les feux verts circulaires donnaient lieu à un plus grand nombre de réponses partiellement correctes, puisque certains répondants omettaient de mentionner le passage prioritaire des piétons. Le simulateur de conduite a produit des résultats utilisables pour 46 participants et des résultats cohérents ont été obtenus avec l'enquête en ce qui concerne les feux verts circulaires et les flèches jaunes clignotantes.
- Hajbabaie, Sattarov et Mohebifard (2018) ont mené une simulation et une enquête de compréhension auprès des conducteurs de l'État de Washington pour évaluer le rendement des conducteurs concernant les feux de virage à gauche en niche par rapport aux feux verticaux à quatre sections à FJC, ainsi qu'un mode de contrôle variable de virage à gauche à FJC selon l'heure de la journée. L'enquête a révélé que le niveau de compréhension était similaire pour les deux types de signalisation, la plupart des conducteurs ne ressentant pas de confusion, tandis qu'environ 40 % ressentant un peu de confusion dans les deux scénarios. Cependant, la plupart des conducteurs préféraient voir le feu vertical à quatre sections à FJC pour transmettre le signal de virage à gauche.

Ils ont également constaté que la moitié des conducteurs faisant face à des modes de contrôle variables de virage à gauche étaient confus quant à la stratégie de phasage. Cependant, l'analyse basée sur la simulation a montré que le remplacement du mode de contrôle de virage à gauche selon l'heure de la journée améliorerait les conditions de circulation et entraînerait des délais moyens plus courts.

- Casola (2018) a mené une enquête pour comparer les flèches jaunes clignotantes pour les véhicules tournant à droite aux feux verts circulaires. L'enquête a constaté une augmentation statistiquement significative du nombre de conducteurs cédant le passage aux flèches jaunes clignotantes par rapport aux feux verts circulaires. Une microsimulation a ensuite été réalisée et le système VISSIM a été utilisé pour déterminer les vitesses de virage à droite des véhicules en présence d'une flèche jaune clignotante par rapport à la vitesse en présence d'un feu vert circulaire. Il a été constaté que les vitesses étaient nettement plus basses en présence d'une flèche jaune clignotante.

- Knodler et al. (2017) ont évalué le niveau de compréhension des conducteurs concernant les flèches jaunes clignotantes dans les scénarios de virage à droite par rapport aux conditions existantes à Madison, au Wisconsin. Pour ce faire, ils ont réalisé des évaluations basées sur des enquêtes et des évaluations sur le terrain. Lorsque 200 répondants à l'enquête ont été interrogés sur ce que signifiaient les feux verts circulaires et les flèches jaunes clignotantes pour les virages à droite, les chercheurs cherchaient des réponses indiquant que le passage devait être cédé avant d'entrer dans l'intersection. Le nombre de réponses exactes a augmenté de 23,7 % entre les feux verts circulaires (24,7 %) et les flèches jaunes clignotantes (57,4 %).

Les chercheurs ont également documenté les interactions véhicules-piétons aux emplacements avec ou sans FJC grâce à une analyse vidéo et ont documenté le temps de référence nécessaire à un véhicule pour tourner à droite en absence de piéton, le temps auquel un véhicule tournant à droite est entré dans l'intersection, ainsi que le pourcentage de passages effectués par les piétons. Un modèle a été créé pour montrer la déviation d'un conducteur par rapport au comportement de virage à droite attendu en présence d'un piéton. Les données étaient limitées, donc aucune conclusion solide n'a été fournie. Cette évaluation sur le terrain a plutôt été réalisée pour démontrer la faisabilité d'une étude de ce type, en utilisant un ensemble de données limité comprenant un emplacement à FJC et trois emplacements sans FJC.

- Rescot et al. (2015) ont étudié les feux de circulation horizontaux à quatre sections et à flèches jaunes clignotantes tandis que les autres feux de circulation du système de soutien de signalisation sont demeurés verticaux afin qu'il ne soit pas nécessaire de modifier l'infrastructure existante (système de soutien). Les données de comportement des conducteurs étaient collectées lorsque les véhicules approchaient d'une flèche jaune clignotante et devaient céder le passage pour effectuer un virage à gauche permissif comparativement à cinq emplacements de contrôle. Grâce à une étude comparative, il a été constaté qu'aucune différence statistique n'a été observée dans l'accélération ou la décélération des conducteurs aux différents emplacements. Des enquêtes ont également été menées dans lesquelles on demandait aux répondants s'ils effectueraient leur virage, céderaient le passage ou s'arrêteraient lorsqu'on leur montrerait diverses images de scénarios de virage à gauche. Les résultats de l'enquête ont montré que la plupart des conducteurs savaient quoi faire dans différentes situations ou ne donnaient pas de réponse erronée critique. Dans un cas, un taux de réponses erronées critique de 11 % a été obtenu, soit lorsqu'un feu de circulation vertical à flèche jaune clignotante affichait une flèche jaune fixe pour le virage à gauche tandis que les voies de circulation directe adjacentes avaient un feu vert circulaire.
- Noyce et al. (2014) ont mené des recherches pour analyser le niveau de compréhension des conducteurs concernant les flèches jaunes clignotantes lorsqu'elles sont ajoutées à des feux de circulation à trois et cinq sections. L'étude comprenait une enquête informatisée et un simulateur de conduite. Les résultats de l'enquête n'ont montré aucune différence significative dans le niveau de compréhension des conducteurs lorsque la flèche jaune clignotante était présentée de façon bimodale dans la section inférieure ou centrale des feux à trois sections. Le niveau de compréhension des conducteurs était nettement inférieur lorsque la flèche jaune clignotante était ajoutée de façon bimodale aux feux groupés à cinq sections avec des indicateurs de circulation directe simultanée. Le simulateur de conduite n'a montré aucune différence significative du rendement des conducteurs entre les différentes combinaisons de feux de circulation.
- Schattler et al. (2013) ont analysé une enquête en ligne réalisée auprès de 363 conducteurs, comprenant sept scénarios de virage à gauche avec phasage protégé et permissif à flèches jaunes

clignotantes pour les phases permissives. L'enquête a révélé que les conducteurs avaient une bonne compréhension de la bonne action à prendre pour les FJC et les feux verts circulaires. Cependant, ils ont fourni beaucoup plus de réponses incorrectes (effectuer le virage) dans les scénarios de feu vert circulaire que dans les scénarios de FJC en présence d'un panneau supplémentaire. Les conducteurs avaient un niveau de compréhension nettement plus élevé des FJC lorsque la circulation en sens inverse faisait face à un feu vert comparativement à un feu rouge, avec ou sans panneau supplémentaire. L'ajout du panneau supplémentaire indiquant de céder le passage en tournant à gauche sur flèche jaune clignotante a considérablement amélioré la compréhension des conducteurs, sans égard à la couleur du feu de circulation (c'est-à-dire rouge ou vert).

De plus, 128 heures de données sur le terrain ont été collectées à 16 approches de l'étude pour qu'une comparaison avant-après puisse déterminer les impacts du remplacement de feux verts circulaires par des flèches jaunes clignotantes. L'analyse a évalué la grandeur de l'espacement acceptée, la durée du feu rouge, la durée du feu jaune et les conflits dans la circulation. Une analyse statistique a été réalisée pour l'étude avec un niveau de confiance de 95 %. Ci-dessous sont indiqués les résultats de cette étude.

- L'acceptation de la grandeur de l'espacement n'a pas montré de différence significative.
 - La durée du feu rouge selon l'heure après l'intervalle de virage à gauche permissif a été la seule variable à connaître une augmentation significative.
 - Il n'y avait pas de différence significative concernant les conflits observés dans la circulation.
- Lin et al. (2012) ont mené une étude avant-après pour évaluer les flèches jaunes clignotantes en termes de sécurité à court terme. L'étude a observé l'acceptation de l'espacement pour évaluer la sécurité. Dans des conditions de circulation en sens inverse de faible à modérée, les conducteurs acceptaient un espacement plus long pour effectuer des virages à gauche permissifs avec la flèche jaune clignotante comparativement à l'espacement accepté pour un virage avec le feu vert circulaire, tandis qu'aucune différence significative n'a été observée entre les deux scénarios dans un volume de circulation élevé en sens inverse. Cela indique que des volumes de circulation en sens inverse ont un impact significatif sur les comportements d'acceptation de l'espacement.
 - Knodler et al. (2005) ont évalué le niveau de compréhension des conducteurs concernant les flèches jaunes clignotantes des feux de circulation ayant des phases permissives simultanées (c'est-à-dire des feux de circulation partagés plutôt que des feux de circulation séparés) et comportant cinq sections à l'aide d'un simulateur de conduite dynamique et d'une enquête informatisée. La comparaison de sept signaux de virage à gauche permissif à feux verts circulaires ou à FJC, ou les deux, a été réalisée auprès de 264 conducteurs. Les résultats ont montré que les signaux simultanés n'affectaient pas le niveau de compréhension des conducteurs concernant les signaux permissifs. Les conducteurs ont démontré qu'ils savaient qu'ils devaient céder le passage lorsque les signaux étaient simultanés, et un taux de réponses correctes de 65 % a été obtenu pour les feux verts circulaires et de 89 % pour la modification proposée, le feu partagé, ce qui indique que des signaux simultanés seraient adaptés aux nouveaux feux à FJC.
 - Brehmer et al. (2003) ont mené une étude pour le NCHRP (rapport 493 du NCHRP) pour évaluer les signaux de virage à gauche protégé-permissif. Grâce à une étude photographique des conducteurs, ils ont constaté que, parmi les feux verts circulaires, les feux jaunes circulaires clignotants, les feux rouges circulaires clignotants et les flèches jaunes clignotantes, le feu vert circulaire pour virage permissif présentait le plus faible pourcentage de réponses correctes pour tous les types de feu

(50 %), et que les feux jaunes circulaires clignotants et rouges circulaires clignotants avaient le pourcentage le plus élevé de réponses correctes. L'étude photographique des conducteurs a également permis de soutenir l'utilisation des signaux de VGPP pour les voies de virage exclusives, car il a été constaté que le feu de circulation à cinq sections pour VGPP utilisé sur les voies partagées entraînait le temps de réponse moyen le plus long comparativement aux autres signaux (feux de circulation à quatre et à trois sections) et un taux de réponses correctes plus faible que celui attribué aux signaux simultanés de la flèche verte de virage à gauche et du feu rouge circulaire fixe.

Les auteurs ont mené des études de confirmation auprès des conducteurs dans des simulateurs à échelle réelle, et ils ont constaté que les scénarios avec FJC avaient un niveau élevé de compréhension des conducteurs, un niveau similaire à celui obtenu avec un feu vert circulaire, et des taux de réponses incorrectes critiques significativement inférieurs à ceux obtenus avec le feu vert circulaire. Contrairement aux résultats de l'étude photographique, l'emplacement du signal de VGPP (partagé ou exclusif) n'a pas entraîné de différence statistiquement significative quant au pourcentage de réponses correctes obtenu pour le signal permissif.

- Knodler et al. (2001) ont créé une simulation de conduite à des intersections multiples comprenant 211 participants, afin d'évaluer le niveau de compréhension des conducteurs concernant 12 configurations différentes de signaux de virage passif-préventif illustrées à la Figure 12. Après la simulation, les conducteurs ont reçu une enquête de suivi dans laquelle les répondants devaient identifier l'action appropriée de virage à gauche pour les 12 mêmes signaux de virage à gauche passif-préventif. Cette étude a été utilisée pour déterminer si les simulateurs de conduite étaient une méthode efficace pour évaluer le niveau de compréhension des conducteurs concernant les signaux de virage à gauche passif-préventif. Le pourcentage de résultats corrects était constamment plus élevé dans le simulateur de conduite que dans l'enquête statique.

Figure 12 : Configurations des feux de VGPP-FJC

Scenario	Lens Color and Arrangement	Left-Turn Indication*	
		Protected Mode	Permitted Mode
1,2			
3,4			
5,6			
7,8			
9,10			
11,12			

(Knodler M. , Noyce, Kacir, & Brehmer, *Driver Understanding of the Green Ball and Flashing Yellow Arrow Permitted Indications: A Driving Simulator Experiment*, 2001)

- Plummer et King (1973) ont établi un questionnaire pratique et une étude en laboratoire pour déterminer quel signal (couleur et flèche) est le plus efficace pour transmettre le message voulu aux conducteurs. Le questionnaire proposait 11 modes de feux de virage à gauche et 19 configurations de feux, dont une configuration avec flèche jaune clignotante. Ils ont constaté que les trois feux clignotants proposés n'étaient pas aussi bien compris que les feux de circulation fixes. L'efficacité des feux clignotants n'a donc pas été évaluée dans l'étude sur le terrain.

3. Entretien avec des experts

Des entretiens personnels ont été menés avec quatre experts des États-Unis d'Amérique sur l'application du feu à flèche jaune clignotante (FJC) afin de comprendre les résultats obtenus aux États-Unis relativement à la mise en place des FJC ainsi que les avantages et défis associés à leur application, ce qui fournirait au Canada les leçons tirées en vue d'une application potentielle au Canada. Les principales conclusions sont résumées ci-dessous.

- La flèche jaune clignotante (FJC) fait suite aux préoccupations exprimées par les administrations publiques américaines et le comité national américain dans les années 1990 concernant la mauvaise compréhension des conducteurs concernant le feu vert circulaire pour les virages à gauche permissifs, ainsi que des incohérences et le manque d'uniformité entre les différentes administrations en matière de dispositifs utilisés pour les virages à gauche permissifs. Par exemple, Seattle (État de Washington) utilisait le feu jaune circulaire clignotant et le Michigan utilisait le feu rouge circulaire clignotant pour les virages à gauche permissifs. Cette préoccupation a conduit à la réalisation de l'étude 493 du NCHRP qui a évalué différentes options de virage à gauche pour ensuite aboutir à la recommandation du feu à FJC pour les virages à gauche permissifs. L'utilisation de feux à FJC s'est ensuite avérée efficace sur le territoire de plusieurs administrations publiques pour ensuite être incluse dans le MUTCD (*Manual of Uniform Traffic Control Devices*) de 2009 (FHWA, 2009).
- L'étude 493 du NCHRP (Brehmer, Kacir, Noyce, & Manser, 2003) comprenait une analyse vidéo, des simulations de conduite et des applications sur le terrain. L'étude a révélé que la FJC était nettement mieux comprise par les conducteurs qui effectuaient un virage permissif depuis les voies de virage que le feu vert circulaire.
- À l'origine, la plupart des installations de FJC concernaient les virages à gauche protégés-permissifs (VGPP) fonctionnant avec la même phase 24 heures sur 24. Cela a évolué vers un phasage variable selon l'heure de la journée afin d'améliorer l'efficacité opérationnelle (Dallas, au Texas, a été un chef de file dans cette approche). Sur le plan de la programmation, le feu de circulation à FJC est très avantageux, car il offre de nombreuses options de phasage opérationnel pouvant être programmées pour fonctionner 24 heures sur 24 ou selon l'heure de la journée en fonction des besoins liés à la circulation.
- Actuellement, les États mettent en place des signaux à FJC pour atteindre les objectifs principaux suivants :
 - éliminer la confusion liée à un feu vert circulaire depuis une voie de virage;
 - améliorer la coordination et l'efficacité opérationnelle de la circulation afin d'offrir la flexibilité requise pour une phase de virage à gauche selon l'heure de la journée (c'est-à-dire en remplaçant un virage à gauche uniquement protégé par un virage à gauche permissif ou un VGPP selon l'heure de la journée);
 - réduire les incidents liés au piégeage résultant de virages à gauche décalés;
 - dans une moindre mesure, améliorer la sûreté des virages à gauche et à droite permissifs en mettant l'accent sur le passage prioritaire des véhicules en sens inverse, des cyclistes et des piétons, et par l'utilisation coordonnée des phases de FJC et du CDP (cycle devancé pour piétons).

- Les feux à FJC sont actuellement largement utilisés aux États-Unis pour les virages à gauche, et moins couramment pour les virages à droite, afin d'améliorer la sécurité des cyclistes et des piétons, et quelques États seulement accusent un retard en termes de mise en place (New York, l'Illinois et le Maryland sont mentionnés). Les administrations routières installent des feux de circulation à FJC pour de nouvelles installations ou apportent des améliorations aux intersections existantes. Certaines administrations hésitent à utiliser les FJC, car elles sont satisfaites des installations traditionnelles, car leurs connaissances à ce sujet sont insuffisantes et car elles ont des inquiétudes concernant le niveau de compréhension des conducteurs lié aux feux FJC, mais aussi en raison des coûts liés à la modification des infrastructures et en raison des modifications requises aux règles de la route sur leur territoire.
- La technologie évolue vers une mise en place plus facile de la phase de FJC de virage à droite, car cette phase nécessite souvent l'installation d'un caisson de contrôle de la circulation plus perfectionné (les caissons avancés de contrôle de la circulation ont été mentionnés). Cependant, il n'existe actuellement aucune capacité d'uniformité pour les contrôleurs en ce qui concerne les FJC, les CDP, et autres. Donc, les capacités de phasage dépendent du contrôleur.
- Le feu de circulation à FJC à quatre sections est le feu habituellement utilisé pour la phase de virage à gauche protégé-permissif à FJC (VGPP-FJC), tel que l'indique le MUTCD. Le feu à quatre sections permet l'utilisation de différentes phases de virage à gauche (c'est-à-dire les virages uniquement protégés, les virages uniquement permissifs et les VGPP), mais il pourrait être converti en feu à trois sections si une phase de virage à gauche uniquement protégé était utilisée à temps plein.
- La documentation indique que la modification d'une intersection signalisée traditionnelle en feu à FJC standard est simple et est possible en effectuant une programmation de base. Cependant, il existe une courbe d'apprentissage lorsque des séquences de phasage plus avancées sont mises en œuvre. Les fournisseurs de feux à FJC fournissent de la formation et du soutien pour l'application et la programmation de ces feux. Ainsi, des enjeux peuvent survenir lorsque le personnel affecté aux feux de circulation est remplacé, certains membres du personnel pouvant ne pas se sentir à l'aise de configurer les contrôleurs pour mettre en place un phasage de feux à FJC, surtout si la logique de phasage des FJC est plus complexe.
- Les feux à FJC à quatre sections sont considérés comme étant supérieurs aux feux traditionnels verticaux ou aux feux à cinq sections en niche de virage à gauche, car ils offrent la flexibilité de mettre en place différentes options de phasage selon l'heure de la journée et ils causent moins de confusion chez les conducteurs en ce qui concerne les virages à gauche permissifs. La configuration en niche est partagée par la voie de virage à gauche et la voie adjacente et elle crée de la confusion chez les conducteurs qui pensent avoir la priorité de passage en voyant un cercle vert circulaire permissif lorsqu'ils effectuent un virage à gauche et effectuent un déplacement direct, surtout si le feu en niche est placé au-dessus de la voie de virage à gauche. Le feu à FJC à quatre sections est exclusif à la voie de virage à gauche (ou voie de virage à droite).
- En ce qui concerne le phasage du feu vert circulaire permissif, le signal de FJC a également l'avantage de pouvoir afficher séparément différentes longueurs de cycles devancés pour piétons (CDP) pour différents passages piétons, ce qui améliorerait l'efficacité opérationnelle et améliorerait le passage prioritaire des piétons et cyclistes aux passages. Cette technique hybride permet également la mise en place d'un intervalle de virage au rouge (variable pour les virages à droite et à gauche) lors d'une phase CDP au lieu de la mise en place d'un virage protégé qui prolonge la durée du cycle alors que

cela peut ne pas être souhaitable. Par exemple, dans la ville de Richland, dans l'État de Washington, une FJC a été mise en place à une intersection pour résoudre des problèmes de collisions entre véhicules et cyclistes (en particulier des enfants) au virage à gauche, ainsi qu'un problème de délais attribuables aux CDP connectés aux passages piétons parallèles, ce qui faisait en sorte que les deux CDP étaient actifs alors qu'un seul passage piéton n'était actif. Dans ce scénario, grâce au signal de FJC et à la programmation logique de la FJC, des intervalles de CDP variables ont été prévus pour les passages piétons en conflit avec les véhicules tournant à droite et à gauche (CDP plus long pour le virage à gauche en raison du risque de collision plus élevé), ce qui a permis d'améliorer le passage prioritaire aux passages piétons et cyclistes et a permis aux véhicules effectuant un virage d'attendre moins longtemps.

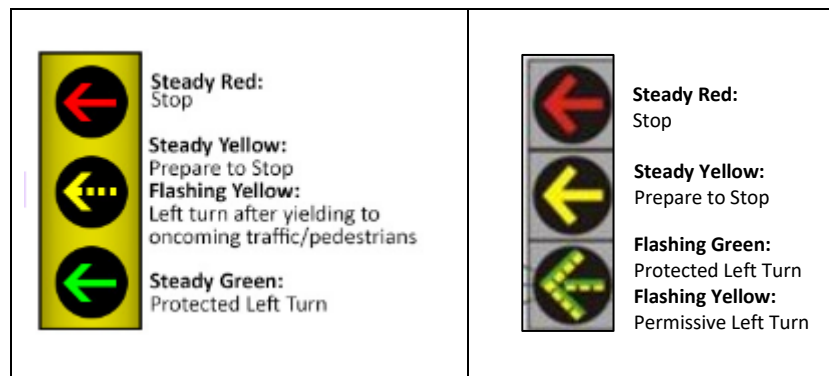
- Les recherches américaines se concentrent actuellement sur l'utilisation de feux de circulation à trois sections qui utilisent (1) des signaux à double flèche (bimodaux) pouvant afficher des flèches vertes clignotantes et jaunes clignotantes sur le même signal de la lentille inférieure, ou (2) des fonctions doubles pour le signal de flèche jaune (c'est-à-dire un signal jaune bimodal) – fixe et clignotant, sur la lentille centrale, comme l'indique le MUTCD (2023). Les deux configurations de lentilles doubles (lentilles bimodales) de FJC sont illustrées à la Figure 13. Les feux de circulation à FJC à trois sections présentent un avantage plus important que les feux de circulation à FJC à quatre sections, car (1) les feux de circulation existants à trois sections peuvent plus facilement être modifiés par le remplacement d'une seule lentille et par de légers travaux de recâblage ou de reprogrammation, (2) ils offrent la possibilité de remplacement de la phase du signal par une phase uniquement protégée de 24 heures sur 24 grâce à de légers changements de câblage et de réglage, sans que le feu de circulation ne soit changé, (3) ils ont un dégagement moins grand et ils sont donc plus avantageux aux emplacements à dégagement limité, et (4) ils ont un coût d'installation plus bas, car le feu de circulation à quatre sections nécessite du matériel supplémentaire incluant des lentilles supplémentaires, des plaques arrières plus grandes, des supports plus longs et un modèle de poteau qui résiste à des charges de vent plus importantes.

La lentille à flèche double (lentille partagée de flèches verte et jaune) a elle-même un coût légèrement supérieur à une lentille traditionnelle, cependant, son remplacement en un feu de circulation à FJC double à trois sections peut être globalement moins coûteux, car elle ne nécessite qu'un changement de lentille sur un feu de circulation existant à trois sections ainsi que quelques modifications mineures du câblage. La lentille à flèche double a fait l'objet d'une recherche par David Noyce, à l'Université du Wisconsin, et s'est avérée efficace pour améliorer le niveau de compréhension des conducteurs. La lentille à flèche double est le signal FJC dominant installé à Richland, au Wisconsin. Toutefois, la lentille à flèche double a l'inconvénient de poser problème aux daltoniens, car les flèches verte et jaune sont affichées sur la même lentille. Toutefois, les conducteurs américains peuvent différencier la phase et la couleur du signal par le mode clignotant et non clignotant, car les flèches vertes clignotantes ne sont pas utilisées aux États-Unis. Le problème lié au daltonisme serait probablement une préoccupation plus importante au Canada, où la flèche verte clignotante est utilisée. Il serait donc difficile pour les conducteurs daltoniens de distinguer la signification d'une flèche clignotante si le vert et le jaune étaient affichés sur la même lentille, car la flèche clignotante pourrait indiquer un virage protégé (vert clignotant) ou un virage permissif (jaune clignotant).

La fonction double de la flèche jaune (fixe et clignotante sur une seule lentille) constitue une autre option offerte par le feu de circulation à FJC à trois sections. Comme pour la lentille à flèche double,

elle fournit un niveau de compréhension adéquat des conducteurs grâce au changement de mode (c'est-à-dire fixe et clignotant), tout en maintenant un séquençage de couleur prévisible (rouge, jaune, vert de haut en bas), cependant, elle ne permet pas le changement de position du signal, ce qui pourrait faire en sorte que les conducteurs ne remarquent pas si la flèche jaune est passée de fixe à clignotante (ou inversement). La lentille à flèche double à signal vert et jaune partagé présente un avantage supplémentaire en ce sens que la position du signal peut être changée (c'est-à-dire que le feu jaune clignotant est différent du feu jaune fixe), ce qui aiderait les conducteurs à distinguer le changement de mode de la flèche jaune.

Figure 13 : Feu à FJC à lentille double à trois sections (ou lentille bimodale)



(Source : Cleveland Utilities, 2024, Hurwitz et Mosere, 2013)

- Le remplacement d'une phase uniquement protégée par un VGPP peut avoir des incidences négatives pour la sécurité (voir la section « Facteurs de modification des collisions ») puisqu'un virage à gauche permissif peut être effectué, quel que soit le signal de FJC. Si un virage à gauche protégé est transformé en VGPP pour des raisons opérationnelles et de capacité, il est souhaitable d'utiliser un feu à FJC à trois ou quatre sections pour permettre la variation de phase selon l'heure de la journée, ce qui est avantageux sur le plan de la sécurité grâce aux virages à gauche protégés aux heures de pointe sur le plan opérationnel grâce aux virages à gauche permissifs pendant les heures creuses.
- L'approche d'une administration concernant le phasage de la signalisation, c'est-à-dire si le phasage varie selon l'heure de la journée ou s'il demeure le même 24 heures sur 24, influence significativement l'importance des bénéfices en termes d'efficacité opérationnelle et de sécurité découlant de l'utilisation des FJC.
- À certains emplacements, des feux à FJC sont utilisés lorsque le transport en commun ou le train léger sur rail circule au milieu de la route ou du terre-plein central, mais cela n'est pas recommandé. Le district régional des transports de Denver et Aurora, au Colorado, avait un train léger sur rail qui circulait au centre de routes comportant des FJC pour virage permissif. Toutefois, des problèmes liés à l'augmentation de la fréquence des virages à gauche devant le train léger sont survenus. La FJC était utilisée lorsque le train n'était pas en service, et une flèche rouge s'affichait et était maintenue lorsque le train était présent. La présence d'un train léger fournirait une raison suffisante pour que seuls des virages à gauche protégés puissent être effectués.
- Il est important de comprendre qu'aux États-Unis, les règles de circulation pour les conducteurs faisant face à un feu jaune peuvent varier et avoir des incidences sur la circulation. Par exemple, dans

l'État de Washington, un conducteur peut entrer dans l'intersection et céder le passage à l'intérieur de celle-ci pour effectuer un virage à gauche au feu jaune, tandis qu'en Oregon, il doit s'arrêter avant la ligne d'arrêt jusqu'à ce qu'un espace soit repéré pour effectuer le virage. En obligeant les conducteurs à s'arrêter derrière la ligne d'arrêt, on augmente le temps nécessaire pour effectuer un virage et on peut ainsi limiter la visibilité sur la circulation venant en sens inverse.

- Un feu supplémentaire de FJC de virage à gauche peut être installé au coin de l'intersection, dans la ligne de vue des véhicules tournant à gauche, comme l'illustre la Figure 14, pour permettre aux conducteurs cédant le passage à l'intersection (après la ligne d'arrêt) de voir leur signal de FJC de virage tout en surveillant la circulation en sens inverse. Cela permet aux conducteurs de ne pas être obligés de jeter de rapides coups d'œil aux feux de circulation principaux, ce qui leur permettrait difficilement de déterminer si la flèche jaune est fixe ou clignotante. Ce feu supplémentaire serait particulièrement utile pour les feux de circulation à FJC à trois sections. La fonction double du centre pour la flèche jaune pourrait afficher à la fois les flèches fixe et clignotante à l'aide d'une même ampoule.

Figure 14 : Intersection en Oregon à FJC supplémentaire pour virage à gauche



(Source : Google Maps)

- Les caractéristiques géométriques nécessaires pour installer une FJC de virage à gauche permissif sont les mêmes que pour un virage permissif sur feu vert circulaire, pour les voies de virage à gauche simple ou double. Cette installation nécessite principalement une distance de visibilité adéquate en direction de la circulation en sens inverse, et que l'on tienne compte des volumes de virage à gauche et de la circulation en sens inverse.
- L'installation d'un panneau supplémentaire indiquant de céder le passage en tournant à gauche (ou à droite) sur flèche jaune clignotante a toujours été optionnelle et non « recommandée », cependant certaines administrations qui installent de nouvelles FJC les utilisent pour renforcer le niveau de compréhension des conducteurs. Le panneau supplémentaire serait très difficile à produire en version bilingue, en raison de la quantité de texte, ou comme signe symbolique au Canada. La sensibilisation du public est importante lorsqu'une administration routière met en place de nouvelles FJC; cependant, la portée et la méthode de sensibilisation du public varient considérablement d'un État à l'autre. Certaines méthodes reposent sur la transmission d'informations sur les sites Web des États, l'envoi d'informations avec le renouvellement des permis, et l'ajout du feu à FJC dans le manuel de conduite. La Virginie a créé des vidéos éducatives montrant l'interaction réelle des conducteurs avec les feux à FJC. En général, les conducteurs comprennent bien et intuitivement les feux à FJC,

cependant, la formation des responsables publics locaux est importante pour que les avantages qui en découlent soient bien compris et pour que la progression vers les feux à FJC soit encouragée.

- L'installation de FJC a exigé que chaque État modifie ses règles de la route pour créer des règles pour les flèches jaunes clignotantes, car ces dernières n'étaient pas couvertes par les règles de la route avant les amendements.

4. Enquête canadienne

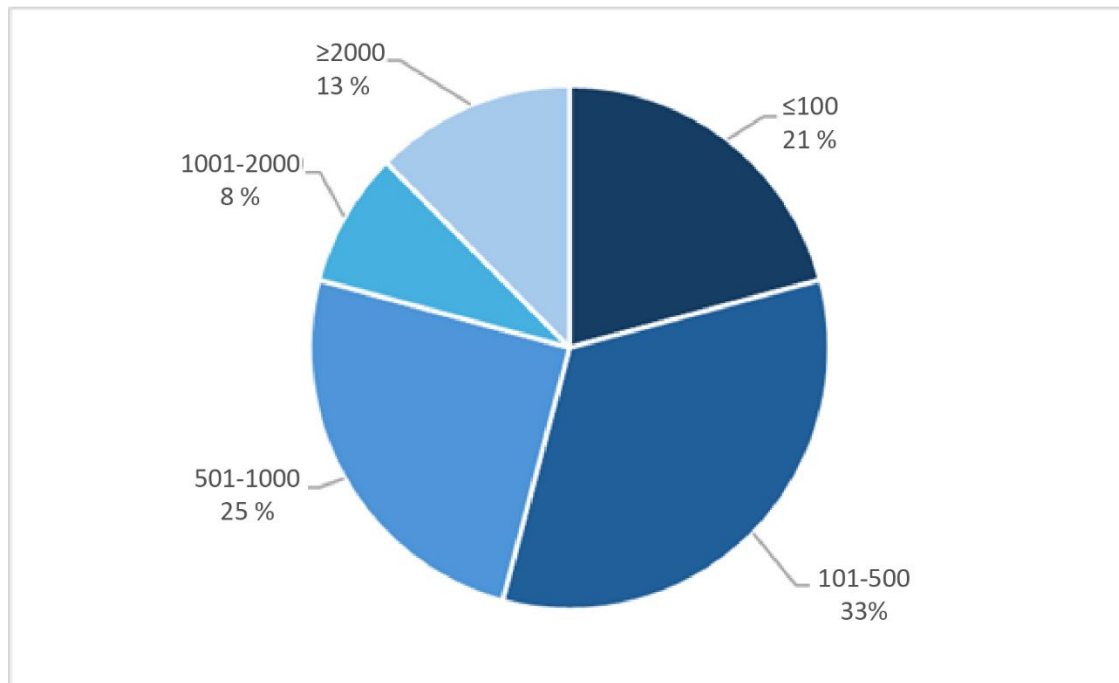
Vingt-quatre questionnaires dûment remplis ont été remis dans le cadre de l'enquête canadienne de la part de 23 administrations publiques (la Ville de Québec a fourni remis deux questionnaires dûment remplis). Le Tableau 6 présente la liste des 23 administrations publiques qui ont remis des questionnaires dûment remplis, ainsi que le nombre de feux de circulation dans le réseau de chacune. Un résumé des réponses à l'enquête est fourni à l'annexe A.

Tableau 6 : Administrations publiques ayant répondu à l'enquête canadienne

Municipalités et régions	Nbre de feux de circulation	Provinces	Nbre de feux de circulation
Municipalité régionale d'Halifax (N.-É.)	286	Nouvelle-Écosse	100
Fredericton (N.-B.)	50	Québec	2000
Ville de Laval (Qc)	300	Alberta	300
Ville de Gatineau (Qc)	246	Colombie-Britannique	800
Ville de Québec (Qc) (2 questionnaires)	900		
Ville de Montréal (Qc)	2200		
Corporation de la ville de Milton (Ont.)	58		
Région de Durham (Ont.)	650		
Toronto (Ont.)	2500		
Mississauga (Ont.)	562		
Halton Hills (Ont.)	38		
Winnipeg (Man.)	700		
Saskatoon (Sask.)	265		
Calgary (Alb.)	1250		
Edmonton (Alb.)	1200		
Lethbridge (Alb.)	150		
Red Deer (Alb.)	150		
Comté de Strathcona (Alb.)	100		
Kelowna (C.-B.)	135		

Les 23 administrations publiques participantes représentaient divers lieux géographiques de l'est (13 administrations) et de l'ouest (10 administrations) du Canada, ainsi que des lieux ayant des réseaux de feux de circulation de différentes tailles. La Figure 15 illustre la répartition des réseaux de feux de circulation des administrations publiques ayant répondu à l'enquête, soit les réseaux de 100 à plus de 2 000 feux de circulation.

Figure 15 : Tailles des réseaux de feux de circulation des administrations publiques ayant répondu à l'enquête



Les principales conclusions de l'enquête auprès des administrations publiques sont résumées par catégorie ci-dessous.

Signification des signaux des feux de circulation :

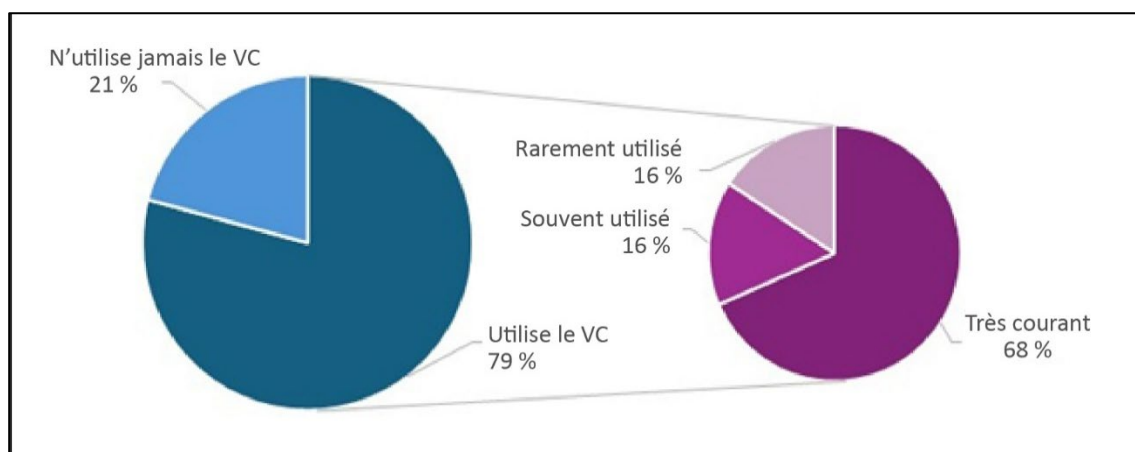
- L'interprétation des significations des flèches de signalisation est généralement cohérente sur les territoires des administrations publiques, sauf pour la flèche verte fixe de virage. Un tiers des répondants (8 sur 24) a indiqué que la flèche verte fixe de virage est utilisée uniquement pour les virages protégés et 42 % des répondants (10 sur 24) ont indiqué qu'elle était utilisée uniquement pour les virages protégés. D'après les discussions de groupe, ce résultat mitigé concernant la signification de la flèche verte fixe pourrait refléter une utilisation insuffisante dans l'Ouest canadien, où les flèches vertes clignotantes sont plus courantes, une utilisation répandue de la flèche verte fixe de virage protégé en Ontario, ainsi qu'une utilisation des flèches vertes fixes de virage à droite permissif en même temps que les signaux de passage de piétons au Québec. **De plus, la flèche verte fixe de virage à gauche ne figure pas dans le Manuel canadien de la signalisation routière (MCSR) (ATC, 2021) et, par conséquent, il n'existe pas de source de référence nationale commune pour sa signification et son application.**
- Les réponses aux questions sur l'application de la flèche verte fixe ont été mitigées puisque 25 % des répondants (6 sur 24), principalement dans l'est du Canada, ont indiqué qu'elle peut chevaucher une phase conflictuelle de dégagement pour le passage des piétons.
- Dans l'ensemble du pays, les répondants semblent bien comprendre que la flèche verte clignotante de virage doit être utilisée uniquement pour les virages protégés et qu'elle ne doit pas chevaucher une phase conflictuelle de dégagement pour le passage des piétons.

- Les administrations ayant répondu à l'enquête interprètent de manière uniforme la signification de la flèche jaune fixe de virage, à savoir que les conducteurs ou cyclistes en approche qui font face à ce type de feu doivent s'arrêter avant d'entrer dans l'intersection, sauf si l'arrêt ne peut pas être effectué en toute sécurité. Si le conducteur ou le cycliste effectue sa manœuvre sur une flèche jaune fixe de virage, il doit avancer avec prudence et céder la priorité aux piétons utilisant de manière légitime l'intersection ou sur un passage piéton adjacent, ainsi qu'aux autres véhicules circulant de manière légitime à l'intersection.
- Les administrations ayant répondu à l'enquête interprètent de manière uniforme la signification de la flèche rouge fixe de virage, à savoir qu'elle est utilisée pour contrôler l'arrêt des véhicules effectuant un mouvement particulier. Selon 37 % (9 sur 24) des administrations ayant répondu à l'enquête, il est interdit d'installer une flèche rouge clignotante de virage.
- Bien que la flèche jaune clignotante n'ait pas encore été mise en œuvre au Canada, l'enquête a révélé que la plupart des spécialistes ayant répondu à l'enquête comprenaient la signification du feu à FJC. Quatre-vingt-sept pour cent des répondants (20 sur 23) ont correctement indiqué que la FJC signifie que les conducteurs qui effectuent un virage doivent céder le passage à la circulation en sens inverse et aux piétons sur les passages piétons adjacents, et 78 % (18 sur 23) ont correctement indiqué que cela signifiait la même chose qu'un feu vert circulaire. Dix-sept pour cent des répondants (4 sur 23) ont indiqué à tort que le feu de FJC est utilisé comme un court intervalle de transition entre la flèche verte de virage et la flèche rouge ou le feu rouge circulaire de virage, ou ont indiqué que les conducteurs qui effectuent un virage ont la priorité sur la circulation en sens inverse et les piétons sur les passages piétons adjacents.

Fonctionnement actuel des feux de circulation :

- La flèche verte clignotante de virage est utilisée pour les virages à gauche protégés par près de 80 % des répondants (19 sur 24), 68 % d'entre eux ayant indiqué qu'ils les utilisent couramment, 16 % ayant indiqué qu'ils les utilisent souvent, et 16 % ayant indiqué qu'ils les utilisent rarement, comme l'illustre la Figure 16. Les cinq répondants qui ont indiqué qu'ils n'utilisent jamais de flèches vertes clignotantes venaient de l'Ontario et du Québec.

Figure 16 : Pourcentage des administrations répondantes qui utilisent des flèches vertes clignotantes (FVC) pour les virages à gauche protégés



- La flèche verte clignotante est moins couramment utilisée pour les virages à droite protégés, 42 % des répondants (10 sur 24) ayant indiqué qu'ils l'utilisent, la majorité ayant indiqué qu'ils l'utilisent rarement. Plus de la moitié (14 sur 24) a indiqué que ces flèches ne sont jamais utilisées pour les virages à droite. Les flèches vertes clignotantes de virage à droite ne paraissent pas dans le MCSR.
- Presque toutes les administrations ayant répondu à l'enquête (23 sur 24) ont indiqué qu'elles n'utilisent aucun signal pouvant résoudre le problème de piégeage qui se produit lorsqu'un virage à gauche permissif est opposé à un feu vert décalé de la circulation en sens inverse. Le MCSR stipule que si les virages à gauche sont autorisés dans les deux directions opposées, seul un signal de virage à gauche décalé simultané, protégé-permissif ou entièrement protégé, doit être utilisé pour éviter un problème de piégeage. D'autres administrations interdisent les situations de piégeage par la loi ou par la pratique. Les participants aux groupes de discussion ont développé cette réponse en indiquant qu'en évitant de créer des situations de piégeage, les spécialistes ne sont pas en mesure de mettre en place des phases décalées plus efficaces à certaines intersections.
- Presque toutes les administrations répondantes ont indiqué qu'elles n'avaient pas de problème de mauvaise interprétation des conducteurs quant à la signification du feu vert circulaire lorsque les conducteurs tournent à droite ou à gauche depuis une voie de virage lors d'une phase de virage entièrement permissif (23 sur 24) ou d'une phase de virage protégé-permissif (22 sur 24). Dans les groupes de discussion, les participants ont clairement fait une distinction entre la compréhension de la signification (qui ne causait aucun problème comme l'indique l'enquête) et l'évaluation en toute sécurité des espacements jugés sécuritaires dans la circulation en sens inverse (qui causait des problèmes pour de nombreuses administrations).
- La majorité des administrations publiques répondantes ont indiqué qu'elles font face à des problèmes de collisions avec la circulation automobile en sens inverse, des piétons ou des cyclistes en ce qui concerne les virages permissifs aux intersections à des degrés divers, comme l'illustre le Tableau 7.

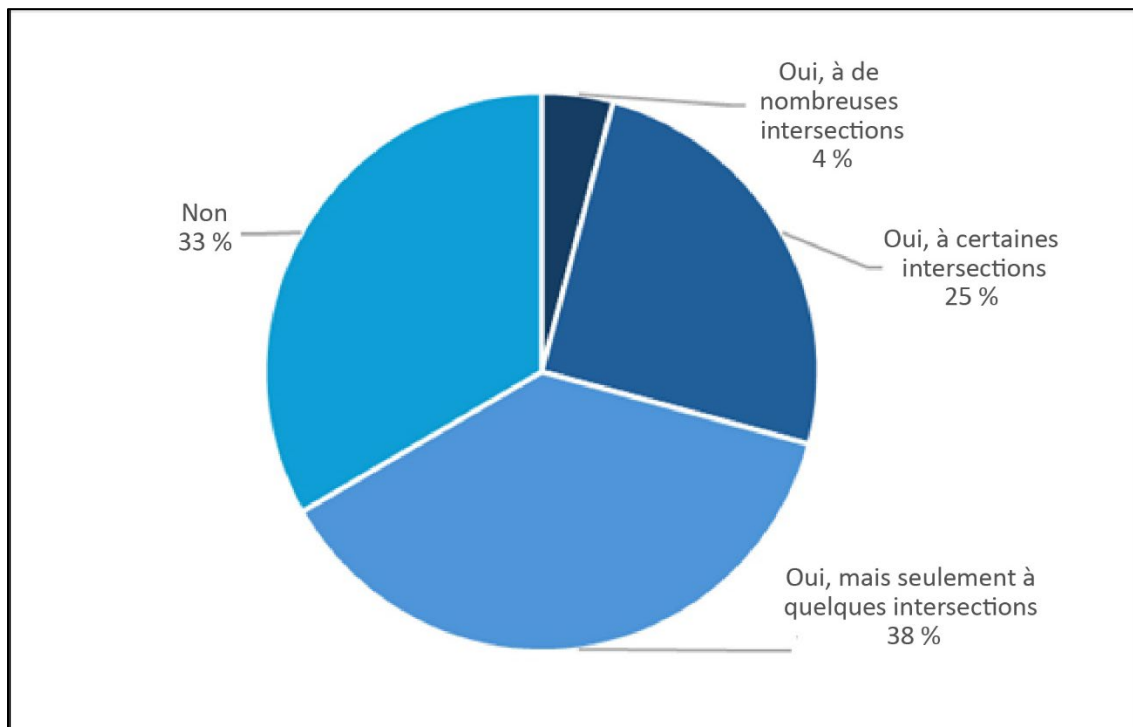
Tableau 7 : Nombre d'administrations répondantes qui ont indiqué des problèmes de collisions liés aux virages permissifs et différents usagers de la route aux intersections à des degrés divers

	Oui, à de nombreuses intersections	Oui, à certaines intersections	Oui, mais seulement à quelques intersections	Non	Total
Circulation automobile en sens inverse	5	12	4	3	24
Piétons	3	10	7	4	24
Cyclistes	3	10	7	4	24

- Les administrations répondantes ont indiqué que les mouvements de virage depuis les voies de virage sont généralement contrôlés par les phases de signalisation ci-dessous lorsque les mouvements entrent en conflit avec un passage piétonnier, dans l'ordre de classement du plus élevé au plus bas (de la phase la plus couramment utilisée par le plus grand nombre d'administrations à la phase la moins utilisée par le plus grand nombre d'administrations) :
 1. Des phases distinctes sont utilisées pour séparer les conflits.

2. Phase de virage protégé-permissif
 3. Phase entièrement permissive
 4. Un cycle avancé pour piétons (CDP) est utilisé, mais les virages sont permissifs.
- Les administrations répondantes ont indiqué que les mouvements de virage depuis les voies de virage sont généralement contrôlés par les phases de signalisation ci-dessous lorsque les mouvements entrent en conflit avec une installation cyclable, dans l'ordre de classement du plus élevé au plus bas :
 1. Des phases distinctes sont utilisées pour séparer les conflits.
 2. Phase entièrement permissive
 3. Un cycle avancé pour cyclistes (CDC) est utilisé, mais les virages sont permissifs.
 4. Phase de virage protégé-permissif
 - La majorité des administrations répondantes (80 %) ont indiqué qu'elles autorisent des modifications du séquençage des phases aux intersections selon l'heure de la journée, tandis que 67 % ont indiqué qu'elles effectuent actuellement des modifications selon l'heure de la journée. La Figure 17 indique le pourcentage d'administrations répondantes qui modifient le séquençage des phases aux intersections selon l'heure de la journée et l'étendue de cette pratique.

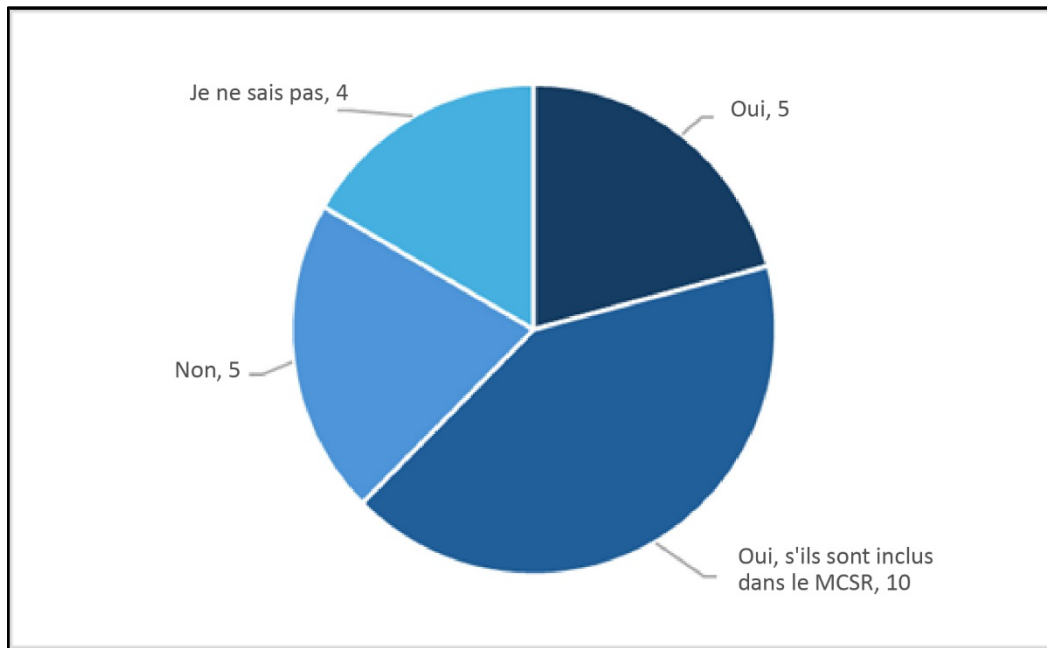
Figure 17 : Pourcentage des administrations répondantes qui modifient le séquençage des phases aux intersections selon l'heure de la journée



Mise en place de la flèche jaune clignotante :

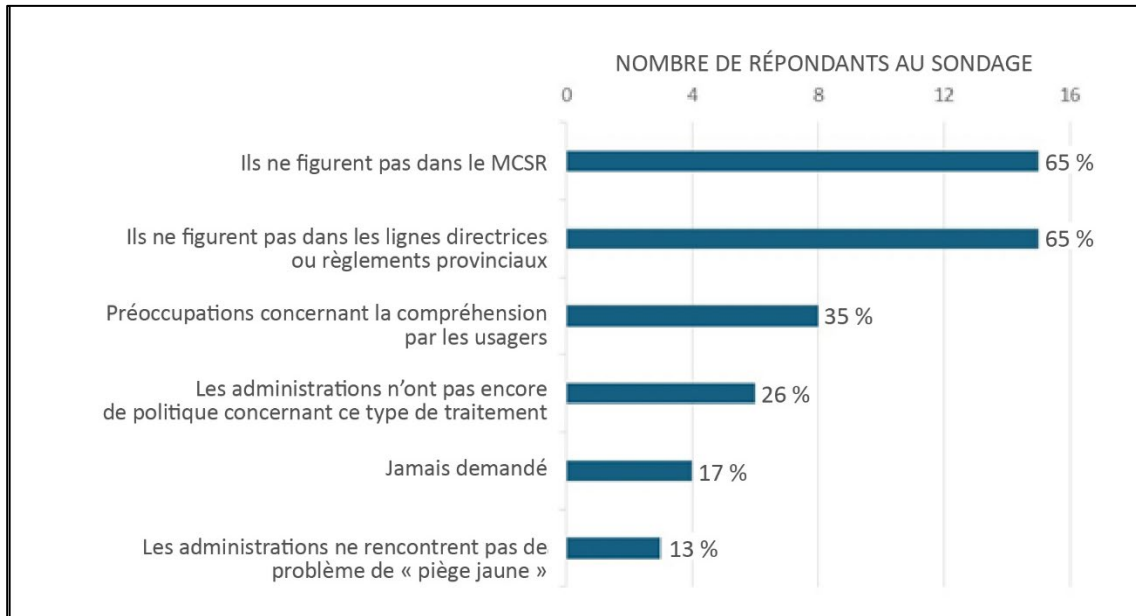
- Toutes les administrations répondantes ont indiqué qu'elles n'utilisent actuellement pas de feux à FJC sur leur territoire.
- Quinze des 24 administrations répondantes ont indiqué qu'elles souhaitaient installer ou étudiaient la possibilité d'installer des feux à FJC, cependant 10 de ces administrations ont indiqué qu'elles le feraient que si les FJC étaient incluses dans le MCSR (ou dans les normes provinciales si on interprète les réponses à d'autres questions de l'enquête), comme l'illustre la Figure 18. Cinq répondants ont indiqué ne pas être intéressés, et quatre étaient incertains.

Figure 18 : Nombre d'administrations répondantes qui souhaitent mettre en place des feux à FJC



- Soixante-quatre pour cent des administrations ont indiqué que l'absence de feux à FJC dans le MCSR constitue un obstacle à la mise en œuvre sur leur territoire, tandis que 36 % (8 sur 22) ont indiqué que cela n'est pas un problème.
- La flèche jaune clignotante est actuellement interdite par 30 % (7 sur 23) des administrations répondantes et non recommandée par 37 % (9 sur 24) des administrations répondantes. Québec a indiqué qu'il existe des règlements interdisant l'utilisation de la FJC.
- Les principales raisons indiquées par les administrations répondantes pour expliquer les raisons pour lesquelles elles n'utilisent pas les flèches jaunes clignotantes sont indiquées à la Figure 19. Les autres raisons ci-dessous ont été indiquées par moins de trois répondants.
 - Aucun problème lié aux virages permissifs
 - Raisons de sécurité
 - Loi ou règlement interdisant leur utilisation
 - L'administration a une politique contre ces installations.
 - Limitations matérielles de la signalisation

Figure 19: Principales raisons données par les administrations répondantes qui ont décidé de ne pas mettre en place des feux de circulation à FJC pour le moment sur leur territoire



5. Séances de discussion de groupe

L'engagement des administrations routières canadiennes s'est fait à travers deux séances de discussion de groupe de deux heures chacune, réparties selon les groupes suivants :

- Administrations de l'ouest (25 novembre 2024)
- Administrations de l'est (27 novembre 2024)

Les séances de discussion de groupe avaient pour objectif d'organiser une discussion animée afin de mieux comprendre les réflexions actuelles des administrations sur les feux à FJC à travers le pays. Les discussions de groupe portaient sur l'examen plus en profondeur des sujets de l'enquête et sur certains aspects des feux à FJC, notamment sur les aspects qui faisaient l'objet d'un consensus, sur ceux pour lesquels les points de vue étaient opposés, sur ceux dont la mise en place offrait certaines possibilités selon les administrations et sur ceux dont la mise en place entraînait des inconvénients selon les administrations. Les municipalités invitées représentaient des administrations réparties à travers le pays, y compris des moyennes et grandes municipalités, ainsi qu'un organisme provincial (Nouvelle-Écosse).

Les séances de discussion de groupe ont débuté par un aperçu des informations sur le projet et le résumé issus de l'analyse documentaire, des entretiens avec les experts et de l'enquête auprès des administrations canadiennes. Il a été déterminé que certains participants ne connaissaient pas bien les FJC avant les séances. Les discussions ont eu lieu concernant les pratiques actuelles de signalisation au sein des administrations, les bénéfices, préoccupations et défis perçus, ainsi que le processus de mise en place des feux à FJC s'ils devaient être introduits au Canada.

Un total de 11 personnes (de l'est) et 12 (de l'ouest) ont participé à deux séances, représentant les 16 administrations indiquées au Tableau 8.

Tableau 8 : Administrations ayant participé aux discussions de groupe

Administrations de l'est	Administrations de l'ouest
Nouvelle-Écosse	Winnipeg (Man.)
Municipalité régionale d'Halifax (N.-É.)	Saskatoon (Sask.)
Fredericton (N.-B.)	Calgary (Alb.)
Ville de Laval (Qc)	Lethbridge (Alb.)
Ville de Montréal (Qc)	Comté de Strathcona (Alb.)
Ottawa (Ont.)	Kelowna (C.-B.)
Toronto (Ont.)	Vancouver (C.-B.)
Mississauga (Ont.)	Richland, Washington, États-Unis

Les contributions issues des séances de discussion de groupe sont résumées au Tableau 9.

Tableau 9 : Contributions des groupes de discussion

Points de consensus	Points de vue opposés
<ul style="list-style-type: none"> • Le MCSR doit ajouter la flèche verte fixe de virage à gauche pour permettre aux administrations routières de s'éloigner des flèches vertes clignotantes de virage à gauche si la FJC est mise en place. • Mener les efforts requis pour que l'utilisation des flèches vertes clignotantes et fixes de virage à gauche soit uniformisée à la grandeur du Canada. • Un feu de circulation à quatre sections est probablement nécessaire pour répondre aux préoccupations ou confusions liées au daltonisme en ce qui concerne les FJC occupant la même position que les anciennes flèches vertes clignotantes de virage à gauche. • Les FJC ne doivent pas être utilisées sur les voies de virage doubles. • La mise en œuvre complète des FJC à tous les emplacements du territoire d'une administration comportant une phase de virage à gauche permissif peut poser certains défis sur le plan des coûts et des coûts-avantages pour certaines administrations. • Le contexte américain était plus simple, car il n'existait pas de feu vert circulaire clignotant ni de flèche verte clignotante, et le message transmis était constant à tous les feux de circulation en termes d'avertissement à l'aide d'un signal clignotant. • Qu'elle soit réalisée à l'aide de FJC ou autres dispositifs, la configuration de signalisation permettant une exploitation à temps partiel d'une phase protégée constitue une lacune que les options existantes de signalisation ne peuvent pas combler pleinement. • Au Québec, l'utilisation d'une FJC de virage à droite permissif serait plus claire que l'utilisation actuelle des flèches vertes fixes et des signaux pour piétons aux virages à droite permissifs. Actuellement, au Québec, une flèche verte fixe de virage est utilisée pour les virages à droite permissifs et les virages à gauche protégés. 	<ul style="list-style-type: none"> • De façon générale, mais non unanime, les répondants appuient la réalisation d'essais de compréhension sur la FJC. Ceux qui sont en faveur croient qu'il est important de comprendre comment la FJC serait interprétée par les personnes dans les différents contextes de signalisation à travers le pays. • Les avis varient sur l'utilisation des FJC sur les voies partagées. Des feux de circulation à FJC sont installés aux États-Unis pour les voies de virage exclusives. Cependant, certaines administrations (par exemple, Montréal) souhaiteraient avoir plus d'informations sur l'utilisation des feux de circulation à FJC sur des voies partagées, en raison du grand nombre de feux de circulation partagés dans les grandes municipalités. • Les avis divergent sur la façon de mettre en place les FJC, soit dans le cadre d'un déploiement complet ou d'un déploiement partiel. On se demande aussi si l'on doit considérer les FJC comme un outil universel ou un outil ciblé. En général, les administrations de l'est prévoient le déploiement ciblé et limité des FJC dans des contextes particuliers et elles sont d'avis qu'elles peuvent être considérées comme un outil de la boîte à outils utilisé pour une mise en œuvre ciblée, tandis que certaines administrations de l'ouest estiment qu'une mise en œuvre globale est nécessaire pour assurer l'uniformité. • Les attentes concernant les exigences en matière de coûts d'immobilisations pour la mise en œuvre varient. Certaines administrations prévoient un déploiement ciblé comprenant des exigences moins élevées de capitalisation tandis que d'autres prévoient un déploiement plus large comprenant des coûts plus élevés liés à l'installation adéquate de feux de circulation aux emplacements de VGPP. • Certaines administrations estiment que les FJC doivent offrir des avantages majeurs sur le plan de la sécurité pour justifier politiquement leur mise en œuvre, tandis que d'autres estiment que la mise en œuvre de FJC pouvait être justifiée relativement facilement en fonction des bénéfices actuels démontrés en matière de sécurité et d'exploitation. • Le niveau de difficulté auquel font face les décideurs varie en ce qui concerne l'adoption des FJC. Certaines administrations prévoient que l'argumentaire de vente sera facile en raison de la conformité de cette approche à la Vision Zéro et aux politiques de protection des usagers

Points de consensus	Points de vue opposés
	<p>vulnérables de la route, car la documentation démontre que la mise en œuvre des FJC améliore la compréhension des conducteurs, améliore les comportements en matière de passage prioritaire des piétons et réduit les collisions lors des virages comparativement au feu vert circulaire. D'autres prévoient qu'il sera difficile de défendre la mise en œuvre des FJC puisqu'elles ont la même signification que le feu vert circulaire qui est déjà en place.</p> <ul style="list-style-type: none"> • La réalisation de projets pilotes fait l'objet d'un intérêt varié. Les administrations de l'est sont généralement plus ouvertes à mener des projets pilotes sur les FJC que les administrations de l'ouest. • Certains considèrent que les FJC font partie de leurs capacités de contrôle de la circulation, tandis que d'autres sont incertains. • Les points de vue et les pratiques divergent concernant l'utilisation de flèches vertes fixes par rapport aux flèches vertes clignotantes pour les virages à gauche.
Possibilités offertes	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Les possibilités offertes faisaient généralement partie des catégories liées à la capacité et à la sécurité. • Le phasage de signalisation et la synchronisation des feux offrent la flexibilité requise pour contourner les limitations auto-imposées par le problème de piégeage en ce qui concerne le phasage de signalisation. • Des options de synchronisation avance-décalage sont possibles s'il n'y a pas de grande circulation au virage à gauche et en sens inverse. • Possibilité de mettre en œuvre un virage à gauche protégé selon l'heure de la journée au lieu d'un virage à gauche protégé à plein temps, lequel peut ne pas être nécessaire ou efficace pendant les heures creuses. • Possibilité d'accroître la sécurité liée aux virages à gauche permissifs qui traversent des installations piétonnes ou cyclistes. • Intérêt à l'égard de l'avertissement fourni par les FJC comparativement aux feux verts circulaires, qui transmettent un message de prudence. 	<ul style="list-style-type: none"> • Confusion en ce qui concerne la signification des flèches vertes clignotantes de virage et, sur certains territoires (C.-B. et Ontario), confusion possible en ce qui concerne la signification des feux verts circulaires clignotants. Cela peut nécessiter de mettre de côté les flèches vertes clignotantes de virage et de perdre les avantages liés aux temps de réaction plus rapides prévus avec les flèches clignotantes. • La FJC pourrait contribuer à la diminution de l'uniformité des feux de circulation à travers le pays si les différentes administrations routières ne les adoptent pas de manière uniforme. • Les règles de la route devraient être mises à jour sur la plupart des territoires. Des mises à jour seraient automatiquement apportées dans certaines administrations routières puisque le MCSR sert de source de référence pour les règlements. • Problèmes liés au positionnement des feux de circulation par rapport à la voie de virage lorsque les virages sont permissifs. Les feux de circulation à FJC doivent être placés directement au-dessus de la voie de virage, alors que de nombreuses administrations placent un feu de circulation partagé au-dessus de deux voies (voie de circulation directe et voie de virage). Pour certaines administrations, les changements apportés à la

Possibilités offertes	Inconvénients
<ul style="list-style-type: none"> • Dispositif utile pour améliorer les options de synchronisation et de phasage avec les cycles devancés pour piétons (CDP). Des CDP séparés et variés peuvent être mis en place pour différents passages piétons à une intersection en fonction des exigences de circulation à chaque tronçon, ce qui améliorerait la sécurité des piétons et l'efficacité opérationnelle aux intersections. • Outil à prendre en considération pour les intersections dont l'historique des collisions est liée aux virages à gauche ou à droite permissifs. • Outil supplémentaire pour la signalisation, la synchronisation des feux et le phasage des feux. 	<p>disposition des signaux pourraient nécessiter des ressources importantes.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Il faut aussi communiquer aux conducteurs la signification de la FJC et potentiellement de la flèche verte de virage. • Il existe probablement des limitations réelles concernant la synchronisation des feux et la flexibilité des phases dues aux limitations de détection et de compréhension des conducteurs.

6. Résumé des conclusions

Ce chapitre présente un résumé des principales conclusions sur les avantages et les défis liés à la mise en œuvre des feux à flèche jaune clignotante (FJC) au Canada, divisés en deux composantes : (1) les résultats issus de l'expérience américaine (obtenus à partir de l'analyse documentaire et des entretiens avec des experts américains) et (2) les données sur l'applicabilité des feux à FJC dans le contexte canadien (obtenues à partir de l'enquête canadienne et des discussions de groupe avec des administrations publiques canadiennes).

6.1 Résultats tirés de l'expérience américaine

Les principales conclusions issues de l'expérience américaine sur l'efficacité et les risques de la mise en œuvre des feux à FJC sont présentées ci-dessous. Afin d'effectuer l'évaluation de l'efficacité des feux à FJC, il est important de prendre en compte la signalisation routière et le phasage des feux de circulation en place avant la mise en œuvre de FJC afin d'établir le contexte dans lequel la conversion doit être faite.

- Le feu de circulation à flèche jaune clignotante (feu à FJC) fournit des directives claires aux conducteurs sur les virages à gauche autorisés, ainsi que des directives exclusives sur la voie de virage à gauche (c'est-à-dire sans feu partagé avec la voie de circulation directe adjacente) et rehausse le niveau de sensibilisation des conducteurs qui effectuent un virage à gauche sur l'exigence de passage prioritaire de la circulation en sens inverse. De plus, le feu de circulation de virage à gauche exclusif améliore les conditions de la circulation en ne nécessitant qu'un feu vert pour la circulation en sens inverse, tandis qu'un feu de circulation partagé exigerait que la circulation en sens inverse et la circulation adjacente aient chacune un feu vert (Medina et al. 2018).
- Les recherches s'entendent pour dire que les feux à FJC entraînent généralement une réduction du taux total de collisions et des collisions lors de virages à gauche lorsque la phase de virage à gauche remplace une phase de feu vert circulaire vert traditionnel pour virage à gauche uniquement permissif ou protégé-permissif (VGPP). Toutefois, le taux de réduction des collisions peut grandement varier en fonction des conditions de circulation, de la géométrie des intersections ainsi que du type et du phasage de la FJC. Une étude de la FHWA avec des données provenant de quatre États (Srinivisan et al., 2020) a constaté une réduction des collisions lors des virages à gauche lorsque le virage à gauche permissif est remplacé par un virage permissif à FJC, cette réduction pouvant aller de 39 à 45 %, et lorsqu'un VGPP est remplacé par un VGPP-FJC, cette réduction pouvant aller de 11 à 18 %. Des avantages sur le plan de la sécurité sont également observés lorsque la phase de virage à gauche d'un feu vert circulaire uniquement permissif est remplacée par une FJC de virage à gauche protégé-permissif (VGPP-FJC), une étude ayant constaté une réduction de 40 % des collisions lors des virages à gauche. (Simpson & Troy, 2015)
- Des simulations de conduite, une enquête et des études d'observation sur le terrain ont démontré que les flèches jaunes clignotantes sont bien comprises et offrent un rendement significativement supérieur à celui des feux verts circulaires pour virages à gauche et à droite permissifs en ce qui concerne les exigences de passage prioritaire. En général, la FJC permet une meilleure compréhension des conditions de virage à gauche et à droite permissif, ainsi qu'une plus grande conformité et un plus grand respect en ce qui concerne les exigences de passage prioritaire des piétons.

- Grâce à l'amélioration des comportements relatifs aux exigences de passage prioritaire, les FJC peuvent renforcer la sécurité des piétons aux intersections signalisées où le nombre de virages est élevé (Hurwitz, et al., 2018). Des recherches ont démontré que les délais d'attente sont plus longs pour les manœuvres de virage à droite aux feux à FJC, ce qui indique que la présence de piétons est davantage respectée (Nassereddine, et al., 2023). La documentation suggère également que, bien que certains usagers affichent une mauvaise compréhension des FJC en s'arrêtant avant de tourner, les comportements relatifs aux exigences de passage prioritaire entraînent une sécurité accrue des piétons (Kothuri et al., 2020). Aucune recherche n'a été trouvée concernant la sécurité des cyclistes.
- Les feux de circulation à FJC peuvent offrir la flexibilité opérationnelle requise pour améliorer l'efficacité des intersections et réduire les délais moyens d'attente en permettant des modes de virage à gauche variés selon l'heure de la journée et la demande de circulation. Un virage à gauche traditionnel uniquement protégé ne peut pas être modifié selon l'heure de la journée, tandis qu'un feu à FJC à trois ou quatre sections peut passer d'une phase de virage à gauche uniquement protégé à une phase de virage à gauche uniquement permissif ou à une phase de virage à gauche protégé-permissif pendant les périodes à faible débit de circulation. Une étude (Abou-Senna et al., 2023) a constaté une réduction de 25 % du délai d'attente tout au long de la journée grâce à la mise en place d'une FJC de virage à gauche d'après les intervalles mesurés en temps réel dans la circulation en sens inverse.
- Par rapport au phasage permissif d'un feu vert circulaire, le feu à FJC offre également l'avantage de pouvoir afficher des cycles devancés pour piétons (CDP) de différentes longueurs à différents passages piétons, ce qui peut améliorer l'efficacité opérationnelle et les comportements liés au passage prioritaire des piétons et cyclistes. Cette technique de circulation hybride permet également la mise en œuvre d'un cycle de virage sur feu rouge (variable pour les virages à droite et à gauche) pendant un CDP au lieu de la mise en œuvre d'un virage protégé et de l'augmentation de la durée du cycle si l'augmentation de la durée du cycle n'est pas souhaitable.
- Le feu à FJC peut compter trois ou quatre sections. Le feu à FJC à quatre sections est le type de feu couramment utilisé pour la phase de virage à gauche protégé-permissif avec la FJC (VGPP-FJC), comme l'indique le MUTCD, mais il est habituellement remplacé par un feu à trois sections si une phase de virage uniquement protégé est mise en place à temps plein. Les feux à FJC à trois sections disposent de FJC à lentilles doubles (bimodales) : une ampoule clignotante partagée verte et jaune située en bas ou une flèche jaune fixe et clignotante partagée située au centre. Par rapport aux feux à FJC à quatre sections, les feux à FJC à trois sections offrent l'avantage que les feux existants traditionnels peuvent être plus facilement modifiables, que les phases de signalisation peuvent être transformées en phases uniquement protégées de 24 heures, qu'un dégagement vertical moins grand est requis et que le coût d'installation global est plus bas.
- Le MUTCD autorise, mais « ne recommande pas », l'installation d'un panneau supplémentaire indiquant de céder en tournant à gauche sur flèche jaune clignotante (ou en tournant à droite) à proximité du feu à FJC. Des recherches ont montré que l'installation d'un panneau supplémentaire peut améliorer la sécurité, alors qu'en Illinois, Schattler et al. (2016) ont constaté une réduction supplémentaire de 9 % des collisions lors des virages à gauche lorsque des panneaux supplémentaires sont installés à proximité du feu à FJC, et dans le Minnesota, Davis et al. (2023) ont constaté une augmentation du niveau de compréhension des conducteurs en ce qui concerne les feux à FJC de 94 à 96 % lorsqu'un panneau supplémentaire est installé, tout en constatant que les conducteurs

respectent davantage l'espacement requis entre véhicules lorsque le panneau est présent (c'est-à-dire qu'ils adoptent une conduite plus conservatrice). Il est noté que le panneau supplémentaire serait très difficile à produire en version bilingue, en raison de la quantité de texte, ou sous forme de panneau symbolique au Canada.

- Le début du signal de FJC peut être retardé pour la transition d'un virage à gauche protégé à un virage protégé-permissif par un intervalle de dégagement entièrement rouge (c'est-à-dire une flèche rouge) avant le début de la FJC. De nombreuses administrations américaines qui ont installé des FJC mettent également en place un délai (Appiah & Cottrell, 2014). Une étude a révélé que la mise en place d'un intervalle de dégagement entièrement rouge entre les phases protégée et permissive (c'est-à-dire le début retardé de la FJC) n'avait pas d'impact significatif sur le délai d'attente moyen des véhicules tournant à gauche ou à l'intersection dans son ensemble (Appiah & Cottrell, 2014), tandis qu'une autre étude a constaté une légère augmentation de quelques secondes du délai d'attente moyen des véhicules (Panthangi, 2019). Cependant, l'intervalle de dégagement rouge a permis un meilleur rendement en matière de sécurité. (Panthangi, 2019; Tainter, Christofa, & Knodler, 2020)
- Des études ont montré les avantages économiques positifs de l'utilisation d'un feu à FJC lorsqu'il remplace une phase de virage à gauche uniquement permissif ou une phase de virage à gauche protégé-permissif puisque le nombre de collisions est réduit. L'étude de la FHWA (Srinivasan et al., 2020) a établi une fourchette des ratios moyens bénéfices-coûts (B/C) allant de 56:1 à 144:1, le ratio B/C le plus élevé étant atteint lorsqu'une phase de virage à gauche uniquement permissif est remplacée par une phase de virage à gauche protégé-permissif à FJC. Le remplacement d'une phase de virage à gauche uniquement protégé ne produit pas de rapport bénéfices-coûts positifs.
- Une phase de virage à gauche uniquement protégé peut être remplacée par une phase de virage à gauche protégé-permissif à FJC (VGPP-FJC) parce que celle-ci offre des avantages opérationnels liés à la réduction des délais d'attente grâce à la mise en place d'une phase de virage permissif. L'utilisation d'un feu à FJC à quatre sections offre également la flexibilité requise pour convertir le phasage de signalisation et elle permet la mise en place de toutes les phases de virage à gauche (protégé, permissif et VGPP). Cependant, en général, le remplacement d'une phase de signalisation uniquement protégée en une phase de VGPP-FJC entraîne une augmentation des collisions lors des virages à gauche par un facteur de 2,7 à 3,4 (Medina, et al., 2018) ainsi qu'une augmentation de la gravité des collisions, l'un impact étant moindre sur le total des collisions. Cependant, il est important de comprendre que l'augmentation des collisions est attribuable à la mise en place d'une phase permissive et non au feu à FJC. Le feu à FJC peut réduire les répercussions négatives en matière de sécurité liées au remplacement d'une phase uniquement protégée par une phase de VGPP en offrant la flexibilité requise pour permettre uniquement des mouvements permissifs lorsque cela est nécessaire en raison des exigences liées à l'heure de la journée et à la circulation. Bien que bénéfiques, les avantages liés à l'exploitation d'un feu à FJC dans ce scénario de conversion de phase (protégé par VGPP) ne sont pas suffisamment significatifs pour compenser les répercussions négatives sur la sécurité du changement de phasage.
- Dans le contexte canadien, l'utilisation d'un feu à FJC à trois sections avec une lentille à flèche double et une lentille verte et jaune clignotante partagée située au bas du feu de circulation peut poser problème aux daltoniens. Aux États-Unis, les conducteurs peuvent différencier la phase de signalisation et la couleur du signal grâce au mode clignotant et non clignotant, car les flèches vertes clignotantes ne sont pas utilisées aux États-Unis. Les enjeux liés au daltonisme seraient probablement

une préoccupation plus importante au Canada où une flèche verte clignotante est utilisée, car il serait difficile pour les conducteurs daltoniens de distinguer la signification d'une flèche clignotante si le vert et le jaune sont affichés sur la même lentille, car la flèche clignotante pourrait indiquer un virage protégé (vert clignotant) ou un virage permissif (jaune clignotant). Bien que la lentille bimodale verte-jaune présente de nombreux avantages par rapport aux autres feux à FJC, dans le contexte canadien, un feu à FJC à quatre sections ou un feu de circulation à trois sections avec lentille centrale partagée de feu jaune fixe et clignotant pourrait être mieux compris par les conducteurs daltoniens si la séquence de couleurs prévisible du rouge, au jaune, au vert était maintenue du haut vers le bas.

- Les entretiens ont révélé que, bien que la FJC soit largement utilisée à travers les États-Unis, certaines administrations hésitent à exploiter les FJC, car elles sont satisfaites des techniques traditionnelles, car elles ne les connaissent pas bien, car elles craignent que les conducteurs ne comprennent pas leur signification, ainsi qu'en raison du coût des modifications des infrastructures et des modifications obligatoires aux règles de la route de l'administration. Certains coûts sont associés au remplacement des feux de circulation traditionnels en feux à FJC à trois ou quatre sections. Certaines études ont présenté les coûts associés à ces améliorations, lesquelles peuvent varier selon le dispositif de signalisation de virage à gauche, la longueur du bras du mât, le type et l'emplacement du poteau, le type de feu de circulation, la position latérale du feu de circulation, ainsi que la présence de feux pour piétons, de boutons-poussoirs et de minuteries avec symbole de main ou compte à rebours (Chambers, 2016; Jones, Foster, & Bhagat, 2023). De plus, à l'instar du contexte canadien, l'installation de feux à FJC aux États-Unis exige que chaque État modifie ses règles de la route pour créer des règles permettant l'utilisation de flèches jaunes clignotantes, car elles ne sont pas couvertes par les règles de la route antérieures aux modifications.

6.2 Applicabilité des feux de circulation à FJC dans le contexte canadien

Les principaux résultats de l'enquête auprès des administrations canadiennes et des séances de discussion de groupe avec des spécialistes représentant des administrations de différentes tailles et situées à différents emplacements géographiques au Canada sont présentés ci-dessous.

- Des préoccupations subsistent concernant l'utilisation non uniforme des feux verts fixes et clignotants à travers le Canada, et on craint que l'ajout de FJC dans le contexte actuel puisse aggraver le manque d'uniformité quant à l'utilisation des feux de circulation à travers le Canada et puisse créer de la confusion chez les conducteurs. Il s'agit d'une différence majeure par rapport aux résultats obtenus aux États-Unis. Le manque d'uniformité au Canada est entre autres attribuable aux points ci-dessous.
 - Les flèches vertes clignotantes sont utilisées de façon prédominante pour les virages à gauche protégés sur le territoire de la plupart des administrations de l'ouest du Canada, tandis que les flèches vertes fixes sont utilisées pour les virages à gauche protégés sur le territoire de la plupart des administrations de l'est du Canada.
 - Le feu vert circulaire clignotant est utilisé pour indiquer les demi-feux piétons en Colombie-Britannique et pour les virages à gauche protégés sur le territoire de certaines

administrations du Québec et de l'Ontario (bien que l'Ontario ait presque supprimé ce type de feu de circulation en raison de la date d'élimination d'origine de 2010).

- La flèche verte fixe est utilisée pour les virages à gauche protégés et les virages à droite permissifs au Québec.
- La flèche verte fixe de virage à gauche devrait être incluse dans le MCSR pour refléter son utilisation généralisée dans l'est du Canada, quel que soit le résultat en ce qui concerne la FJC. Si la FJC est adoptée, l'ajout de la flèche verte fixe de virage à gauche au MCSR offrirait aux administrations routières dont les lois et règlements de signalisation sont étroitement liés au MCSR la possibilité de s'éloigner de la flèche verte clignotante de virage à gauche dans le cadre du processus d'ajout de la FJC.
- La plupart des administrations ont convenu que des essais de compréhension de conduite supplémentaires et des études pilotes seraient bénéfiques en ce qui concerne la FJC, spécifiquement pour comprendre le niveau de compréhension des conducteurs en ce qui concerne la FJC dans les différents contextes de signalisation sur le territoire des différentes administrations routières canadiennes.
- Les intentions des administrations routières concernant les FJC varient en matière de sécurité et d'avantages opérationnels. Cependant, la plupart des administrations ont convenu que les avantages en matière de sécurité seraient le principal facteur qui pourrait convaincre les décideurs, en particulier ceux ayant établi des politiques de Vision Zéro et de protection des usagers vulnérables de la route. Certaines administrations ont exprimé des préoccupations quant à la difficulté de justifier les coûts et les coûts-avantages liés au remplacement des feux verts circulaires qui ont la même signification que les FJC.
- L'enquête a révélé que, bien que les administrations répondantes ne font pas face à des problèmes d'interprétation erronée du feu vert circulaire pour les virages permissifs, elles indiquent qu'elles font face à des problèmes comportementaux ou de conformité attribuables aux collisions découlant des virages permissifs. Bien qu'on ne puisse pas déterminer avec certitude que les problèmes de conformité sont liés à la mauvaise compréhension ou à la mauvaise évaluation de l'espacement requis lors de mouvements conflictuels, les problèmes actuels liés aux virages permissifs offrent le potentiel d'améliorer la sûreté des virages permissifs à l'aide de la FJC.
- Le phasage de piégeage n'est pas une préoccupation au Canada, et ce, parce que ce phasage est évité de manière intentionnelle, soit parce que les normes réglementaires l'interdisent (par exemple, les situations de piégeage sont interdites au Québec), soit parce que le phasage de signalisation ne permet pas leur existence de façon sécuritaire (c'est-à-dire qu'il n'est pas possible d'utiliser la signalisation à FJC). Toutefois, certaines intersections pourraient bénéficier de ce type de phasage pour améliorer leur efficacité opérationnelle. L'ajout de flèches jaunes clignotantes pourrait permettre la mise en œuvre de ce type de phasage (virages permissifs sur feu vert décalé en sens inverse) tout en améliorant la sécurité des virages permissifs pendant ces séquences de phasage grâce à l'attention accrue des conducteurs autorisés à effectuer un virage.
- Les avis sur le processus de mise en œuvre ont été mitigés. Les administrations de l'est envisagent principalement une mise en œuvre partielle et ciblée et elles considèrent la FJC comme un outil à utiliser aux intersections qui en bénéficieraient, tandis que les administrations de l'ouest

envisagent surtout un déploiement à l'échelle de leur territoire pour éviter toute confusion entre deux types de feux ayant la même signification (la FJC et le feu vert circulaire). Un déploiement complet nécessiterait un coût d'investissement plus élevé et est perçu comme un processus qu'elles auraient de la difficulté à approuver, à financer et à mettre en œuvre.

- L'absence de FJC dans le MCSR et dans les règlements gouvernementaux a été la principale raison mentionnée pour l'absence de FJC au Canada. Les exigences réglementaires pour la mise en œuvre de la FJC varient selon les administrations, certaines ne nécessitant que leur ajout au MCSR, car leurs règlements renvoient au MCSR, tandis que d'autres exigent la modification de la réglementation et des règles de circulation de la part de leur organisme gouvernemental.
- Dans l'ensemble, les avis sur la mise en œuvre des FJC au sein des administrations canadiennes étaient partagés. Les préoccupations portaient sur l'ajout d'un nouveau dispositif de signalisation à l'échelle du Canada, alors que les feux de circulation manquent déjà d'uniformité au pays, la confusion créée avec la flèche verte clignotante (et le feu vert circulaire clignotant sur certains territoires), le coût d'immobilisations associé aux modifications des feux de circulation et aux modifications de la disposition des feux (le feu à FJC doit être placé séparément au-dessus des voies de virage), ainsi que la justification des coûts-bénéfices pour que les décideurs puissent remplacer les feux verts circulaires par des FJC qui effectuent la même tâche. Inversement, certaines administrations ont manifesté un intérêt pour les feux à FJC en estimant que l'ajout de cet outil de signalisation dans la boîte à outils serait avantageux sur le plan de la sécurité et du fonctionnement des intersections. Elles sont d'avis que l'application d'une approche ciblée de mise en œuvre permettrait un processus de mise en œuvre plus justifiable.

7. Recommandations pour les prochaines étapes

D'après les conclusions de ce rapport, les administrations canadiennes souhaitent poursuivre l'application potentielle des flèches jaunes clignotantes (FJC) au Canada. Les prochaines étapes recommandées par l'Association des transports du Canada pour la mise en œuvre potentielle des FJC sont les suivantes :

Étape 1 : Prendre les mesures requises pour ajouter la flèche verte fixe de virage à gauche dans le MCSR. Cette recommandation est indépendante de la mise en œuvre des FJC, mais elle pourrait la faciliter. Le feu vert fixe de virage à gauche est utilisé au Canada et son adoption dans le MCSR aurait le potentiel d'améliorer l'uniformité à travers le Canada et faciliterait la future mise en œuvre de la FJC.

Étape 2 : Développer des configurations de feux de circulation et de séquençage de signalisation pour les FJC dans des contextes de voies exclusives, dans des contextes de voies partagées, ainsi qu'avec un phasage de virage permissif et un phasage de virage protégé et permissif. L'utilisation de lentilles bimodales doit également être envisagée dans cette étape. Il est recommandé que ces éléments fassent l'objet d'essais de compréhension.

Étape 3 (réalisée par les organisations) : Mener des études pilotes pour évaluer l'efficacité des FJC pour les virages à gauche et à droite dans différents contextes. Ces contextes sont entre autres les suivants :

- les voies de virage exclusives
- les voies partagées
- les phases de virage permissif
- les phases de virage protégé et permissif
- sur le territoire des administrations qui utilisent en grand nombre les flèches vertes clignotantes de virage
- sur le territoire des administrations qui utilisent en grand nombre les flèches vertes fixes de virage.

Étape 4 : Élaborer le texte qui sera utilisé dans le MCSR pour les FJC. Déterminer simultanément si des modifications sont nécessaires à la section B4.5.4 du MCSR – Piégeage, en tenant compte de la disponibilité des FJC.

8. Références

- AASHTO. (2010). *Highway Safety Manual (1st Edition)*. American Association of State Highway and Transportation Officials.
- AASHTO. (2012). *Guide for the Development of Bicycle Facilities (fourth edition)*. Washington DC : American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Abou-Senna, H., Hibbert, J. et Hashim, A. (2023). Evaluation of Dynamic Flashing Yellow Arrow Decision Support System in the Field Using Before and After Real-Time Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2677(8).
- Abou-Senna, H., Radwan, E. et Eldeeb, H. (2019). Dynamic Flashing Yellow Arrow (FYA): A Study on Variable Left Turn Mode Operational and Safety Impacts, Phase III. Florida Department of Transportation Research Center.
- Abou-Senna, H., Radwan, E. et Eldeeb, H. (2021). A peer-to-peer logic environment to validate flashing yellow arrow decision support system. *Journal of Traffic and Transportation Engineering*, 8(5):735-750.
- Alfawzan, M. (2019). Warrants for Right-Turn Flashing Yellow Arrow Signal Phases. Université du centre de la Floride.
- Appiah, J. et Cottrell, B. (2014). Safety and Operational Impacts of Optional Flashing Yellow Arrow Delay. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2463(1).
- Brehmer, C., Kacir, K., Noyce, D. et Manser, M. (2003). *NCHRP Report 493- Evaluation of Traffic Signal Displays for Protected/Permissive Left-Turn Control*. Washington, D.C. : Transportation Research Board.
- Buehler, R. et Dill, J. (2016). Bikeway Networks : A Review of Effects on Cycling. *Transport Reviews*, 9-27.
- Casola, E. (2018). Driver Understanding of the Flashing Yellow Arrow and Dynamic No Turn on Red Sign for Right Turn Applications. Amherst : Université du Massachusetts.
- Chambers, E. (2016). Flashing Yellow Arrow Traffic Signal Operation: A Clinical Methodology for Field Conversion. Université de l'Arizona.
- Chandler, AZ. (2024). *Yellow Flashing Left Turn Arrow*. Extrait du site Web de Chandler, Arizona : <https://www.chandleraz.gov/residents/transportation/traffic-management/yellow-flashing-left-turn-arrow>
- Chen, C. (2023). *Evaluation of the Flashing Yellow Arrow Safety and Effectiveness*. Pomono : Université polytechnique de la Californie.
- City of Santa Rosa. (2024). *Flashing Yellow Arrow Left Turn Signals*. Extrait du site Web de la Ville de Santa Rosa: <https://www.srcity.org/909/Flashing-Yellow-Arrow-Left-Turn-Signals>

CROW. (2016). *Dutch Design Manual for Bicycle Traffic*. Utrecht : Technology Platform for Transport, Infrastructure and Public Space.

Cunningham, C., Pyo, K., Baek, J., Byrom, E. et Warchol, S. (2020). *Guidelines for Implementation of Right Turn Flashing Yellow Arrows and Leading Pedestrian Intervals*. Institute for Transportation Research & Education, Université de la Caroline du Nord.

Davis, G., Hourdos, J. et Moshtagh, V. (2015). *Development of Guidelines for Permitted Left-Turn Phasing*. St. Paul, MN : Minnesota Department of Transportation.

Davis, G., Stern, R., Duhn, M. et Gao, J. (2023). *Driver Comprehension of Flashing Yellow Arrows*. St. Paul, Minnesota : Minnesota Department of Transportation.

DiGioia, J., Watkins, K. E., Xu, Y., Rodgers, M. et Guensler, R. (2017). Safety Impacts of Bicycle Infrastructure : A Critical Review. *Journal of Safety Research*, 105-119.

Dill, J. et McNeil, N. (2013). Four Types of Cyclists? : Examination of Typology for Better Understanding of Bicycling Behavior and Potential. *Transportation Research Record No. 2387*, 129-138.

Dill, J. et McNeil, N. (2016). Revisiting the Four Types of Cyclists : Findings from a national survey. *95th Annual Meeting of the Transportation Research Board*.

Fehr and Peers. (2015). *Active Transportation Performance Measures*. Walnut Creek, Californie.

Ferenchak, N. et Marshall, W. (2019). Advancing healthy cities through safer cycling : An examination of shared lane markings. *International Journal of Transportation*, 136-145.

FHWA. (2010). *A Guide to Developing Quality Crash Modification Factors*. Washington DC : Federal Highway Administration.

FHWA. (2013). *Traffic Monitoring Guide (No. FHWA-PL-13-015)*. Washington DC : Federal Highway Administration.

FHWA. (2013a). *Signalized Intersections Informational Guide, Second Edition*. Washington, DC : Federal Highway Administration .

FHWA. (2013b). *Traffic Monitoring Guide (No. FHWA-PL-13-015)*. Washington DC : Federal Highway Administration.

FHWA. (2015). *Separated Bike Lane Planning and Design Guide*. Washington DC : Federal Highway Administration.

FHWA. (2019). *Bikeway Selection Guide*. Washington DC : Department of Transportation Federal Highway Administration des États-Unis.

FHWA. (2020). TechBrief- Safety Evaluation of Flashing Yellow Arrows at Signalized Intersections. Washington, DC : Federal Highway Administration.

FHWA. (2023). Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways, 11th Edition. Washington, DC : FHWA.

Gong, Y. et Yang, X. (2023). *Development of Crash Modification Factors (CMF) for Utah*. Salt Lake City, UT : Utah Department of Transportation.

Hajbabaie, A., Sattarov, S. et Mohebifard, R. (2018). *Safety and Operations Assessment of Various Left-Turn Phasing Strategies*. Olympia, Washington : Washington State Department of Transportation.

Harris, A., Reynolds, C., Winters, M., Cripton, P., Shen, H., Chipman, M., . . . Teschke, K. (2013). Comparing the effects of infrastructure on bicycling injury at intersections and non-intersections using a case–crossover design. *Injury Prevention*, 303-310. DOI :10.1136

Hurwitz, D. et Monsere, C. (2013). Driver Behavior in the Presence of Pedestrians at Signalized Intersections Operating the Flashing Yellow Arrow. Université d'État à Portland.

Hurwitz, D., Monsere, C., Kothuri, S. et Jashami, H. (2018a). *Driver Comprehension of Permissive Right-Turns with a Flashing Yellow Arrow (FYA)*. Université de l'Oregon et Université d'État à Portland.

Hurwitz, Monsere, Kothuri, Jashami, Buker et Kading. (2018b). *Improved Safety and Efficiency of Protected/Permitted Right-Turns in Oregon*. Salem, OR : Oregon Department of Transportation.

Jashami, H. (2020). Evaluation of Driver Behavior during Right Turn Maneuvers at Signalized Intersections : Mitigation of Driver-Pedestrian Conflicts with a Right Turn Flashing Yellow Arrow. Université de l'Oregon.

Jashami, H., Hurwitz, D., Monsere, C. et Kothuri, S. (2019). Evaluation of Driver Comprehension and Visual Attention of the Flashing Yellow Arrow Display for Permissive Right Turns. *Transportation Research Record*, 2673(8) : 397-407.

Jones, J., Foster, N. et Bhagat, K. (2023). *Safety Evaluation of Permissive Flashing Yellow Arrows for Left-Turning Movements in Missouri*. Jefferson City, MO : Missouri Department of Transportation.

Kassim, A., Ismail, K. et McGuire, S. (2019). Operational Evaluation of Central Sharrows and Dooring Zone Treatment on Road User Behaviour. *Transportation Research Board 98th Annual Meeting*. Washington DC : TRB.

Knodler, M., Noyce, D., Kacir, K. et Brehmer, C. (2001). Driver Understanding of the Green Ball and Flashing Yellow Arrow Permitted Indications : A Driving Simulator Experiment. *ITE 2001 Annual Meeting and Exhibit*. Chicago, Illinois, États-Unis : Institute of Transportation Engineers.

Knodler, et al. (2017). A Driving Simulator Evaluation of Red Arrows and Flashing Yellow Arrows in Right-Turn Applications : Establishing the Foundation for Future Research . SAFER SIM, University Transportation Center.

- Knodler, M., Noyce, D. et Brehmer, C. (2005). Evaluation of Flashing Yellow Arrow in Traffic Signal Displays with Simultaneous Permissive Indications. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 1918(1).
- Knodler, M., Noyce, D., Kacir, K. et Brehmer, C. (2006). Analysis of Driver and Pedestrian Comprehension of Requirements for Permissive Left-Turn Applications. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 1982(1) :65-75.
- Koch, S. (2024). *Do drivers understand flashing yellow arrows? U research offers guidance for local agencies*. Extrait du site Web de l'Université du Minnesota, Center for Transportation Studies : <https://www.cts.umn.edu/news-pubs/news/2024/may/arrows>
- Lee, T., Cunningham, C. et Simpson, C. (2023). Safety Evaluation for Conversion From Protected-Only Left-Turn Phasing to Time-of-Day Protected-Permissive Left-Turn Phasing Using Flashing Yellow Arrows. *Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board*, 2677(6) : 609-619.
- Lin, P., Fabregas, A. et Gonzalez-Velez, E. (2012). Assessment of a Flashing Yellow Arrow Signal Implementation Using Gap Acceptance Measures. *Nineth Asia Pacific Transportation Development Conference*. Sustainable Transportation Systems: Plan, Design, Build, Manage, and Maintain.
- Llorca, C., Angel-Domenech, A., Agustin-Gomez, F. et Garcia, A. (2017). Motor vehicles overtaking cyclists on two-lane rural roads: analysis on speed and lateral clearance. *Safety Science*, Vol. 92 : 302-310.
- Lubitz, W. et Rubie, B. (2018). Wing Loads on Cyclists Due to Passing Vehicles. Proceedings of The Canadian Society for Mechanical Engineering (CSME) International Congress 2018. Toronto : CSME.
- Mahbub, M., Kang, M. et Lee, J. (2019). Protected–Permissive Left Turn Phasing with Flashing Yellow Arrow Signal : Study of Red Intervals for an Effective Phase Transition. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 46(8).
- MASSDOT. (2015). *Separated Bike Lane Planning & Design Guide*. Boston : Massachusetts Department of Transportation.
- Medina, J., Shea, M. et Azra, N. (2018). *Safety Effects of Protected and Protected/Permissive Left-Turn Phases*. Salt Lake City, UT : Utah Department of Transportation.
- MTO. (2014). *Ontario Traffic Manual - Book 18 - Cycling Facilities*. St. Catherines : Ministère des Transports de l'Ontario.
- NACTO. (2014). *Urban Bikeway Design Guide (second edition)*. New York : National Association of City Transportation Officials.
- Nassereddine, H., Santiago-Chaparro, K. et Noyce, D. (2023). Evaluating Right-Turn Flashing Yellow Arrow for Vehicle–Pedestrian Interactions Using a Non-Probabilistic Regression Approach. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 2678(2).

- NCDOT. (2015). *Dual Left Flashing Yellow Arrow*. North Carolina Department of Transportation.
- NCHRP. (2018, 10). *NCHRP 17-84 : Pedestrian and Bicycle Safety Performance Functions for the Highway Safety Manual*. Extrait du site Web du National Cooperative Highway Research Program : <http://apps.trb.org/cmsfeed/TRBNetProjectDisplay.asp?ProjectID=4203>
- NHTSA. (2017). *Traffic Safety Facts 2015*. Washington DC : National Highway Traffic Safety Administration.
- Noyce, D., Bergh, C. et Chapman, J. (2007). Evaluation of the Flashing Yellow Arrow Permissive Left-Turn Indication Field Implementation. Madison, WI : Université du Wisconsin-Madison.
- Noyce, D., Bill, A. et Knodler, M. (2014). Evaluation of the Flashing Yellow Arrow (FYA) Permissive Left-Turn and Yellow Arrow Change Indications in Protected/Permissive Left-Turn Control : The Impact of Separate and Shared Yellow Signal Sections and Head Arrangements. National Cooperative Highway Research Program Transportation Research Board of the National Academies.
- Panthangi, R. (2019). Modelling the Surrogate Safety of Various Left-Turn Phase Sequences. Université du Massachusetts.
- Pulugurtha, S., Agurla, M. et Khader, K. (2012). *How Effective are "Flashing Yellow Arrow" Signals in Enhancing Safety?* Transportation and Development Institute Congress 2011 : Integrated Transportation and Development for a Better Tomorrow.
- Radwan, E., Abou-Senna, H., Navarro, A. et Chalise, S. (2013). Dynamic Flashing Yellow Arrow (FYA): A Study on Variable Left Turn Mode Operational and Safety Impacts. Florida Department of Transportation.
- Radwan, E., Abou-Senna, H., Eldeeb, H. et Navarro, A. (2016). Dynamic Flashing Yellow Arrow (FYA): A Study on Variable Left-Turn Mode Operational and Safety Impacts, Phase II – Model Expansion and Testing. Florida Department of Transportation.
- Ramage-Morin, P. (2017). La pratique de la bicyclette au Canada. *Rapports sur la santé*, 3-9.
- Rescot et al. (2015). *Evaluation of Flashing Yellow Arrow Traffic Signals in Indiana*. Indianapolis, IN : Indiana Department of Transportation.
- Ryan, A., Casola, E., Fitzpatrick, C. et Knodler, M. (2019). Flashing yellow arrows for right turn applications : A driving simulator study and static evaluation analysis. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 66 : 324-338.
- Ryus, P., Ferguson, E., Lausten, K. M., Schneider, R. J., Proulx, F. R., Hull, T. et Miranda-Moreno, L. (2014). *NCHRP Report 797 : Guidebook on Pedestrian and Bicycle Volume Data Collection*. Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program. Washington DC : National Academies.

- Santacreu, A. (2018). Safer City Streets Global Benchmarking for Urban Road Safety : document de travail du Forum international des transports. Paris : Publications de l'OCDE.
- Sattarov. (2018). A Framework for Analyzing the Effects of Left-Turn Control Modes on Intersection Operations. Université de l'État de Washington.
- Schattler, K., Anderson, E. et Hanson, T. (2016). *Safety Evaluation of Flashing Yellow Arrows for Protected/Permissive Left-Turn Control*. Springfield, IL : Illinois Department of Transportation.
- Schattler, K., Gulla, C., Wallenfang, T., Burdett, B. et Lund, J. (2015). Safety Effects of Traffic Signing for Left Turn Flashing Yellow Signals. *Accident Analysis and Prevention*, 75, pp 252-263.
- Schattler, K., Rietgraf, A., Burdett, B. et Lorton, W. (2013). *Driver Comprehension and Operations Evaluations of Flashing Yellow Arrows*. Illinois Center for Transportation.
- Semler, C., Vest, A., Kingsley, K., Mah, S., Kittelson, W., Sundstrom, C. et Brookshire, K. (2016). *Guidebook for Developing Pedestrian and Bicycle Performance Measures (HEP-16-037)*. Washington DC : FHWA.
- Simpson, C. et Troy, S. (2015). Safety Effectiveness of Flashing Yellow Arrow : Evaluation of 222 Signalized Intersections in North Carolina. *Transportation Research Record*, 2492(1).
- Srinivasan, R., Lan, B. et Signor, K. (2018). Crash Modification Factors for the Flashing Yellow Arrow Treatment at Signalized Intersections. *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 2672(30).
- Srinivasan, R., Lan, B., Carter, D., Smith, S. et Signor, K. (2020). *Safety Evaluation of Flashing Yellow Arrow at Signalized Intersections, FHWA-HRT-19-036*. Department of Transportation, FHWA, États-Unis.
- ATC. (2012). Guide canadien de signalisation des voies cyclables (2^e édition). Ottawa : Association des transports du Canada.
- ATC. (2017). *Guide canadien de conception géométrique des routes*. Ottawa : Association des transports du Canada.
- ATC. (2017). Guide des pratiques de surveillance de la circulation pour les provinces et les municipalités du Canada. Ottawa : Association des transports Canada.
- Tainter, F., Christofa, E. et Knodler, M. (2020). All-Red Clearance Intervals for Use in the Left-Turn Application of Flashing Yellow Arrows. *Journal of Transportation Engineering, Part A : Systems*, 146(4).
- Tainter, F., Fitzpatrick, C. et Knodler, M. (2021). Evaluating the Safety Impacts of Flashing Yellow Permissive Left-Turn Indications in Massachusetts. Amherst : Université du Massachusetts.
- Thapa, R., Asaduzzaman, M. et Abedi, K. (2022). *Evaluating Permitted/Protected Versus Protected Left-Turn Signals in Louisiana*. Louisiana Department of Transportation and Development.
- Translink. (2013). Wayfinding Guidelines for Utility Cycling in Metro Vancouver. Vancouver.

- Transports Canada. (2017). Statistiques sur les collisions de la route au Canada 2015. Ottawa.
- U.S. HHS. (2018). *U.S. Department of Health & Human Services, Centre for Disease Control and Prevention*. Extrait du site Web du WISQRAS, Web-based Injury Statistics Query and Reporting System : <https://webappa.cdc.gov/sasweb/ncipc/nfirates.html>
- Vélo Québec. (n.d.). Aménager pour les piétons et les cyclistes. Montréal.
- Virginia DOT. (2016). Instructional and Informational Memorandum: Flashing Yellow Arrow Signal Indication for Permissive Left-Turn Movements. Richmond, VA : Virginia Department of Transportation.
- Walton, D., Dravitzki, V. K., Cleland, B. S., Thomas, J. A. et Jackett, R. (2005). *Balancing the needs of cyclists and motorists (Report 273)*. Auckland : Land Transport New Zealand.
- Zhang, X., Li, X. et Wu, Y. (2023). Safety Performance Evaluation of Flashing Yellow Arrow : Time-of-Day Versus 24-Hour Operation. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2677(7).

9. ANNEXE A - Réponses à l'enquête auprès des administrations canadiennes

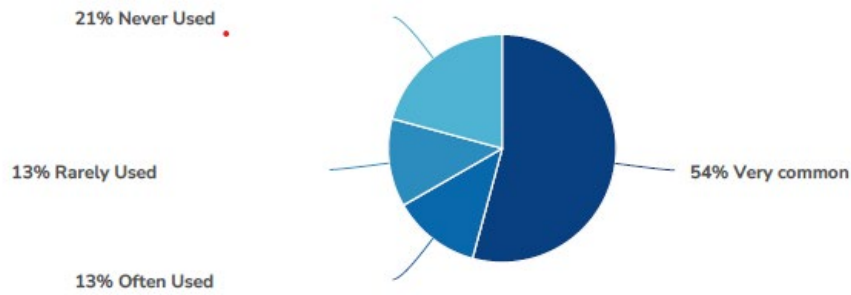
1. Do the following statements apply with respect to the meaning of steady green arrows in your jurisdiction?

	Yes	No	Not Sure	Not Applicable	Responses
May proceed in the direction of the arrow only Count Row %	18 75.0%	1 4.2%	0 0.0%	5 20.8%	24
Must yield to traffic/vehicles/cyclists/pedestrians lawfully within/in/using/already in intersection or adjacent crosswalk. Count Row %	10 43.5%	6 26.1%	1 4.3%	6 26.1%	23
Pedestrians in the crosswalk that conflicts with the arrow movement shall not enter intersection unless or until pedestrian control signal says then can. Count Row %	17 70.8%	1 4.2%	0 0.0%	6 25.0%	24
Solely used for protected turning movements. Count Row %	8 33.3%	10 41.7%	1 4.2%	5 20.8%	24
Green arrow phases may overlap conflicting pedestrian clearance phase. Count Row %	6 25.0%	12 50.0%	1 4.2%	5 20.8%	24
Totals Total Responses					24

2. Do the following statements apply with respect to the meaning of flashing green arrows in your jurisdiction?

	Yes	No	Not Sure	Not Applicable	Responses
May proceed in the direction of the arrow only Count Row %	16 66.7%	1 4.2%	0 0.0%	7 29.2%	24
Must yield to traffic/vehicles/cyclists/pedestrians lawfully within/in/using/already in intersection or adjacent crosswalk. Count Row %	5 21.7%	7 30.4%	0 0.0%	11 47.8%	23
Pedestrians in the crosswalk that conflicts with the arrow movement shall not enter intersection unless or until pedestrian control signal says then can. Count Row %	15 62.5%	0 0.0%	0 0.0%	9 37.5%	24
Solely used for protected turning movements. Count Row %	17 70.8%	1 4.2%	0 0.0%	6 25.0%	24
Green arrow phases may overlap conflicting pedestrian clearance phase. Count Row %	0 0.0%	15 62.5%	0 0.0%	9 37.5%	24
Totals Total Responses					24

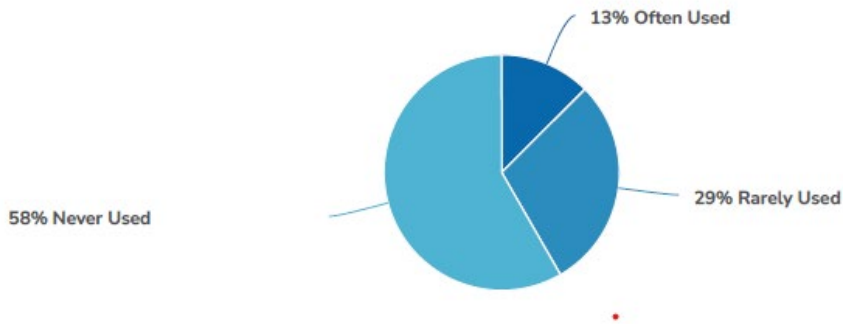
3. How prevalent is the use of flashing green arrows for protected left turns in your jurisdiction?



Value	Percent	Responses
Very common	54.2%	13
Often Used	12.5%	3
Rarely Used	12.5%	3
Never Used	20.8%	5

Totals: 24

4. How prevalent is the use of flashing green arrows for protected right turns in your jurisdiction?



Value	Percent	Responses
Often Used	12.5%	3
Rarely Used	29.2%	7
Never Used	58.3%	14
		Totals: 24

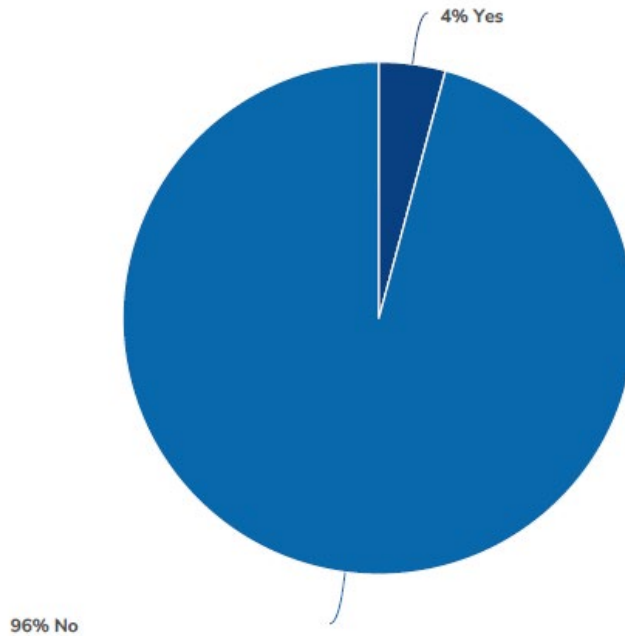
5. Do the following statements apply with respect to the meaning of steady amber arrows in your jurisdiction?

	Yes	No	Not Sure	Not Applicable	Responses
May proceed in the direction of the arrow only Count Row %	15 65.2%	3 13.0%	1 4.3%	4 17.4%	23
Approaching driver, or cyclist, must stop before entering the intersection/nearside crosswalk unless the stop cannot be made in safety. Count Row %	17 70.8%	2 8.3%	1 4.2%	4 16.7%	24
If proceeding, must proceed with caution to make the only movement indicated by the arrow but must yield the right of way to pedestrians lawfully in the intersection or in an adjacent crosswalk, and to other vehicles lawfully in the intersection. Count Row %	14 58.3%	3 12.5%	1 4.2%	6 25.0%	24
Pedestrians facing the amber arrow must not enter the roadway. Count Row %	15 62.5%	1 4.2%	2 8.3%	6 25.0%	24
Flashing the amber arrow is prohibited by regulation Count Row %	7 30.4%	6 26.1%	7 30.4%	3 13.0%	23
Flashing the amber arrow is not recommended by jurisdiction Count Row %	9 37.5%	4 16.7%	2 8.3%	9 37.5%	24
Totals Total Responses					24

6. Do the following statements apply with respect to the meaning of red arrows in regular operation (not out of service or flashing operation) in your jurisdiction?

	Yes	No	Not Sure	Not Applicable	Responses
Steady red arrow: Unless otherwise indicated, drivers and cyclists must immobilize their vehicle before the crosswalk or the stop line. A red arrow is used to regulate the stopping of vehicles for a particular movement. Count Row %	10 41.7%	0 0.0%	0 0.0%	14 58.3%	24
Flashing red arrow: Unless otherwise indicated, drivers and cyclists must immobilize their vehicle and yield to vehicles on any other roadway approach that has engaged into the intersection or is close enough that there is a risk of a collision Count Row %	3 12.5%	2 8.3%	0 0.0%	19 79.2%	24
Flashing the red arrow is prohibited Count Row %	9 37.5%	1 4.2%	4 16.7%	10 41.7%	24
Pedestrian clearance phase may overlap the red arrow Count Row %	6 25.0%	1 4.2%	3 12.5%	14 58.3%	24
Totals Total Responses					24

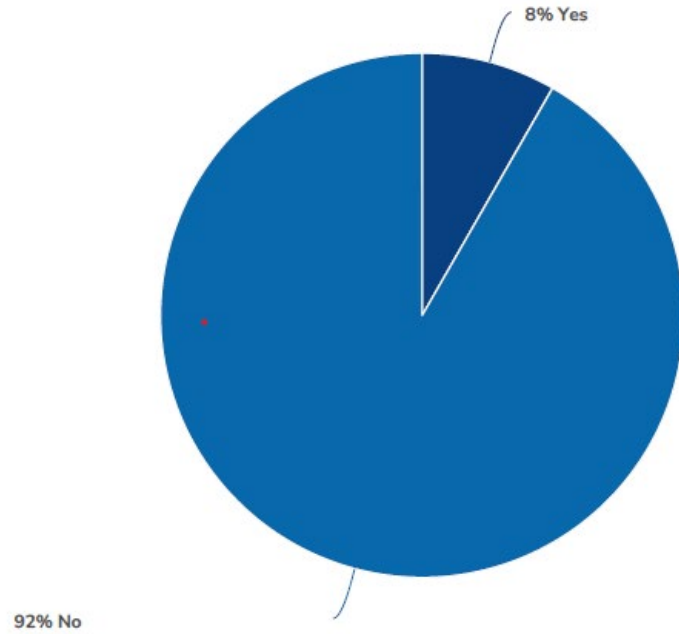
7. Does your jurisdiction have issues with drivers misinterpreting the meaning of a green ball when turning right or left from a turn lane under fully permissive phasing?



Value	Percent	Responses
Yes	4.2% 	1
No	95.8% 	23

Totals: 24

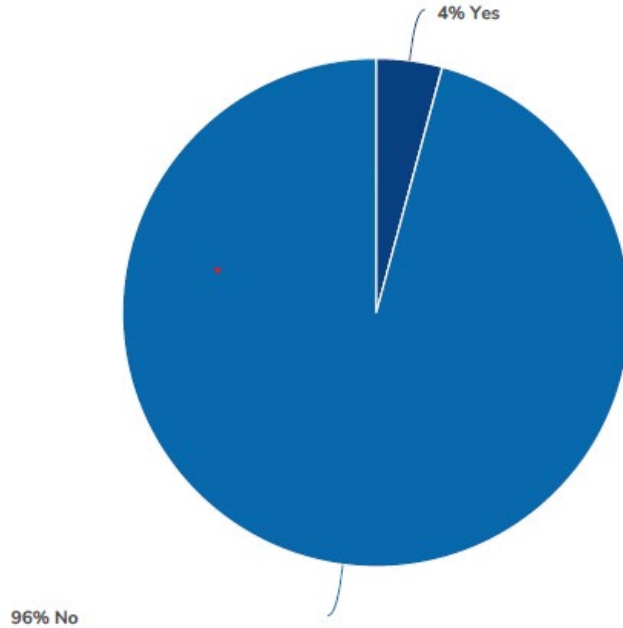
8. Does your jurisdiction have issues with drivers misinterpreting the meaning of a green ball when turning right or left from a turn lane under protected-permissive phasing?



Value	Percent	Responses
Yes	8.3%	2
No	91.7%	22

Totals: 24

9. Does your jurisdiction have any signals operating with 'yellow trap' phasing? (The yellow trap occurs when a permissive left-turn is opposed by a lagging green for the opposing through movement.)



Value	Percent	Responses
Yes	4.2% 	1
No	95.8% 	23

Totals: 24

10. Does your jurisdiction have issues with collisions involving permissive turns from turn lanes and the following:





	Yes, at many intersections	Yes, at some intersections	Yes, but only at a few intersections	No	Responses
Opposing vehicle traffic Count Row %	5 20.8%	12 50.0%	4 16.7%	3 12.5%	24
Pedestrians Count Row %	3 12.5%	10 41.7%	7 29.2%	4 16.7%	24
Cyclists Count Row %	3 12.5%	10 41.7%	7 29.2%	4 16.7%	24
Totals Total Responses					24

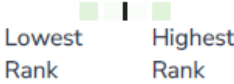
11. How are turning movements from turning lanes typically controlled in your jurisdiction when movements conflict with a pedestrian crosswalk at a traffic signal-controlled intersection. Select all that apply.

Item	Overall Rank	Rank Distribution	Score	No. of Rankings
Protected permissive turn phasing	1		56	20
Separate phasing is used to separate conflicts	2		52	18
Fully permissive phasing	3		48	18
A Leading Pedestrian Interval (LPI) phase is used but turns are permissive	4		44	17

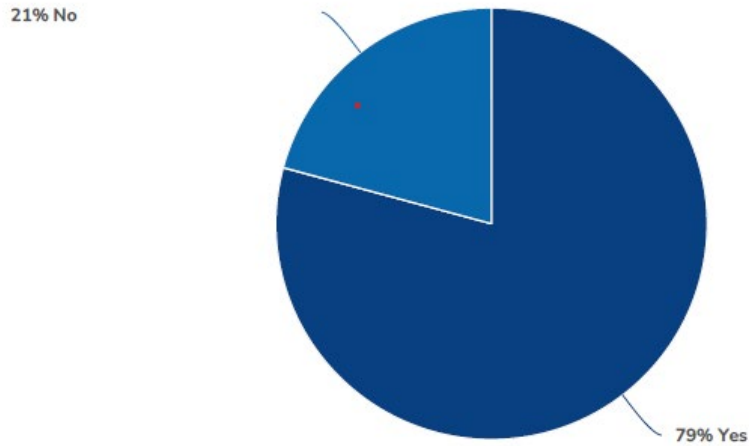
Lowest Rank Highest Rank

12. How are turning movements from turning lanes typically controlled in your jurisdiction when movements conflict with a cycling facility at a traffic signal-controlled intersection. Select all that apply.

Item	Overall Rank	Rank Distribution	Score	No. of Rankings
Separate phasing is used to separate conflicts	1		51	15
Fully permissive phasing	2		40	16
Leading cycling phasing is used but turns are permissive	3		35	12
Protected permissive turn phasing	4		33	15



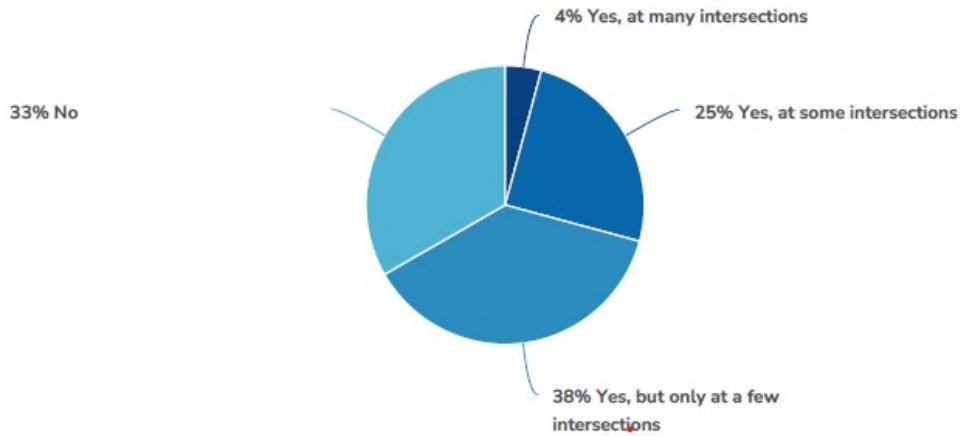
13. Does your jurisdiction allow changes to phase sequencing at an intersection by time of day?



Value	Percent	Responses
Yes	79.2%	19
No	20.8%	5

Totals: 24

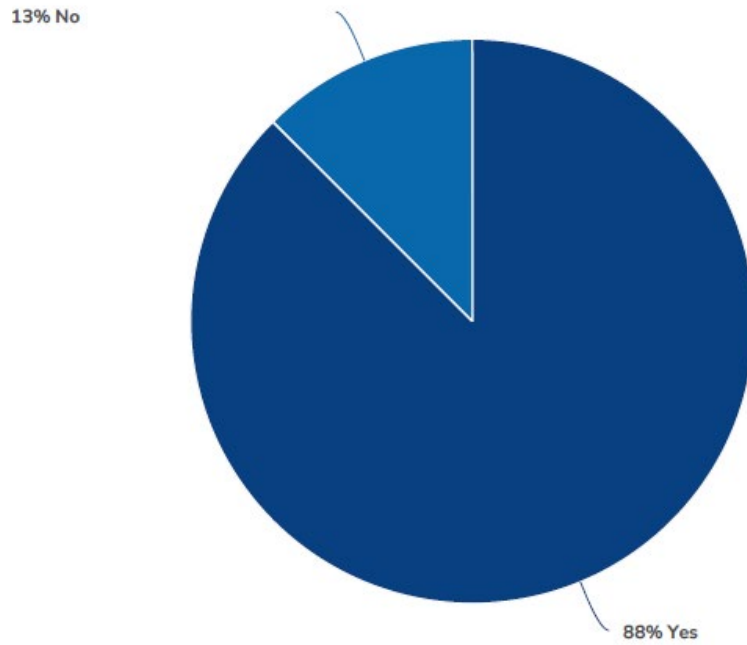
14. Does your jurisdiction alter phase sequencing at intersections by time of day?



Value	Percent	Responses
Yes, at many intersections	4.2%	1
Yes, at some intersections	25.0%	6
Yes, but only at a few intersections	37.5%	9
No	33.3%	8

Totals: 24

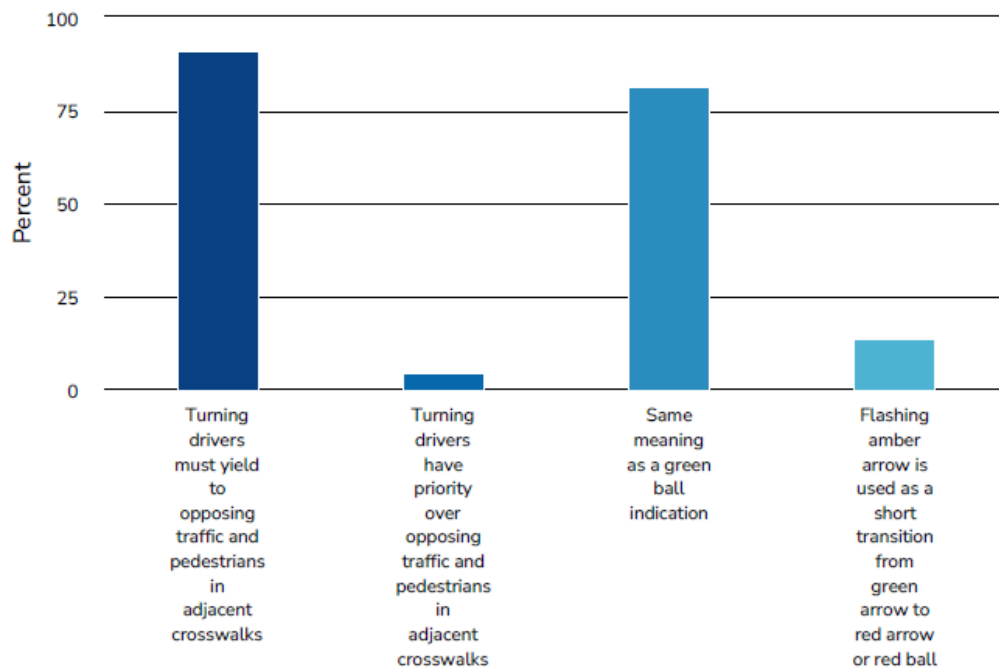
15. Would your jurisdiction be interested in traffic signal display options that enable different turn signal phasing at different times of day?



Value	Percent	Responses
Yes	87.5% 	21
No	12.5% 	3

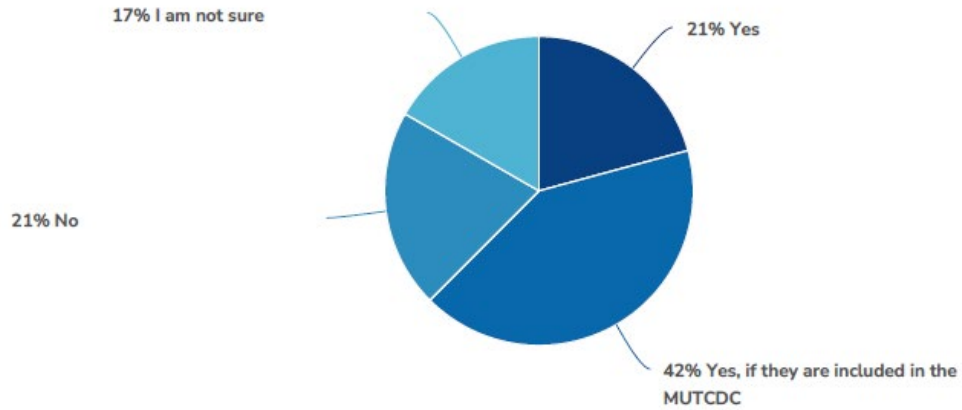
Totals: 24

16. What is your understanding of the meaning of a flashing amber arrow (select all that apply)?



Value	Percent	Responses
Turning drivers must yield to opposing traffic and pedestrians in adjacent crosswalks	90.9%	20
Turning drivers have priority over opposing traffic and pedestrians in adjacent crosswalks	4.5%	1
Same meaning as a green ball indication	81.8%	18
Flashing amber arrow is used as a short transition from green arrow to red arrow or red ball	13.6%	3

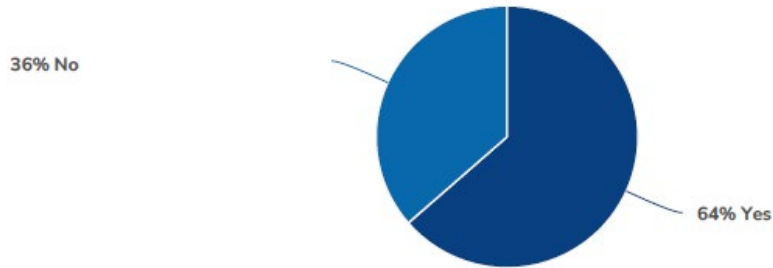
17. Is your agency currently interested in, or considering, implementing flashing amber arrows?



Value	Percent	Responses
Yes	20.8%	5
Yes, if they are included in the MUTCDC	41.7%	10
No	20.8%	5
I am not sure	16.7%	4

Totals: 24

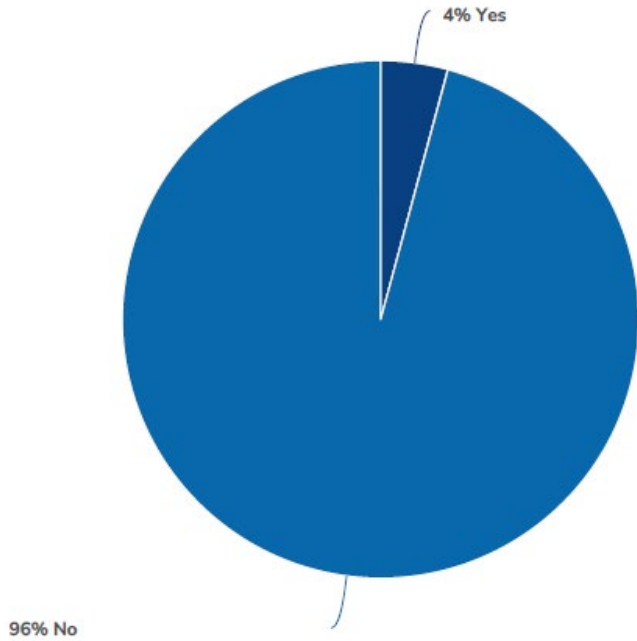
18. If considering, is the absence of flashing amber arrow in the MUTCDC a barrier to implementation?



Value	Percent	Responses
Yes	63.6%	14
No	36.4%	8

Totals: 22

19. Has your agency installed any flashing amber arrows?



Value	Percent	Responses
Yes	4.2%	1
No	95.8%	23

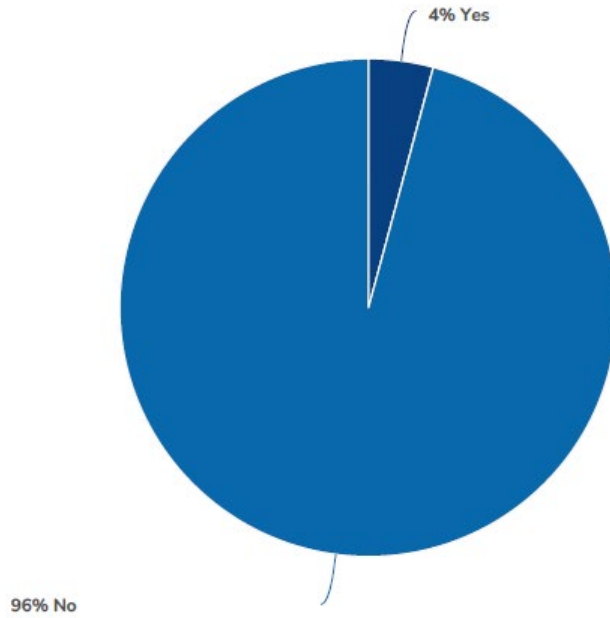
Totals: 24

20. How many flashing amber arrows has your agency installed?

Value	Percent	Responses
Between 1 and 5	100.0%	1

Totals: 1

21. Does your agency have guidelines for use of flashing amber arrows?



Value	Percent	Responses
Yes	4.2%	1
No	95.8%	23

Totals: 24

22. Select the top three reasons that your agency does not currently have flashing amber arrows?

Value	Percent	Responses
Have never been requested	17.4%	4
They are not in the Manual of Uniform Traffic Control Devices for Canada	65.2%	15
They are not in the Province's guidelines or regulations	65.2%	15
We have a policy against these installations	4.3%	1
We do not yet have a policy about these types of treatments	26.1%	6
Safety reasons	8.7%	2
Don't have issues with permissive turns	8.7%	2
Don't have yellow trap issues	13.0%	3
Act or Regulation prohibits their use	8.7%	2
Signal hardware limitations	4.3%	1
Concerns about user understanding	34.8%	8
Other (explain)	4.3%	1
I do not know	4.3%	1



Association des transports du Canada

401–1111 promenade Prince of Wales, Ottawa (ON) K2C 3T2
(613) 736-1350 secretariat@tac-atc.ca

Pour plus d'information sur l'Association des transports du Canada et ses activités,
produits et services, veuillez consulter le site : www.tac-atc.ca/fr.