

# 49e congrès annuel de l'AQTR

*Analyse du comportement des conducteurs Québécois et de leurs interactions aux carrefours giratoires*

**Paul St-Aubin, ing. jr**

Doctorant, Polytechnique Montréal  
514-885-7285  
[paul.st-aubin@mail.mcgill.ca](mailto:paul.st-aubin@mail.mcgill.ca)  
[www.paulstaubin.ca](http://www.paulstaubin.ca)

**Nicolas Saunier, ing.**

Polytechnique Montréal  
[nicolas.saunier@polymtl.ca](mailto:nicolas.saunier@polymtl.ca)

**Luis Miranda-Moreno**

McGill University  
[luis.miranda-moreno@mcgill.ca](mailto:luis.miranda-moreno@mcgill.ca)



# CONTEXTE

Projet d'étude en cours (2012-2014) :

- Sécurité des carrefours giratoires au Québec (FQRNT, FQRS, MTQ, divers municipalités Québécois)

Plus d'une centaine de carrefours giratoires construits ou réaménagés aux Québec

- Une cinquantaine en cours de construction ou de planification
- Développement assez récent (derniers 15 ans), surtout en comparaison avec l'Europe
- Questions par rapport à la sécurité et l'adaptation des conducteurs Québécois



## Rond-point

Source de l'image: Bing Maps



## Carrefour giratoire

Source de l'image: Wikimedia commons

Les carrefours giratoires se distinguent :

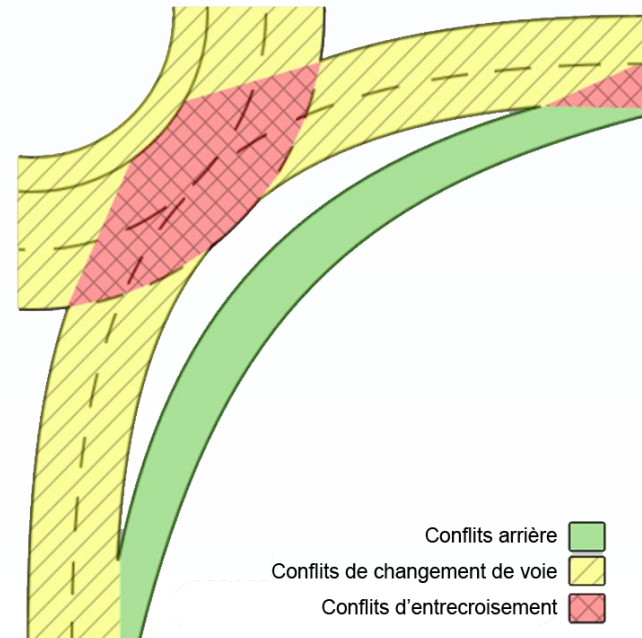
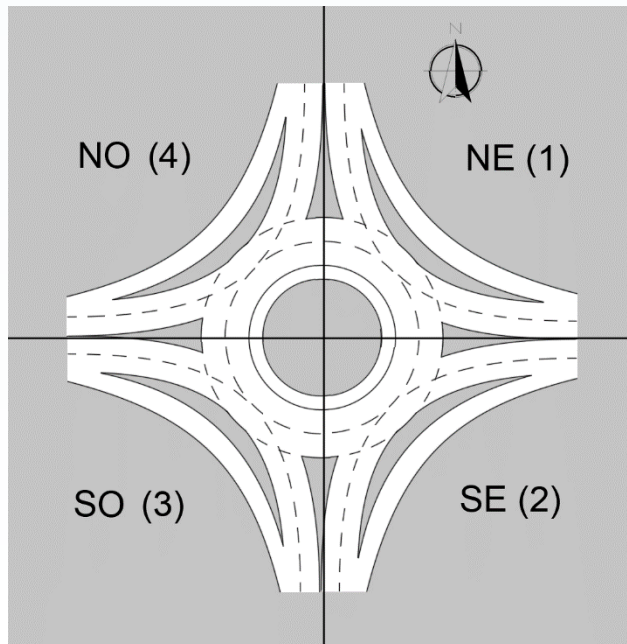
- comportent des approches perpendiculaires, déflexion
- ne comportent jamais de dispositifs de régulation de la circulation (panneaux arrêt, feux de circulation, etc.)
- généralement plus petits

À cet effet, **les conflits sont gérés entièrement par les utilisateurs.**

# ZONE D'ENTRECROISEMENT

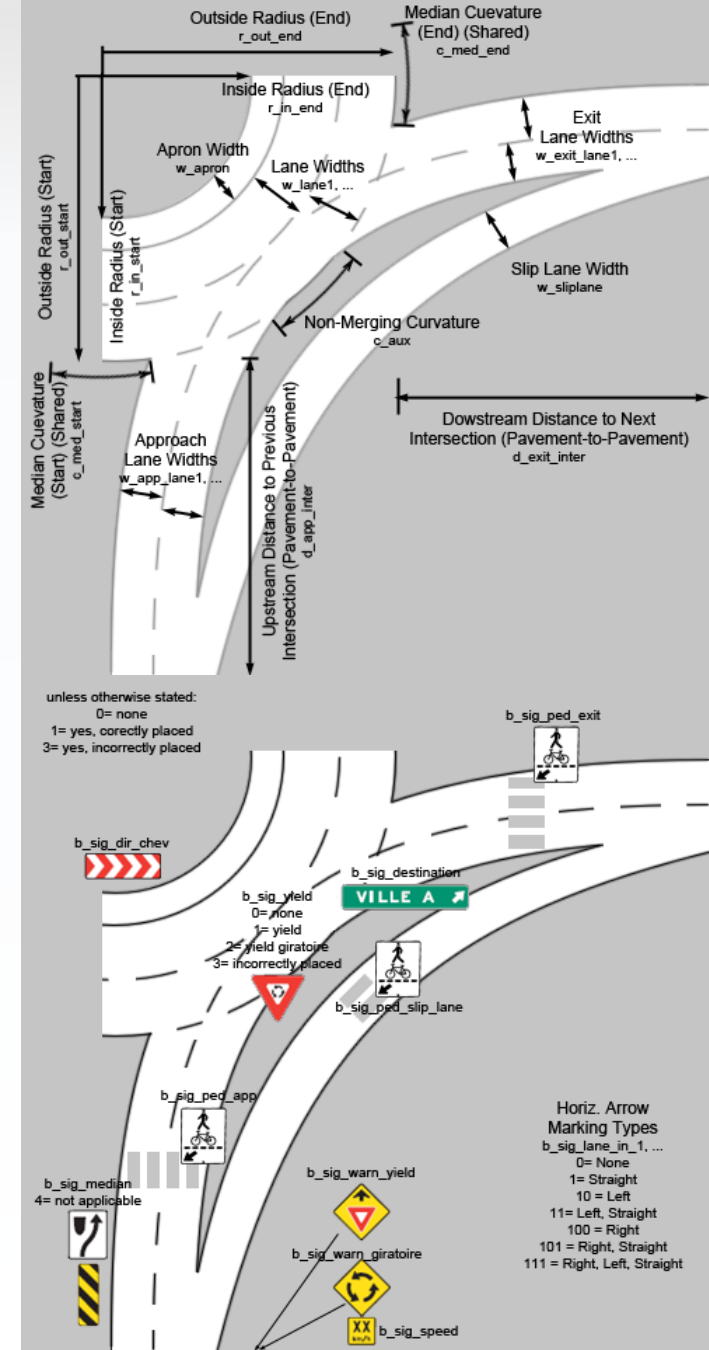
Étude microscopique, à données haute résolution

- Le carrefour giratoire est découpé en quadrants délimitant chaque zone d'entrecroisement où doit se produire la majorité des interactions complexes.



# Identification d'une soixantaine de facteurs (attributs) de conception:

- Géométrie/tracés
  - Nombre et répartition des voies
  - Rayons
  - Distance entre carrefours
- Signalisation
  - Horizontale
  - Verticale
- Environnement bâti
  - Chemins d'accès privés
  - Construction du giratoire
  - Aménagements pour piétons
- Exposition
  - Débits, interactions par heure
- Etc.



# INSTRUMENTATION

Collecte de données de comportement à l'aide d'un équipement de collecte de données vidéo mobile spécialisé

- En tout, 600 heures de vidéo, entre 6h00 et 18h00 ou 22h00
- 22 sites, ~40 vues, ~40 zones d'entrecroisement
- ~50,000 usagers uniques (estimé)
- Représentation des facteurs

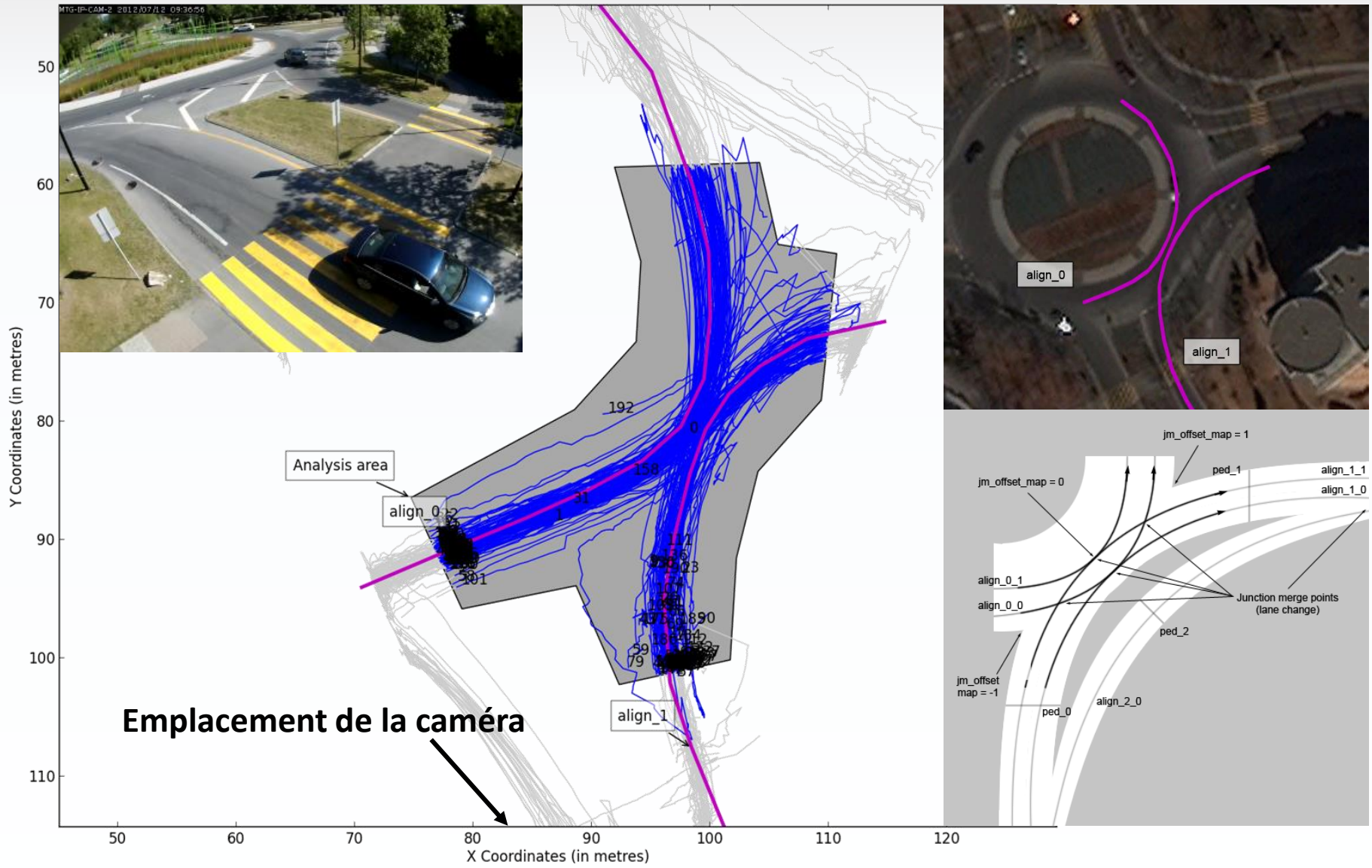




# ANALYSE VIDEO

Projet à code source ouvert *Traffic Intelligence*

- <https://bitbucket.org/Nicolas/trafficintelligence>
- Vision par ordinateur spécialisé pour les applications en transports routier (automobiles, piétons, cyclistes)
- Utilise la bibliothèque logicielle de vision par ordinateur *OpenCV* pour l'extraction des trajectoires
- Projection des trajectoires sur une surface plane à l'aide d'homographie et d'imagerie aérienne
- Bibliothèque logicielle en Python pour l'interprétation et l'analyse des trajectoires



Avec 400 minutes de données aux heures de pointe, à 15 trames par seconde, chaque collecte (échantillon) comporte :

- 360,000 trames
- En moyenne 4,000 véhicules, jusqu'à ~12,000 pour la journée entière
- Une moyenne de 120-1,000 trames par véhicule
  - on observe environ 2,000,000 d'instantanés véhiculaires
  - ou environ 41 heures de conduite véhiculaire continue
  - ou environ 1,230 km de conduite

\*\* Remarque : le taux d'accident moyen en Amérique du Nord est aux alentours de un accident par million de km de conduite, selon l'aménagement (USDOT 2011)

# PROFILES DE VITESSE

Mesure de la vitesse sur un tracé particulier dans le quadrant

Typologie :

- Voie(s) anneau seulement
- Voie(s) anneau → voie(s) de sortie
- Voie(s) approche → voie(s) anneau
- Voie(s) approche → voie(s) de sortie

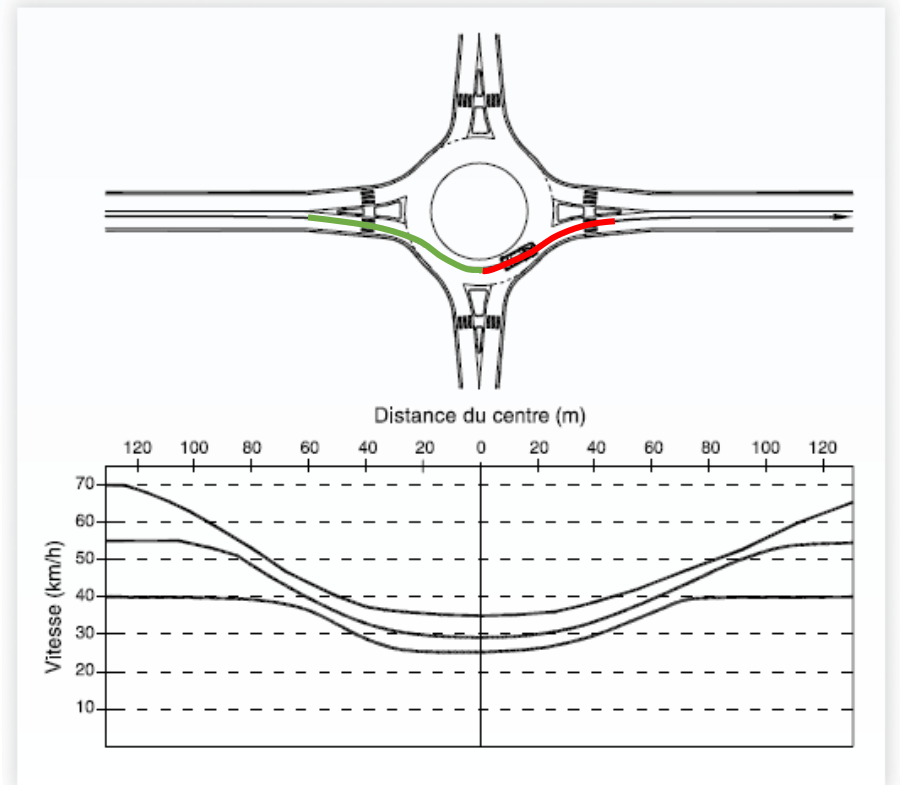
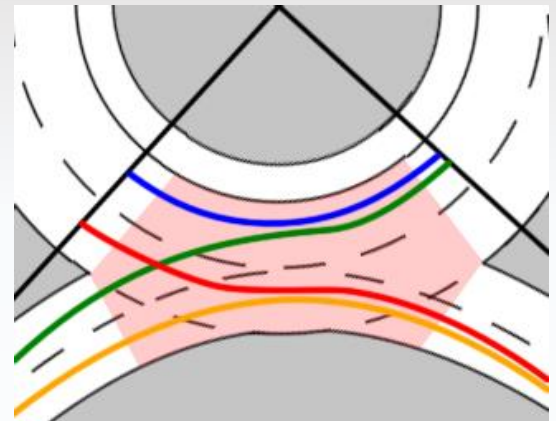
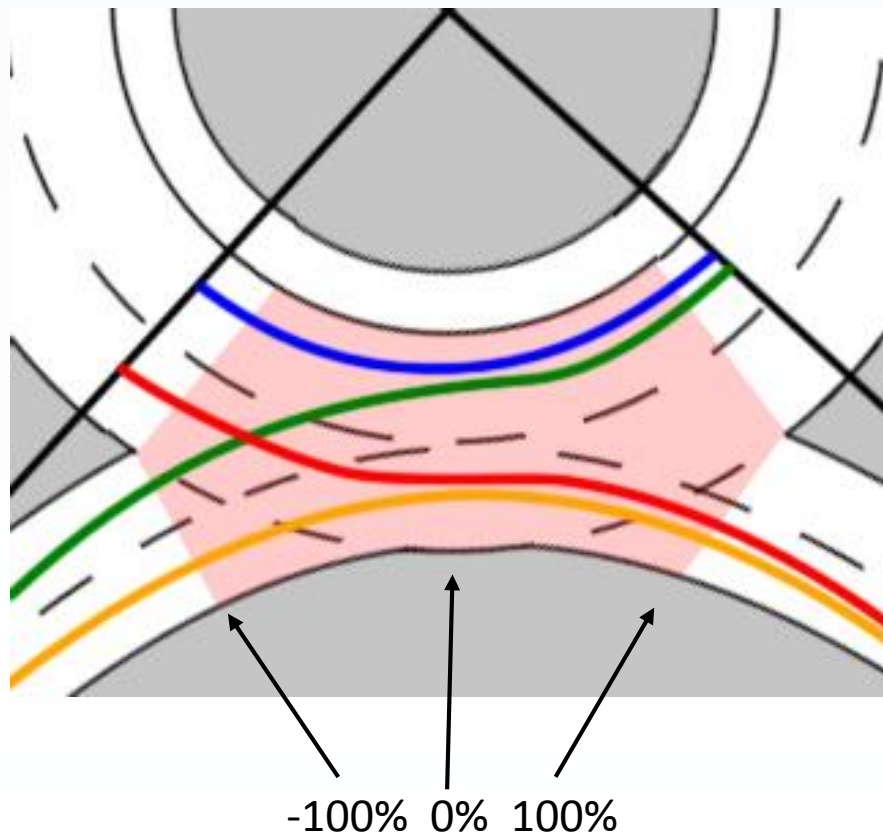


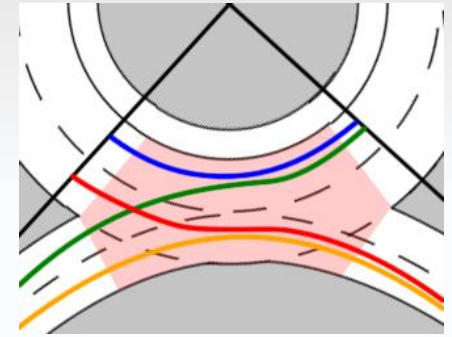
Figure 7.1-1 Exemple des profils des vitesses théoriques (carrefour giratoire en milieu urbain)

## Taille des rayons des giratoires variable:

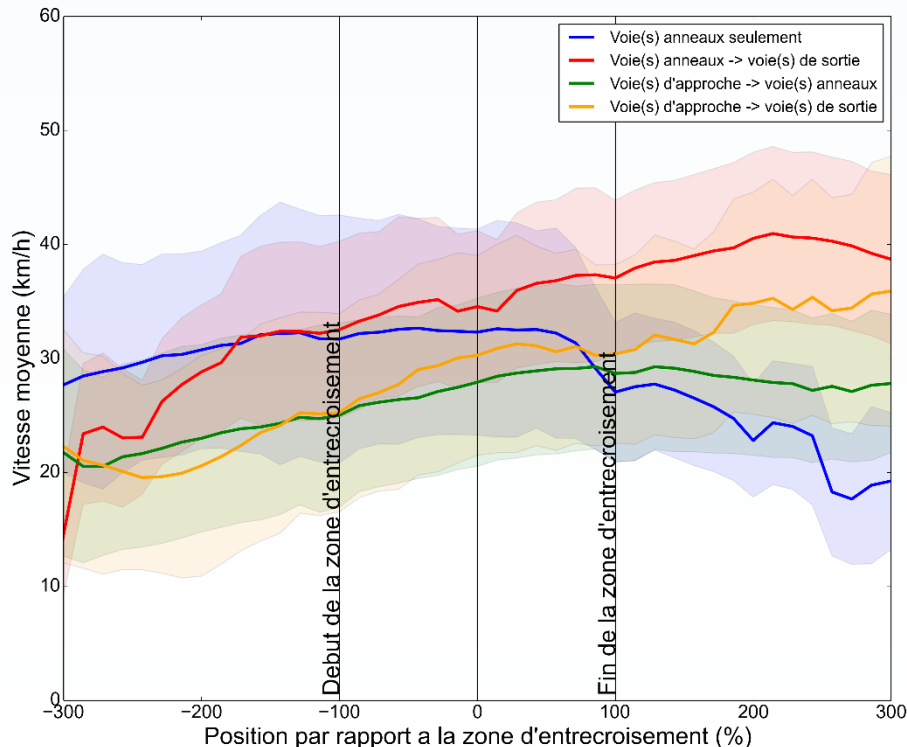
- Vitesse relative à la position par rapport à la zone d'entrecroisement



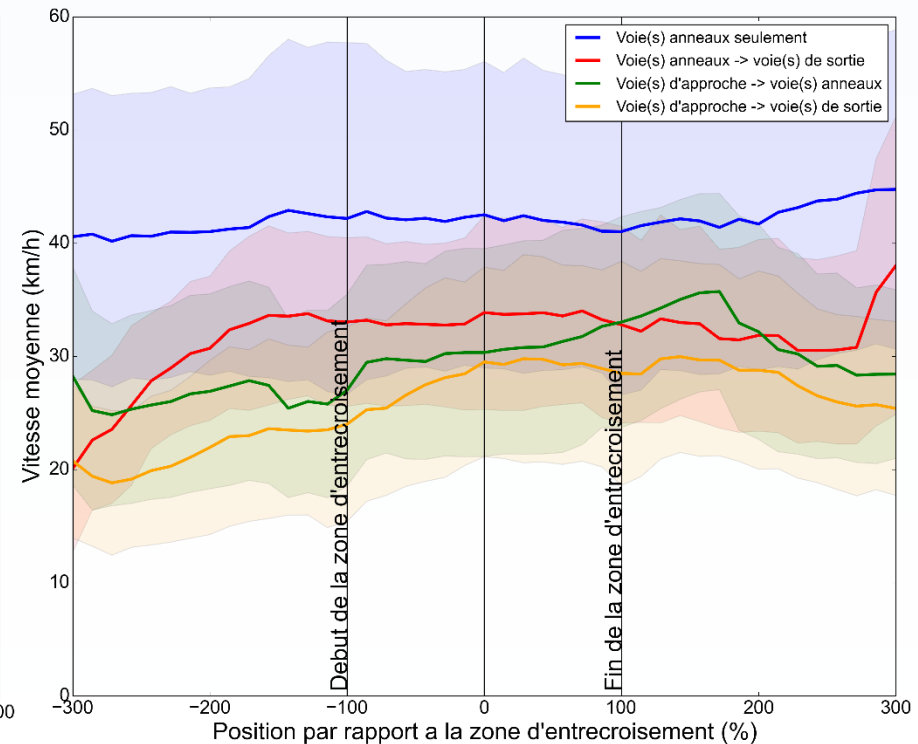
- Vitesse généralement croissante à travers le giratoire sur tout les profiles.
- Variation de 10 km/h pour **anneaux seulement** pour les giratoires à deux voies. (Covariance avec rayon? Pearson = 0.2781)



## Quadrants à une voie (10)



## Quadrants à deux voies (9)

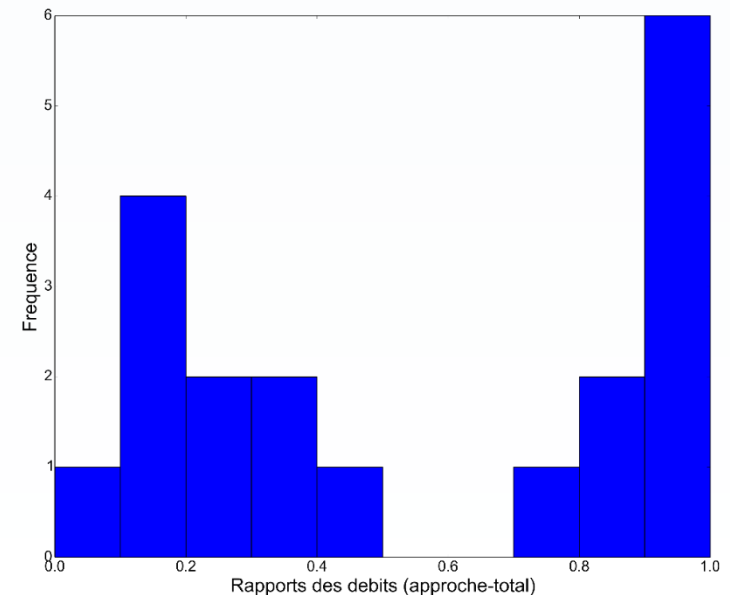
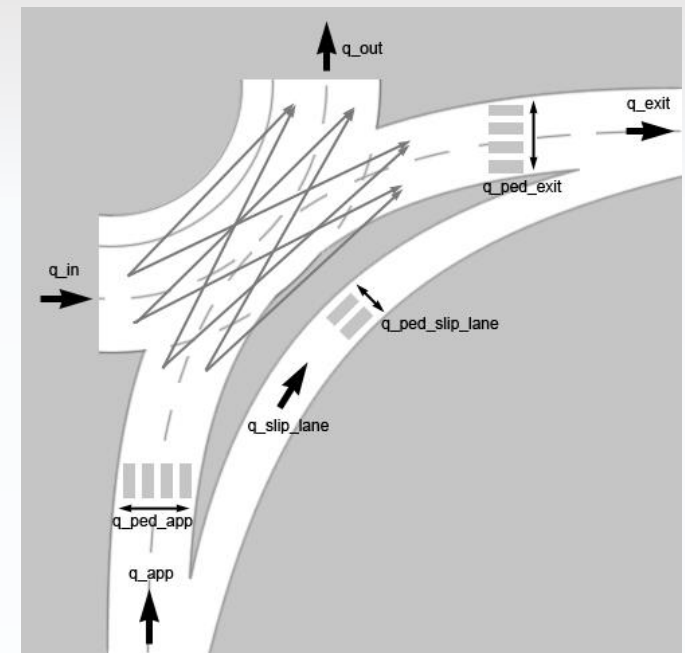


# RAPPORT DES DÉBITS

$$R = \frac{Q_{approche}}{Q_{approche} + Q_{anneau}}$$

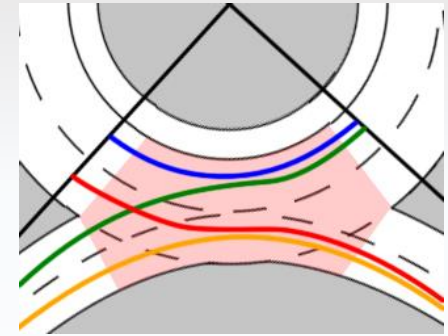
Influence les interactions

- Attention: les débits sur les quadrants ne s'inversent pas sur les deux heures de pointe : répartition asynchrone
- Pour nos échantillons, bon mélange des deux scénarios
  - Peut de scénarios où les débits approche = anneau
  - Équilibre naturelle des débits?

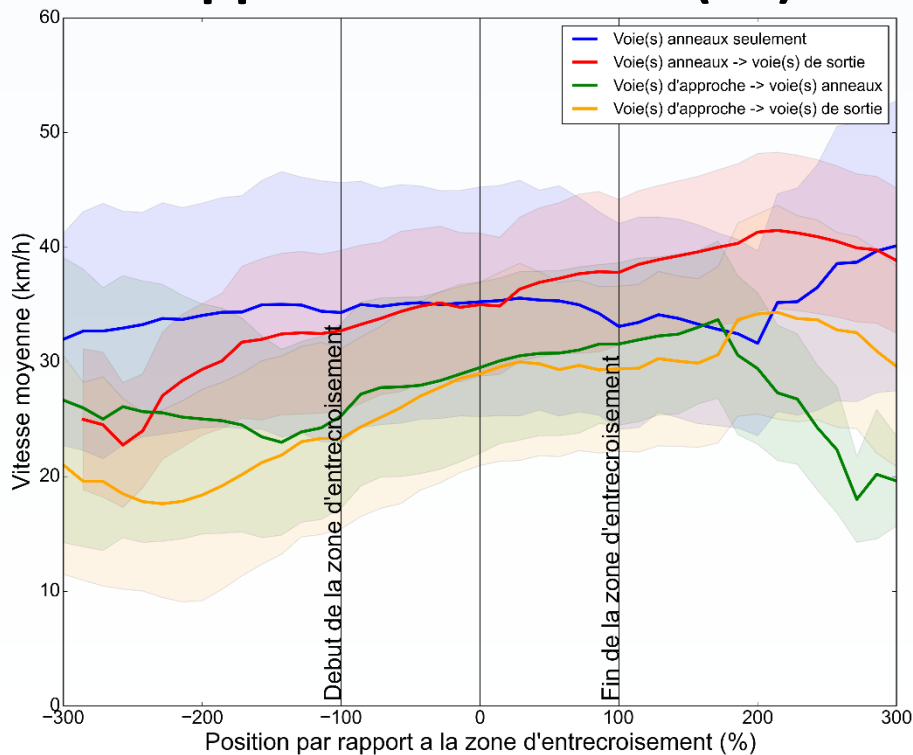


# Selon le rapport des débits :

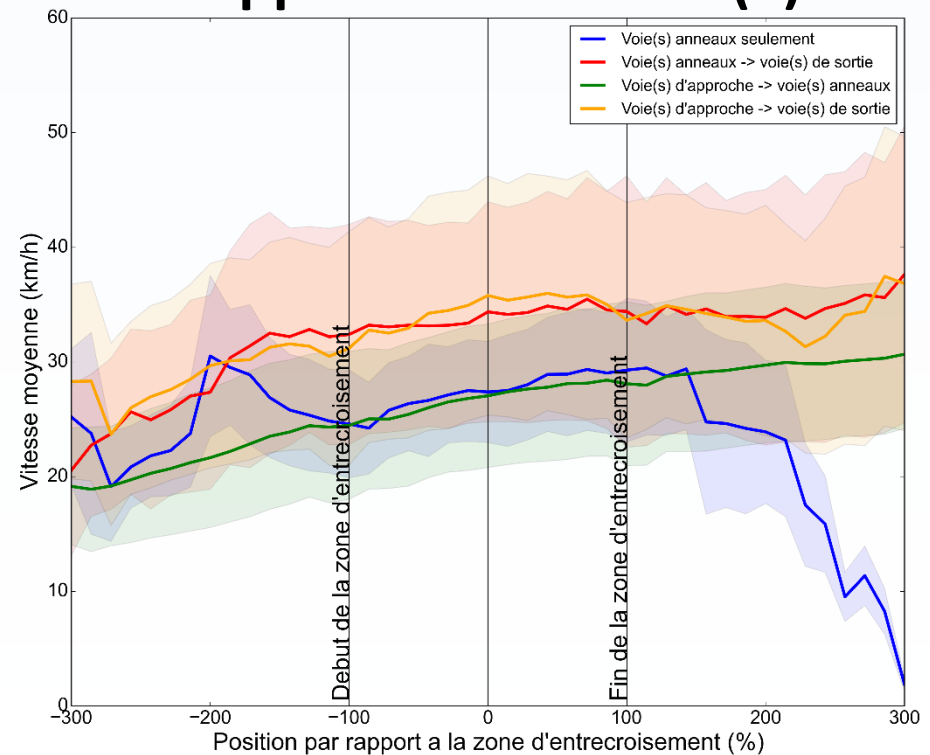
- Profils de vitesse pour **anneaux seulement** et **approche → sortie** inversés (variation 10 km/h)



## Quadrants où débits approche < anneau (10)



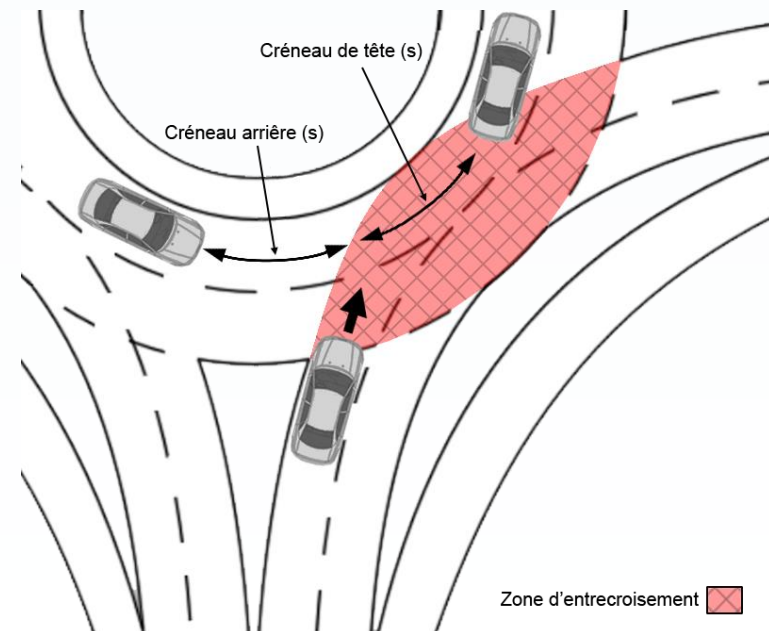
## Quadrants où débits approche > anneau (9)



# CRÉNEAUX ACCEPTÉS POUR CÉDER-LE-PASSAGE

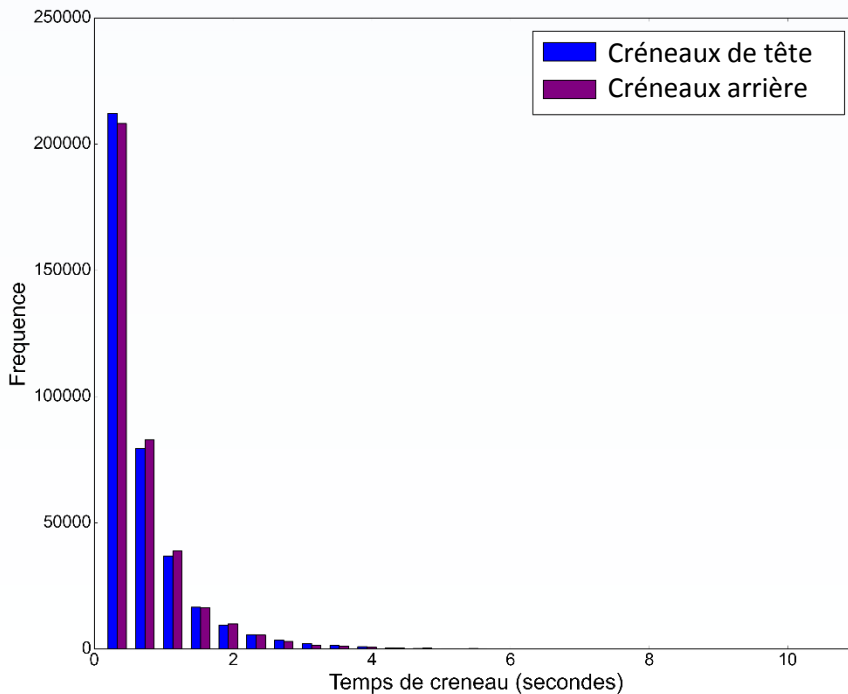
Le créneau accepté pour céder-le-passage est une mesure de temps que les véhicules entrants acceptent lorsqu'ils franchissent la zone d'entrecroisement.

- Correspond au temps post-empiètement (*post-encroachment time (PET)*)
- Remarque : créneaux  $> 10$  secondes considérés comme étant des arrivées aléatoires (choix arbitraire)
  - Amélioration possible : limite selon le champs de vue des usagers

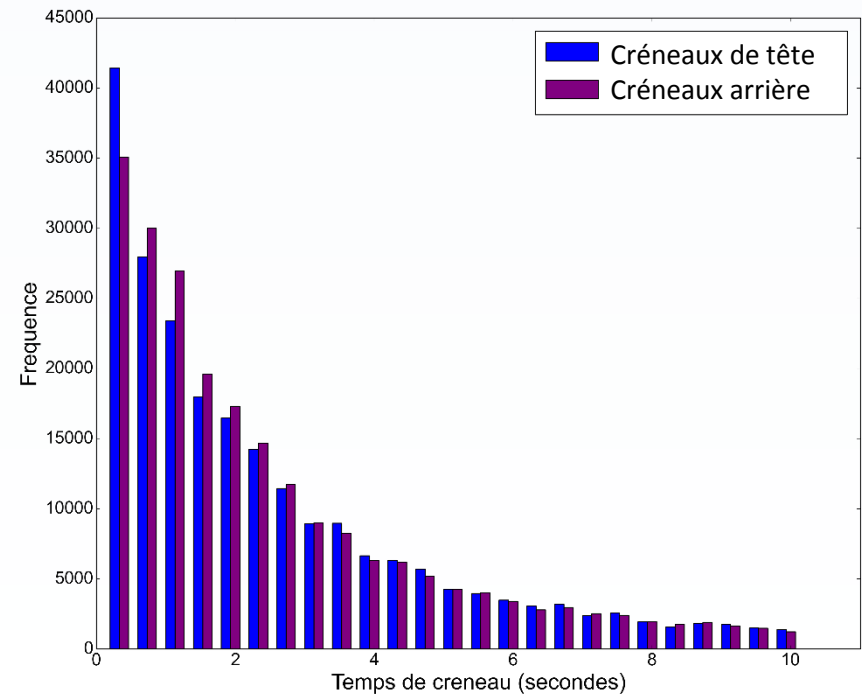


- Insertions nettement plus agressifs quand les débits de l'approche sont faible par rapport à l'anneau. (Impatience? Mesurer temps d'attente.)
- Peu de variation entre créneaux de tête et arrière.

**Quadrants où débits  
approche < anneau (10)**



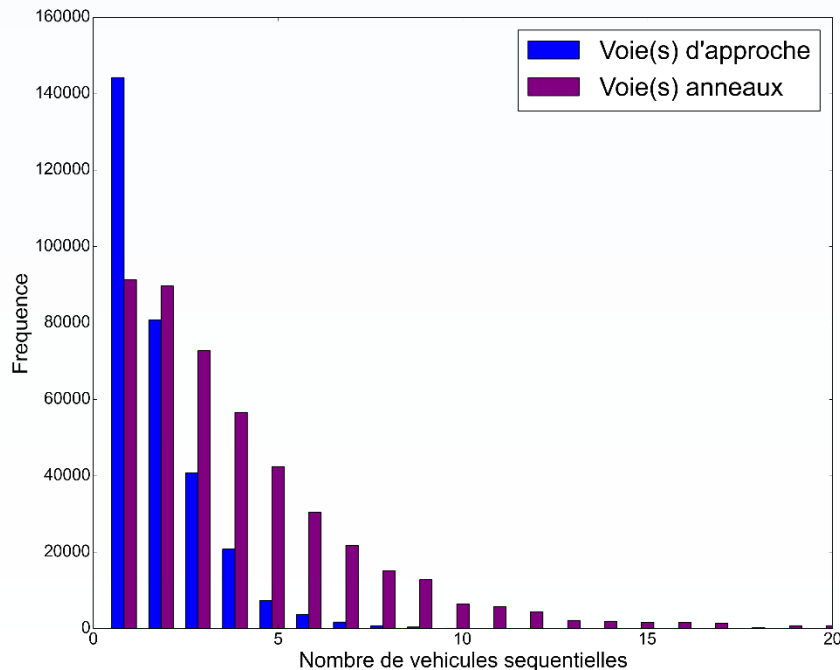
**Quadrants où débits  
approche > anneau (9)**



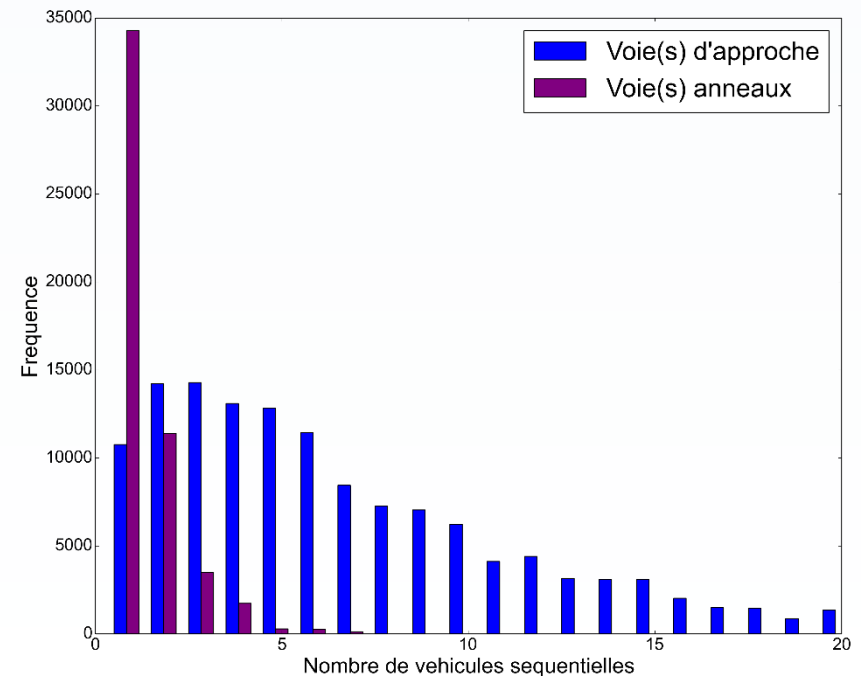
# TAILLE DES PELOTONS

Se mesure en nombre de véhicules dans un même flux sans interruption (insertion) d'un véhicule d'un autre flux.

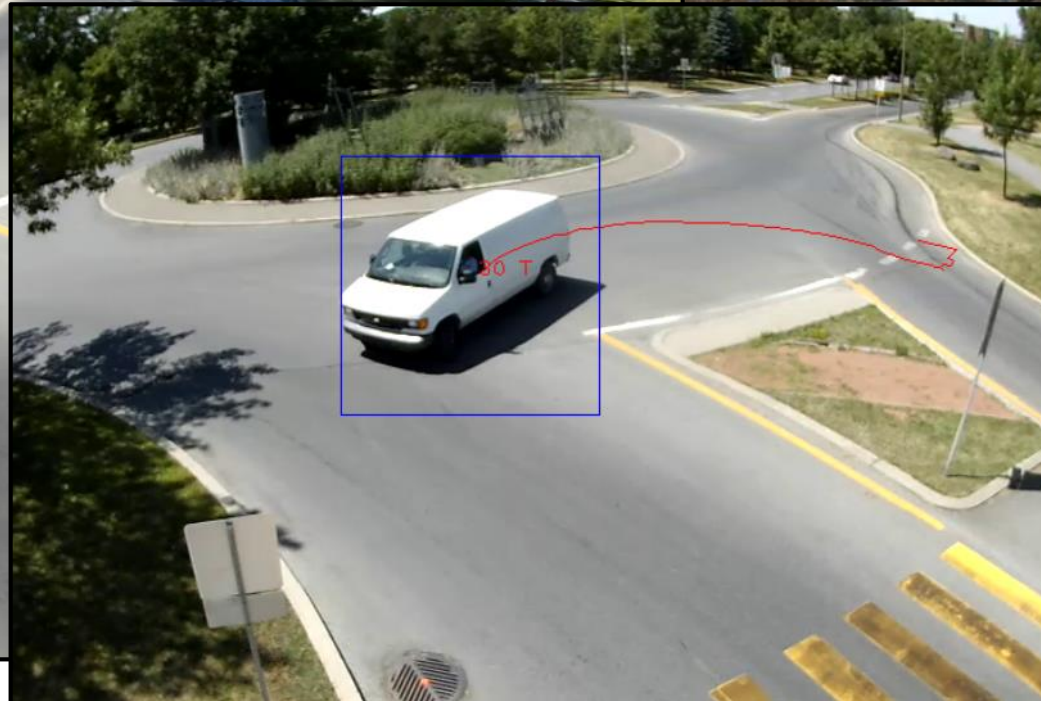
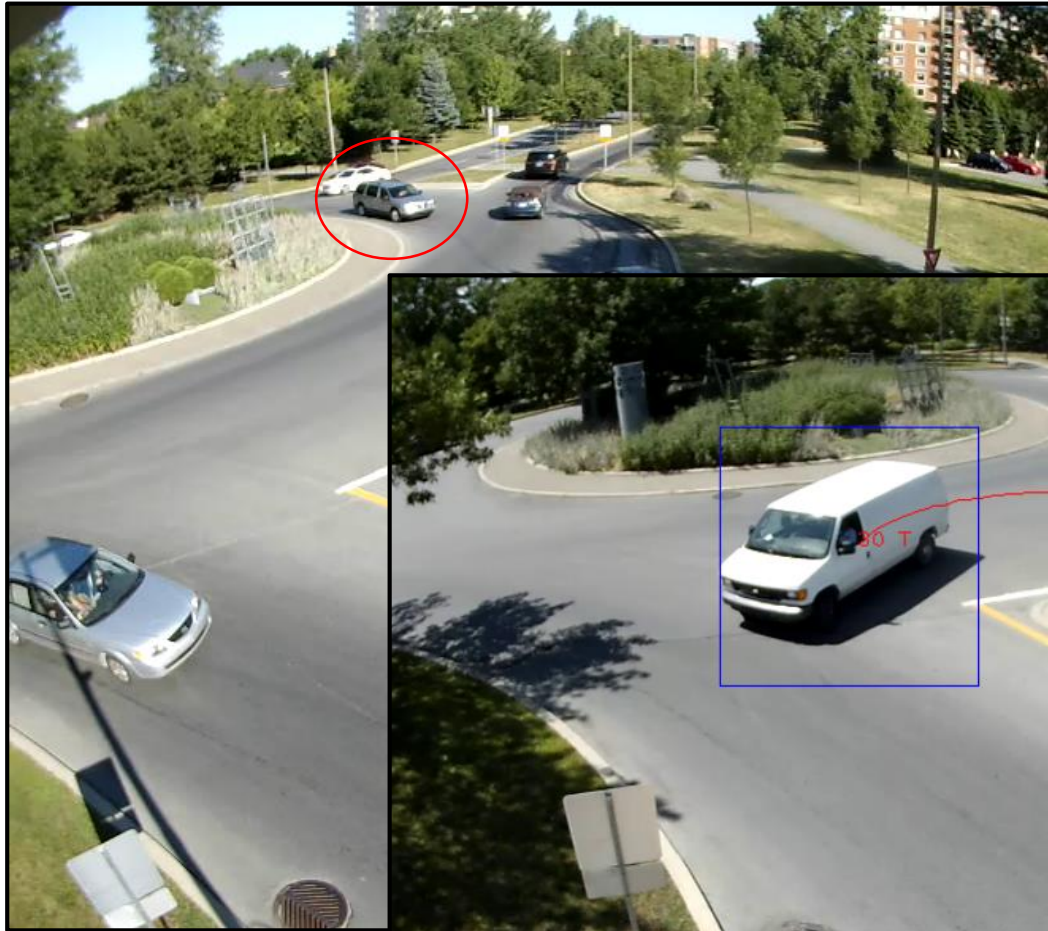
Quadrants où débits  
approche < anneau (10)

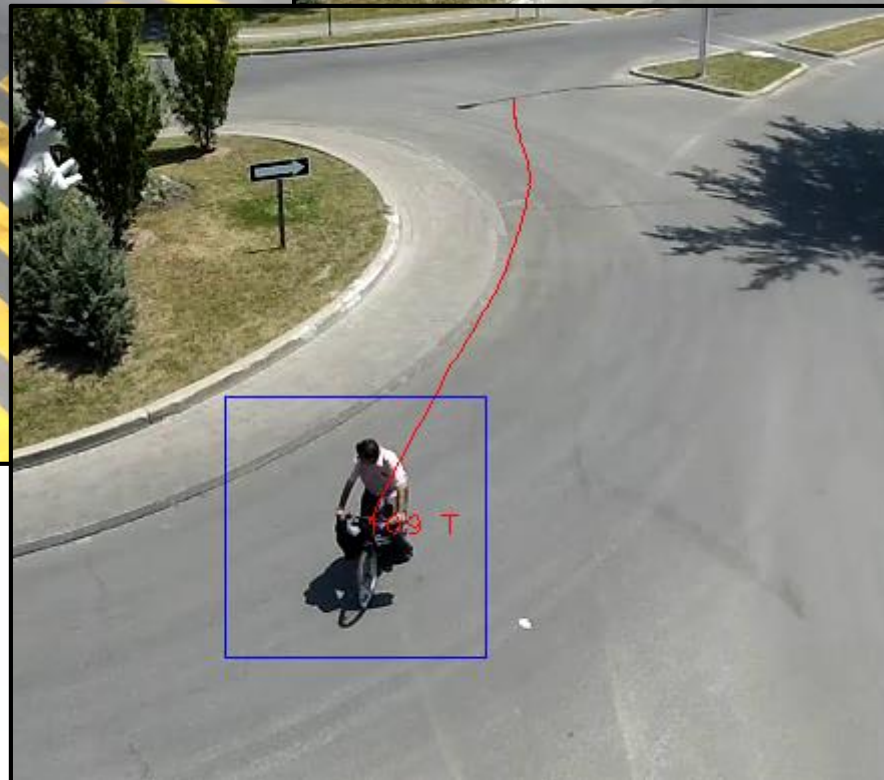
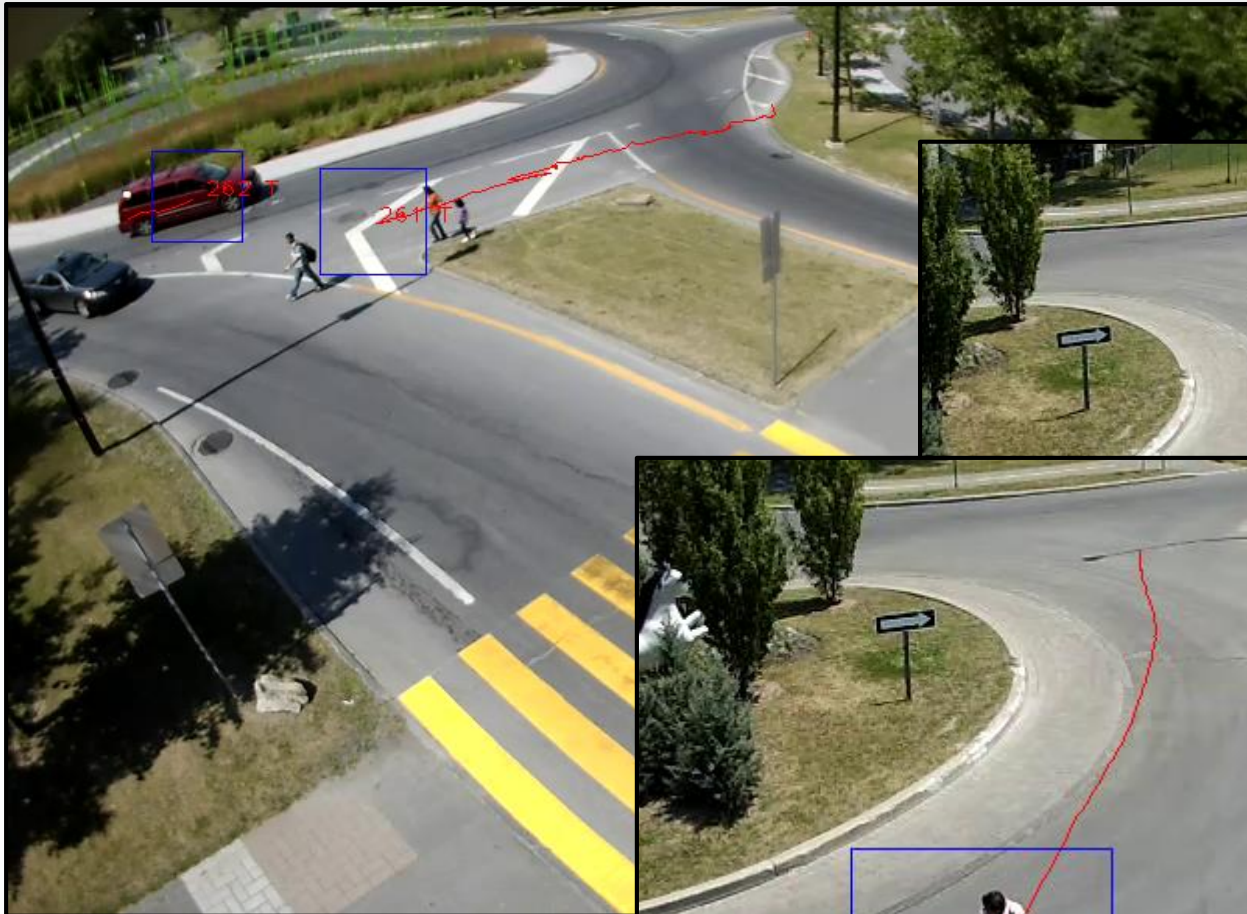


Quadrants où débits  
approche > anneau (9)



# COMPORTEMENTS ANORMAUX

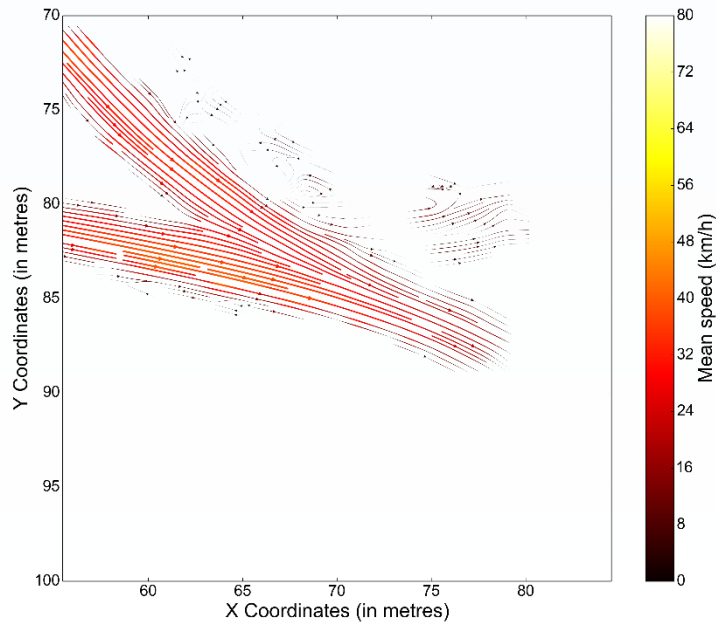
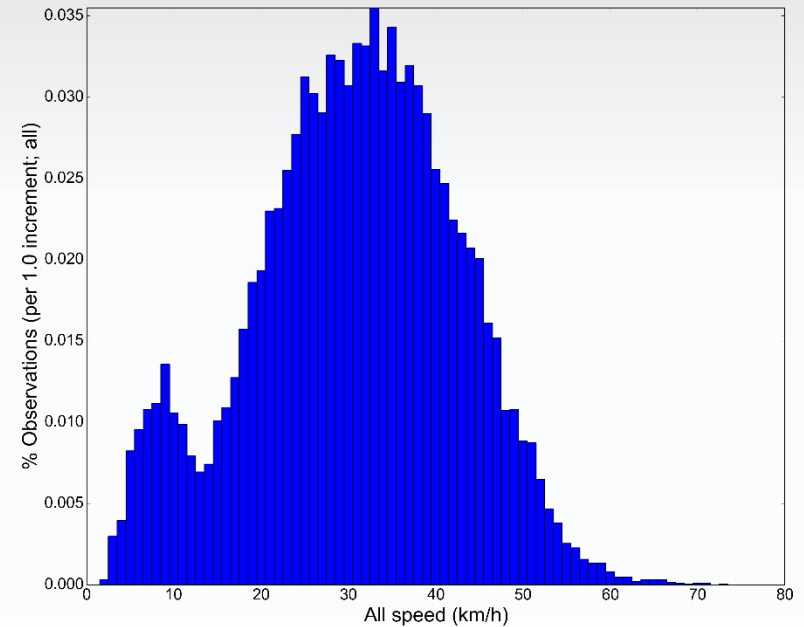




# DÉFLECTION DE LA TRAJECTOIRE

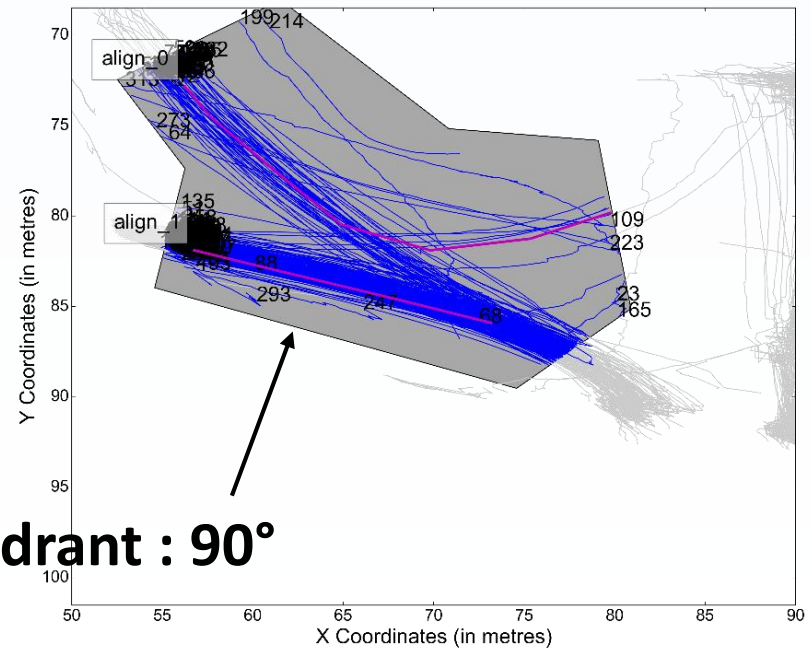
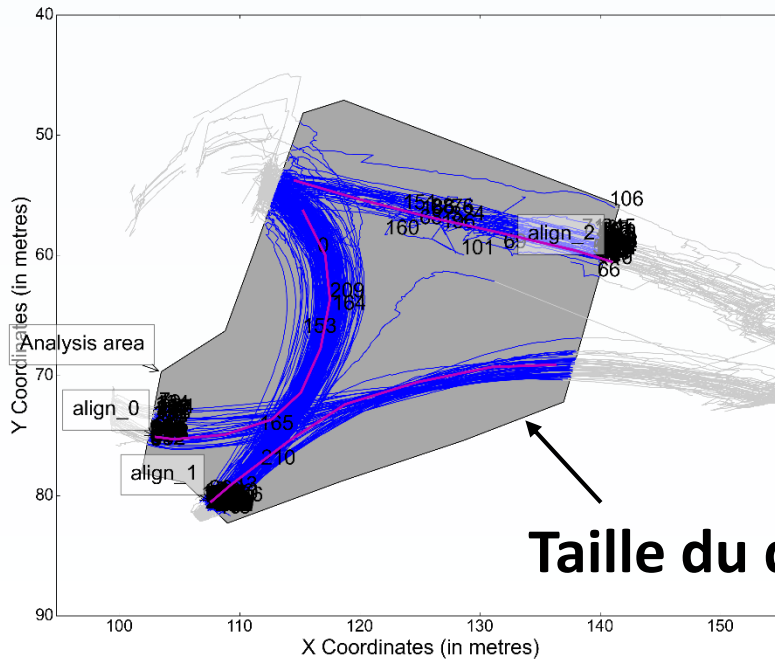
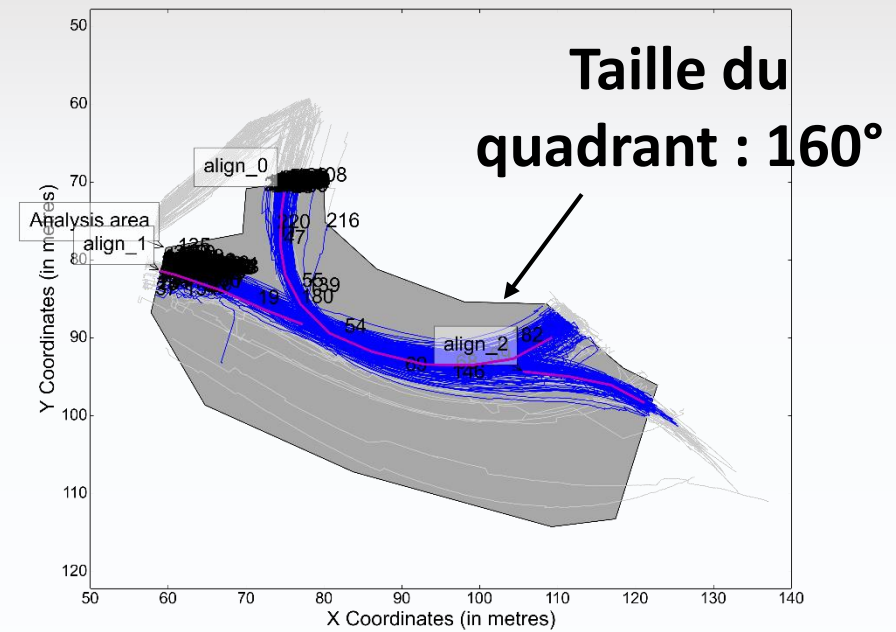
Objectif de la déflexion :  
réduire la vitesse d'approche

- Ici : exemple de géométrie problématique



Pour les « quadrants » à voie simple plus étroits (~90), tendances:

- Entrecroisements en forme de « X »
- Conduite côte à côte, même avec 1 voie



# Autres observations

- Embarquement sur la bande franchissable à certains carrefours giratoires plus que d'autre
  - Réduit l'effet de déflexion
  - Matériaux de construction?
- Pour les giratoires à voies multiples, implications concernant le chevauchement des trajectoires des usagers sur la voie extérieure vers l'intérieure.
  - Guide Québécois
  - Guide américain NHCRP

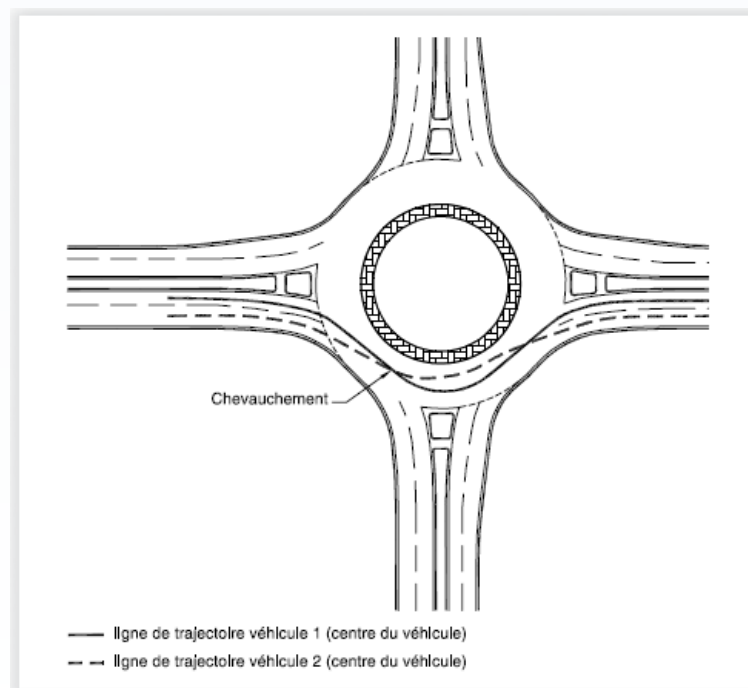
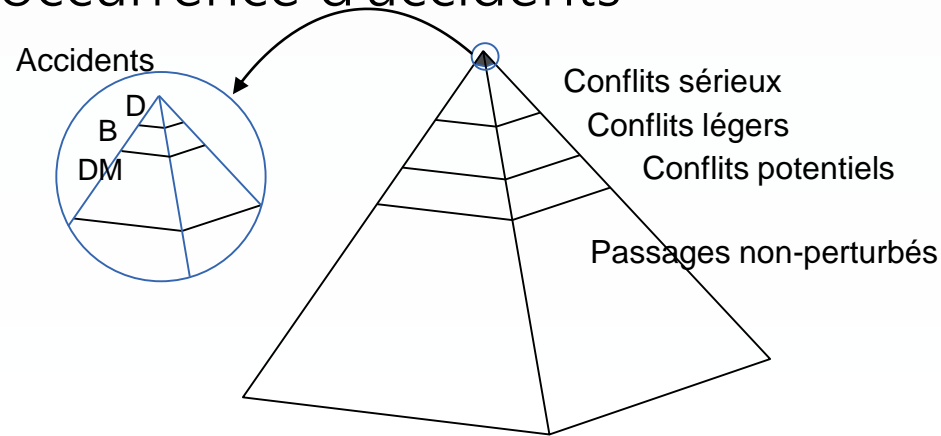


Figure 7.10-2 Chevauchement de trajectoires dans un carrefour giratoire à deux voies

# DIAGNOSTIC DE SÉCURITÉ BASÉE SUR LES INTERACTIONS SANS COLLISION

Lien empirique entre les accidents de la route et les interactions sans collision (« quasi-accident », « conflit ») observées entre usagers de la route

- La théorie courante maintient l'existence d'un lien entre la proximité des véhicules sur une trajectoire de collision potentielle et l'occurrence d'accidents
- L'hypothèse de recherche maintient que ce lien:
  - existe pour des sites différents
  - se mesure de manière objective et quantitative



# TEMPS À LA COLLISION

Le temps à la collision (*time-to-collision*, *TTC*) est une mesure de sécurité classique (en particulier pour les conflits) qui décrit le temps restant, à un moment donné, avant qu'une collision se produise entre deux véhicules sur une trajectoire de collision quelconque:

$$TTC = \frac{d}{\Delta v}$$

- La trajectoire et les points de collision sont prédits à partir des mouvements observés à chaque instant. Plusieurs hypothèses de prédiction du mouvement peuvent être utilisées.

Situation  
à l'instant  $t$



Prédiction  
jusqu'au moment  $t+TTC$



Point de collision potentiel  
selon l'hypothèse de conduite  
après TTC secondes

Réalité observé  
(sauf dans les situations de collision)

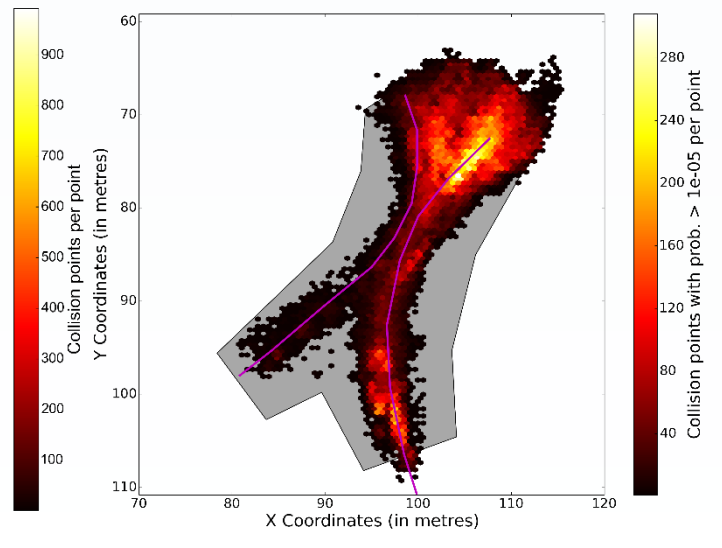
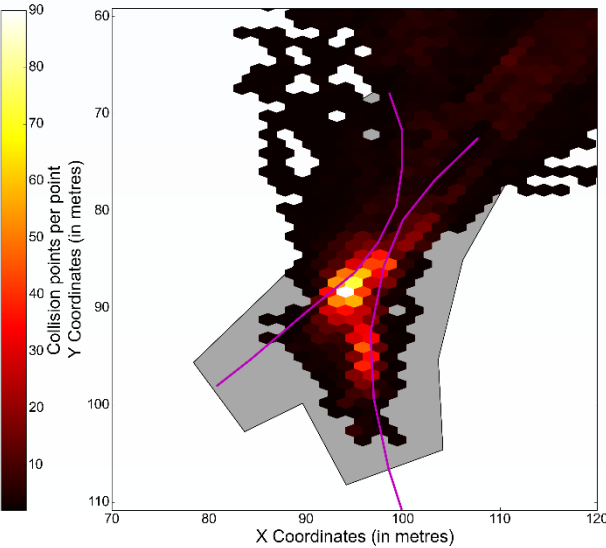
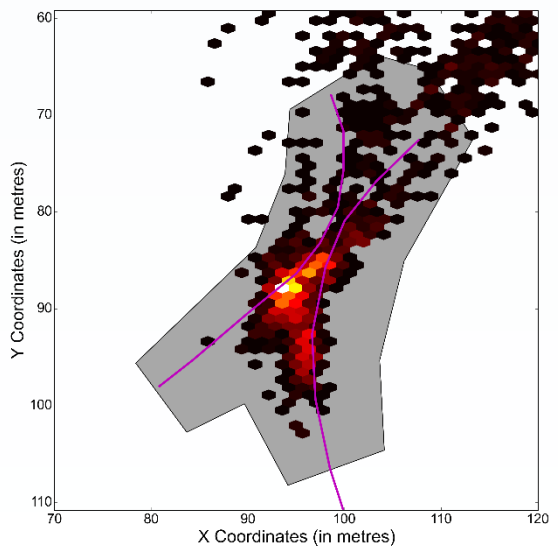
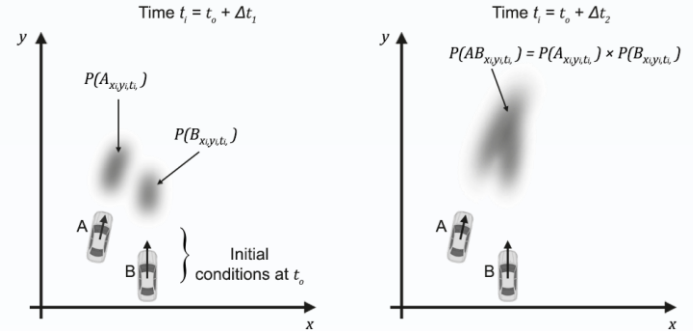
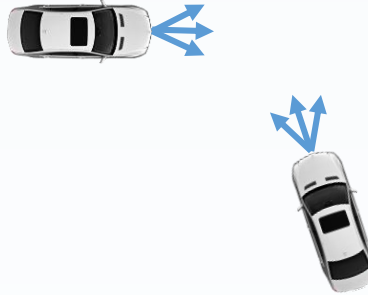
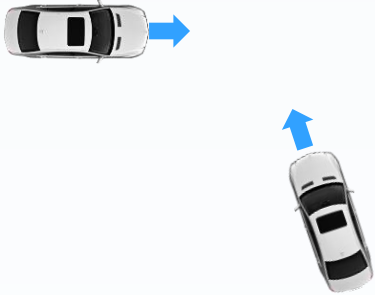


# Hypothèses de prédiction de mouvement de collision:

Vitesse constante

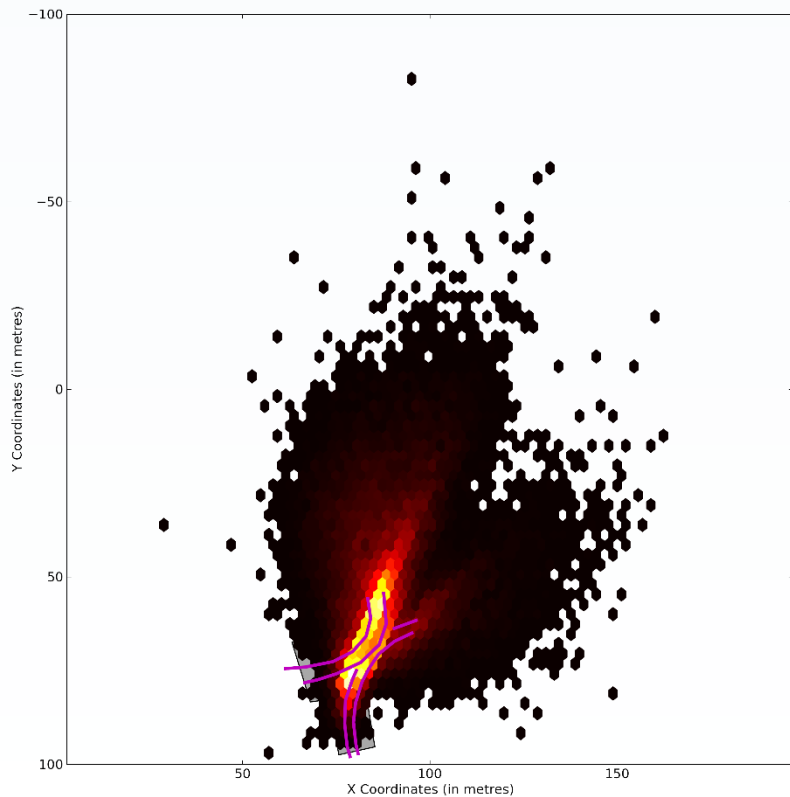
Adaptation normale

Apprentissage probabiliste  
naturaliste

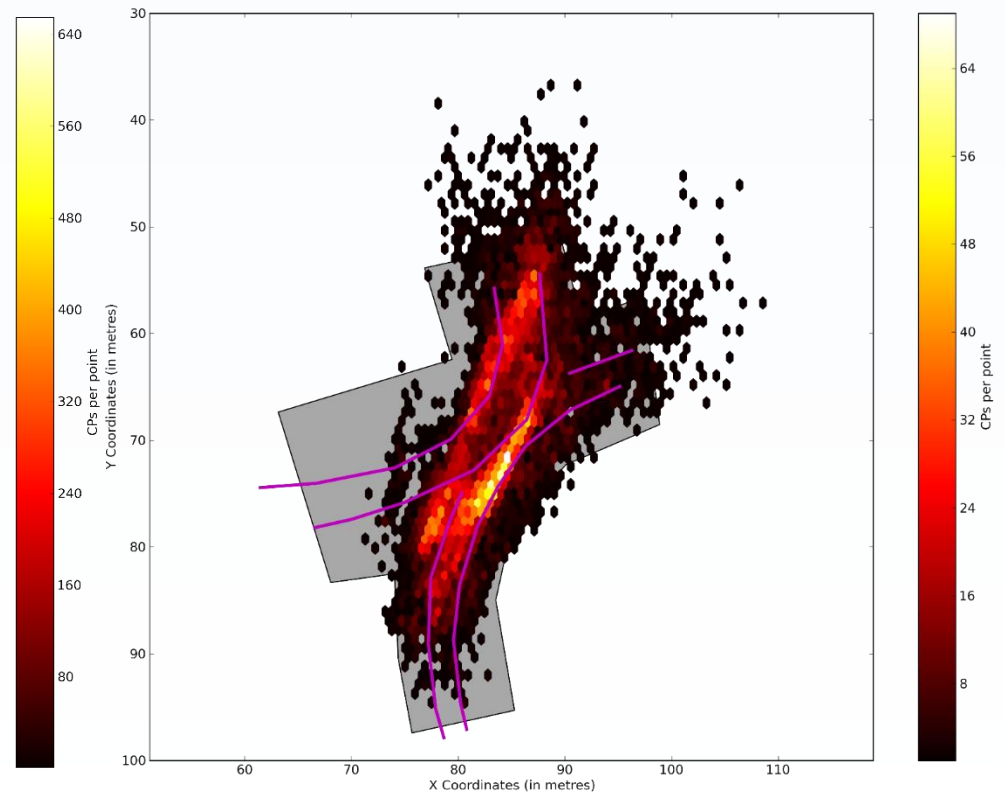


# EXEMPLE D'EXTRACTION DES TTC

Tous les TTC

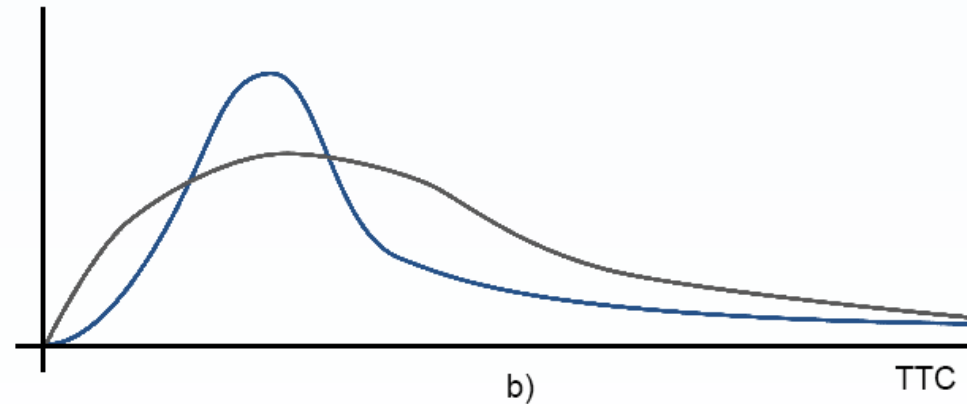
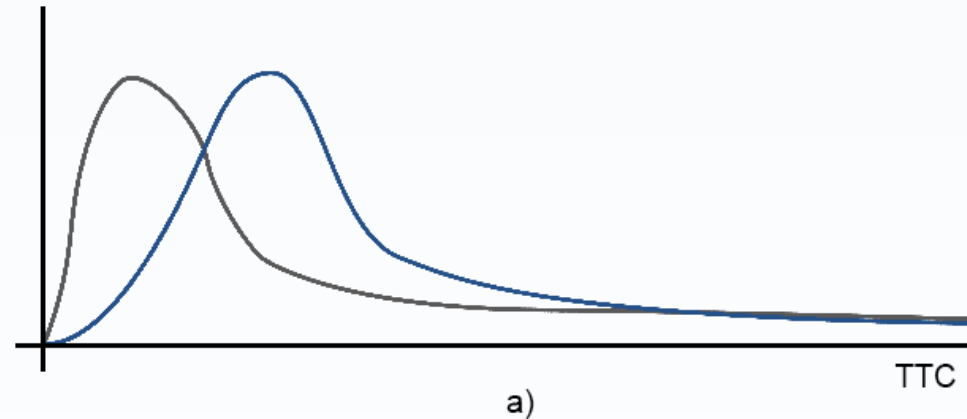


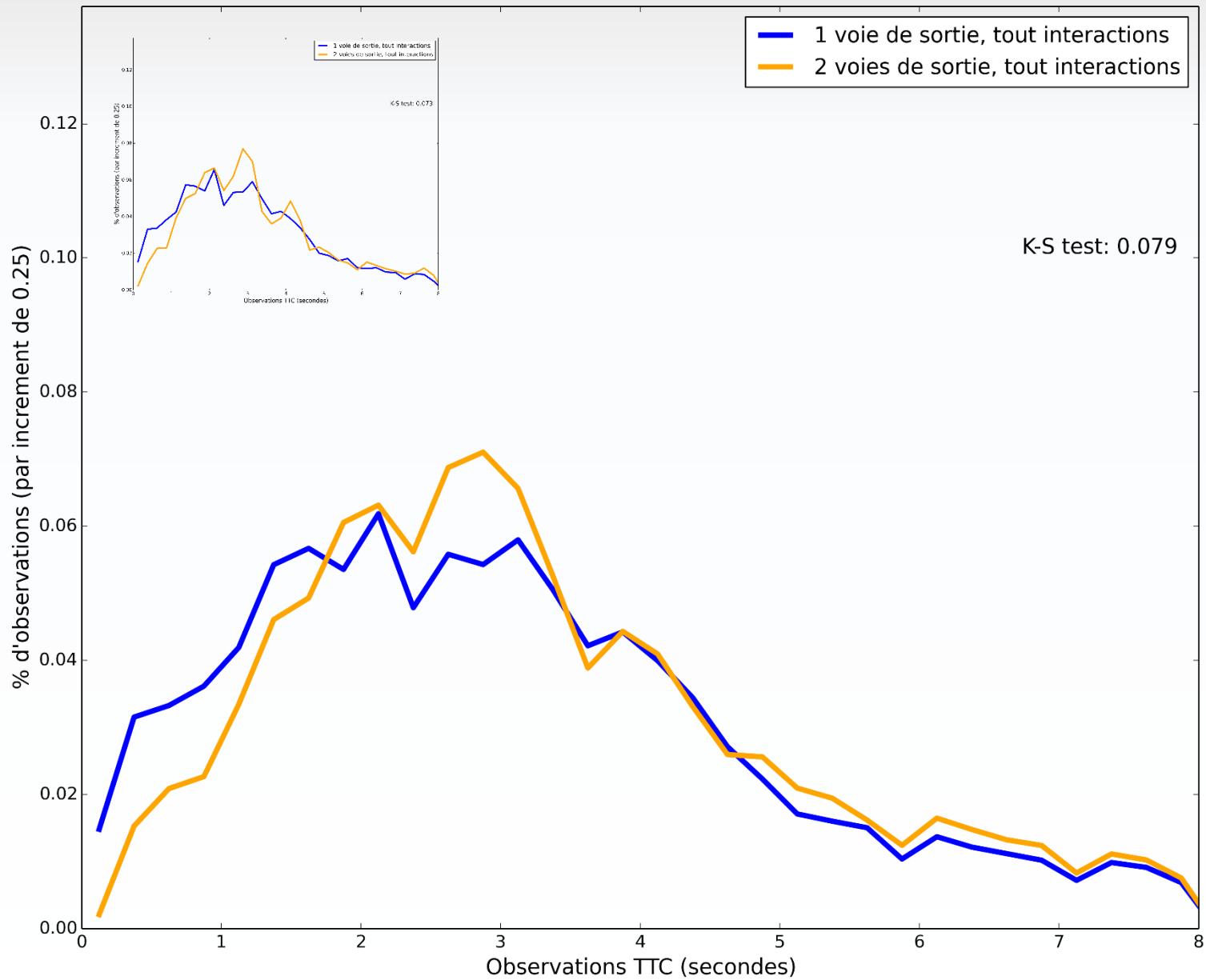
TTC < 1.5 secondes

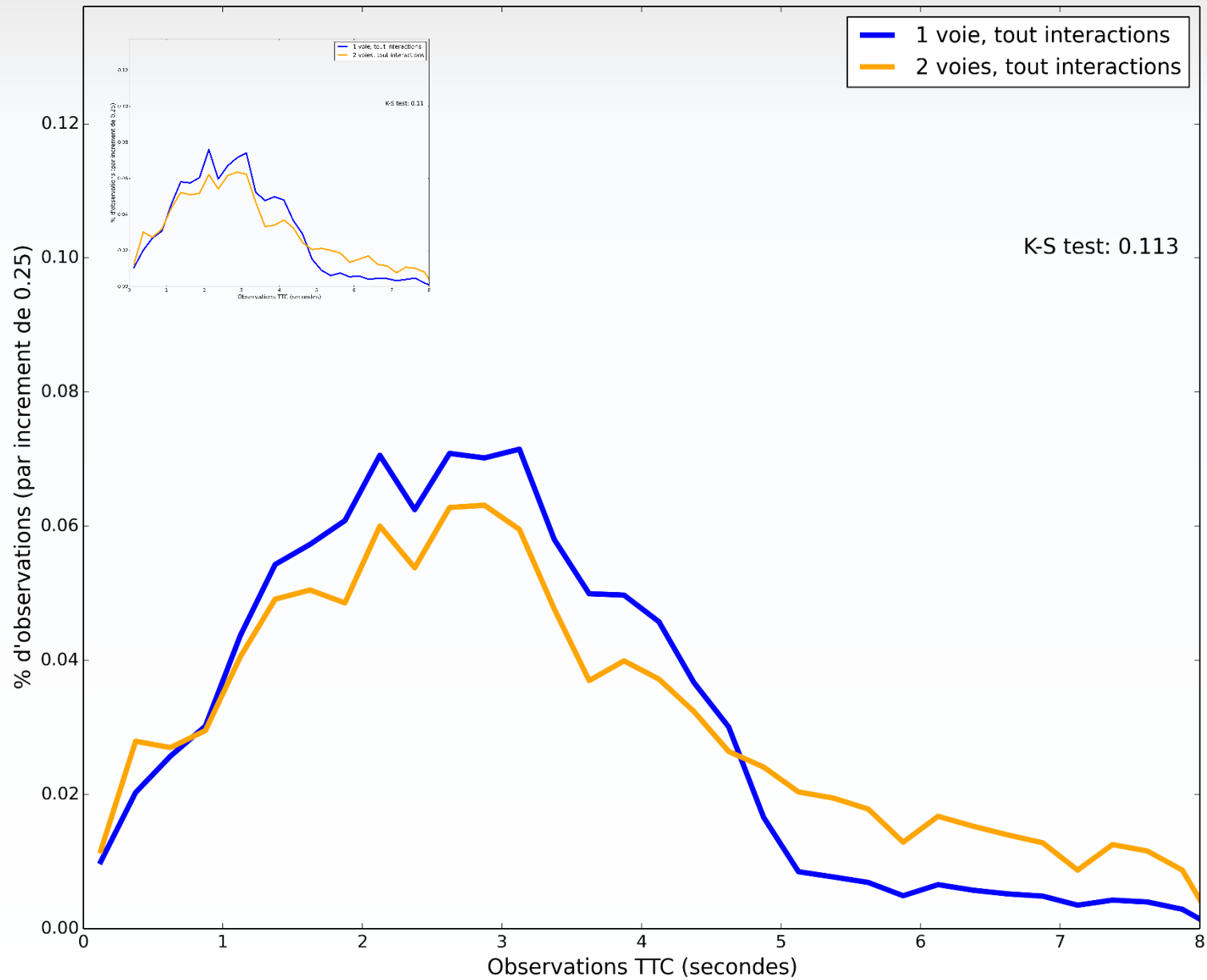


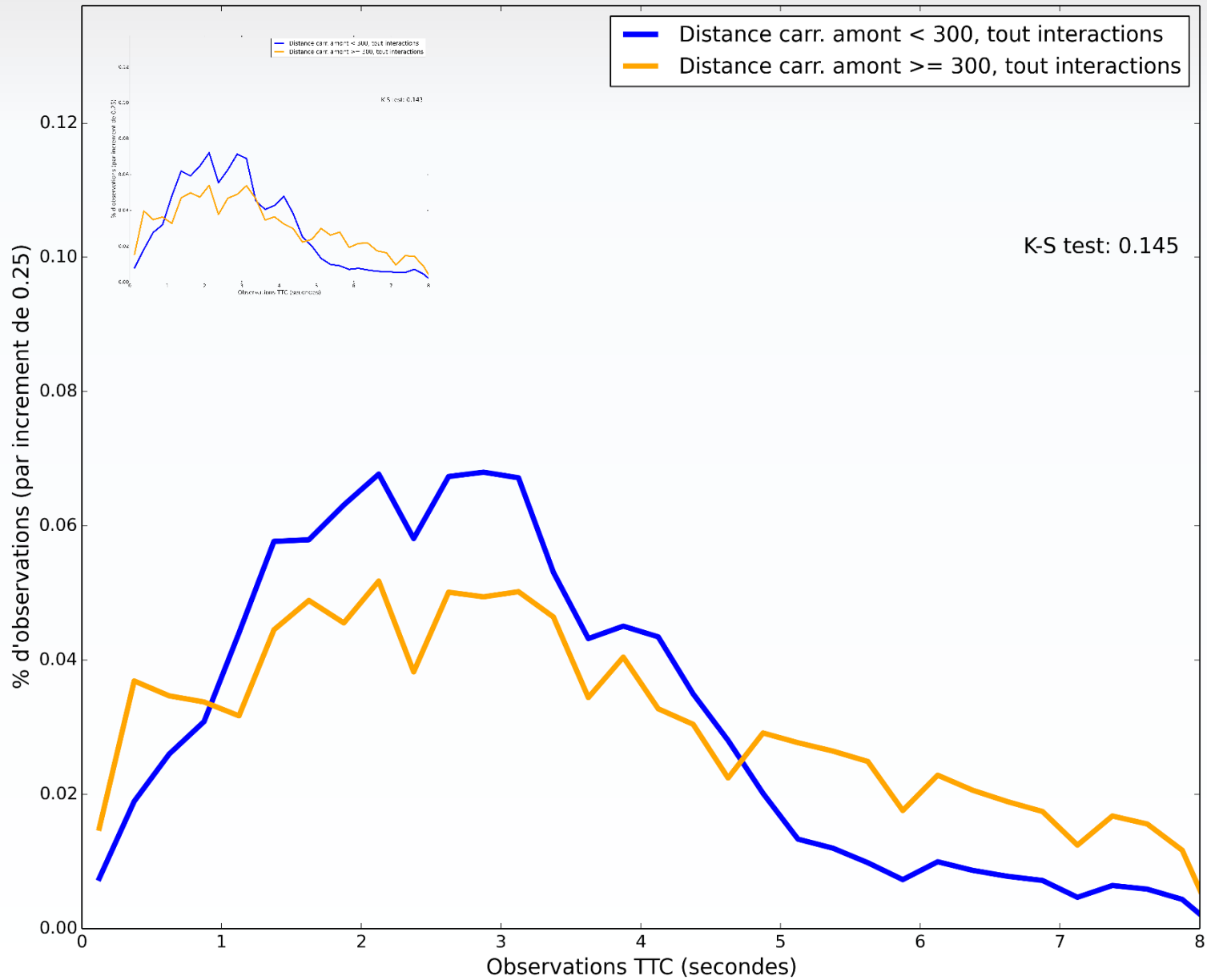
# Interprétation:

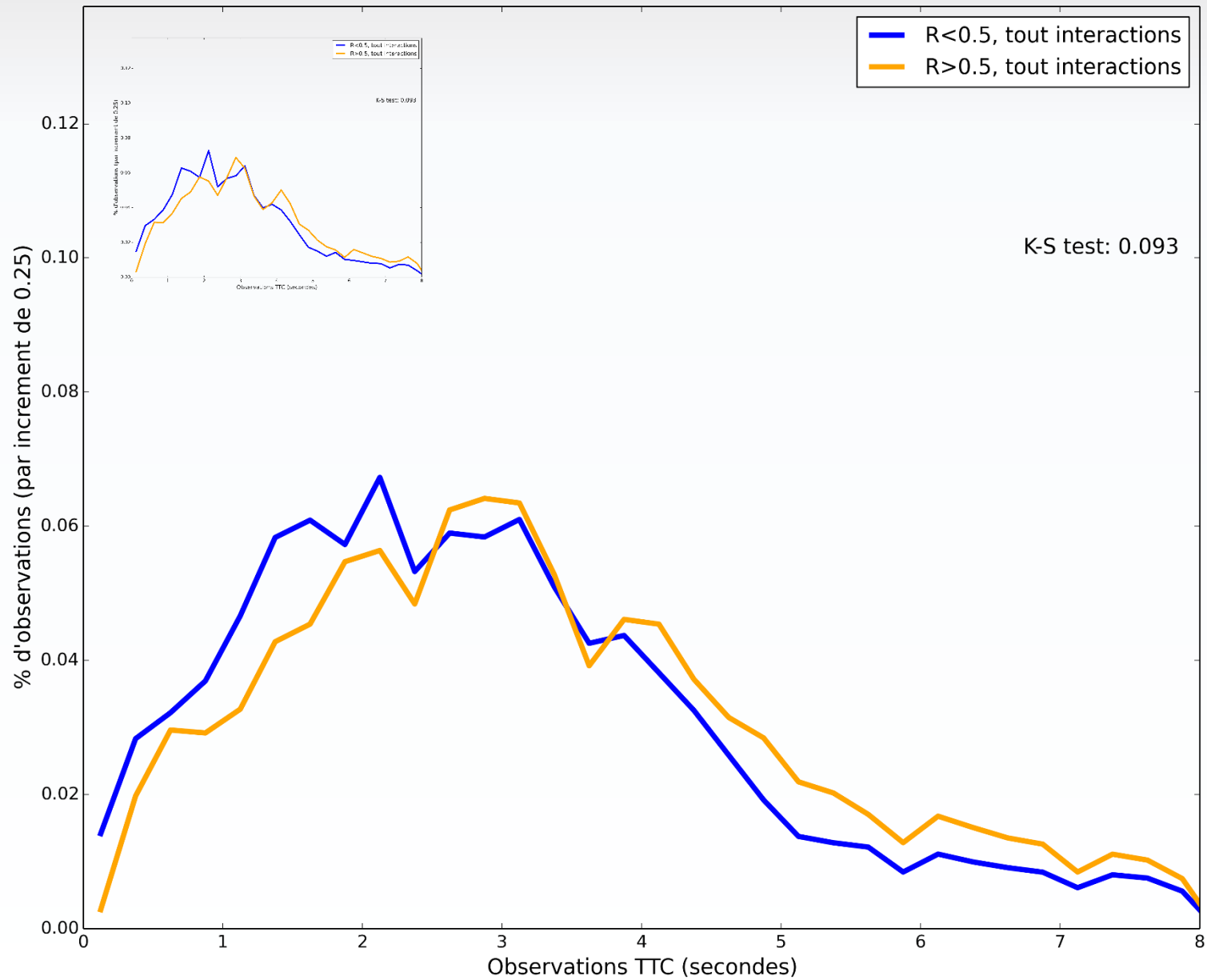
- Une répartition de TTC plus élevée (décalée vers la droite) est préférable pour la sécurité
  - Des TTC = 0 sont des collisions
  - Plus les TTC sont élevées, plus les usagers ont du temps à réagir
- Répartition a) simple à interpréter
- Répartition b) plus complexe à interpréter (facteurs d'exposition)











# Méthodes d'extrapolation de collision

- Vitesse (vecteur) constante
- Adaptation normale
- Apprentissage probabiliste naturaliste (modèle de mouvement)

## Descripteurs statistiques

- Taux d'événements (interactions) selon un certain seuil
- Mesures moyennes etc. et centiles des distributions
- Test statistique non-paramétrique Kolmogorov–Smirnov

## Agrégation

- Tout observation
- Par pair d'utilisateurs, valeur minimal
- Par pair d'utilisateurs, par centile (ex. 15<sup>e</sup>)

# TRAVAUX FUTURS

- Avant-après réaménagement
- Comparaison été/hiver
- Comparaison avec les comportements Européen
- Régression approfondi
- Validation des mesures de conflit par rapport à des données d'accidents historiques (objectif long-terme)



Projet financé par le programme de recherche en sécurité routière :

Fonds de recherche  
Santé

Québec 

Fonds de recherche  
Nature et  
technologies

Québec 



En collaboration avec :

Transports  
Québec 

Partenaires de recherche :



Remerciement : Shaun Burns, Jean-Simon Bourdeau, Joshua Stipancic, Laurent Gauthier

**Merci!**