

**POLYTECHNIQUE
MONTREAL**

UNIVERSITÉ
D'INGÉNIERIE

Diagnostic de la sécurité routière par données GPS

Colloque du RRSR – 23 mai 2019



CIRRELT

Nicolas Saunier - nicolas.saunier@polymtl.ca

Plan de la présentation

1. Contexte et objectifs
2. Méthodologie
3. Résultats
4. Conclusion

1. Contexte

- **Projet** « Stratégie d'expérimentation de systèmes d'adaptation intelligente de la vitesse et d'enregistreurs de données de vitesse », MTQ, 2014-2016, avec Luis Miranda-Moreno, François Bellavance et Jean-François Bruneau
- Thèse de doctorat de **Joshua Stipancic** « Modelling crash frequency and severity using global positioning system travel data: Evaluation of surrogate safety measures and development of a network screening model », 2014-2018, soutenue le 22 octobre 2018, dirigée Luis Miranda-Moreno (Université McGill) et Nicolas Saunier (Polytechnique Montréal), avec la collaboration d'Aurélié Labbe (HEC Montréal)



1. Contexte: méthodes de diagnostic de la sécurité routière

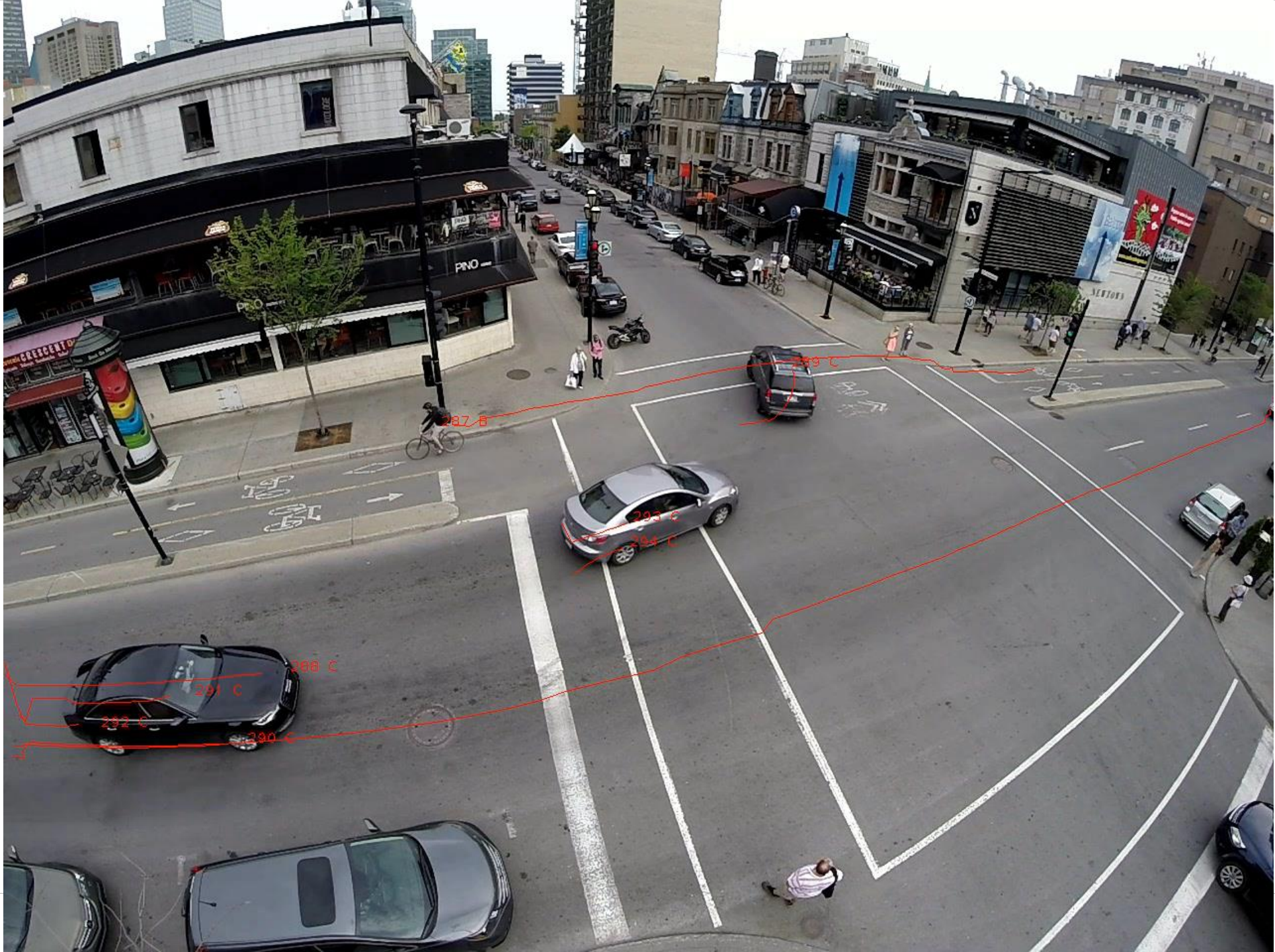
*Le diagnostic de la sécurité routière repose traditionnellement sur les **données historiques d'accident***

- Ces données servent à **dépister** les sites dangereux (« hot/black spots ») sur le réseau (« network screening ») et identifier des relations entre les accidents, leur gravité, et des facteurs explicatifs (véhicules, routier, humains)
- Cette approche souffre de **plusieurs limitations**
 - qualité des données
 - longues périodes d'observation
 - difficulté d'attribution à des causes
 - approche réactive

1. Contexte: méthodes de diagnostic de la sécurité routière

*Développement de **méthodes substitués** (« surrogate measures of safety »), qui ne requièrent pas d'attendre que des accidents se produisent*

- Il y a beaucoup de travail sur l'analyse de **sites** avec des observateurs ou des méthodes de vision par ordinateur
- Les données de **véhicules sondes** constituent la seule solution pour le dépistage rapide dans tout le réseau
- Contexte des **assurances télématiques** (ajusto, automérite, etc.) et des capteurs pour la **gestion de flotte**



1. Objectif

Développer et valider une méthode de dépistage à l'échelle du réseau, reposant sur des modèles de prédiction de la fréquence et la gravité des accidents à l'aide de mesures substituts provenant de données GPS des conducteurs du public

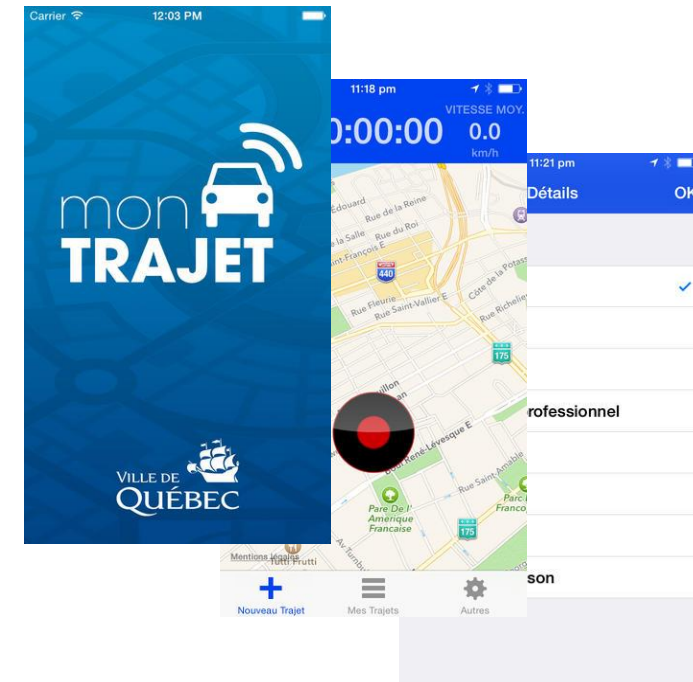
2. Méthode de collecte des données

Données GPS (GNSS) collectées à Québec en mai 2014

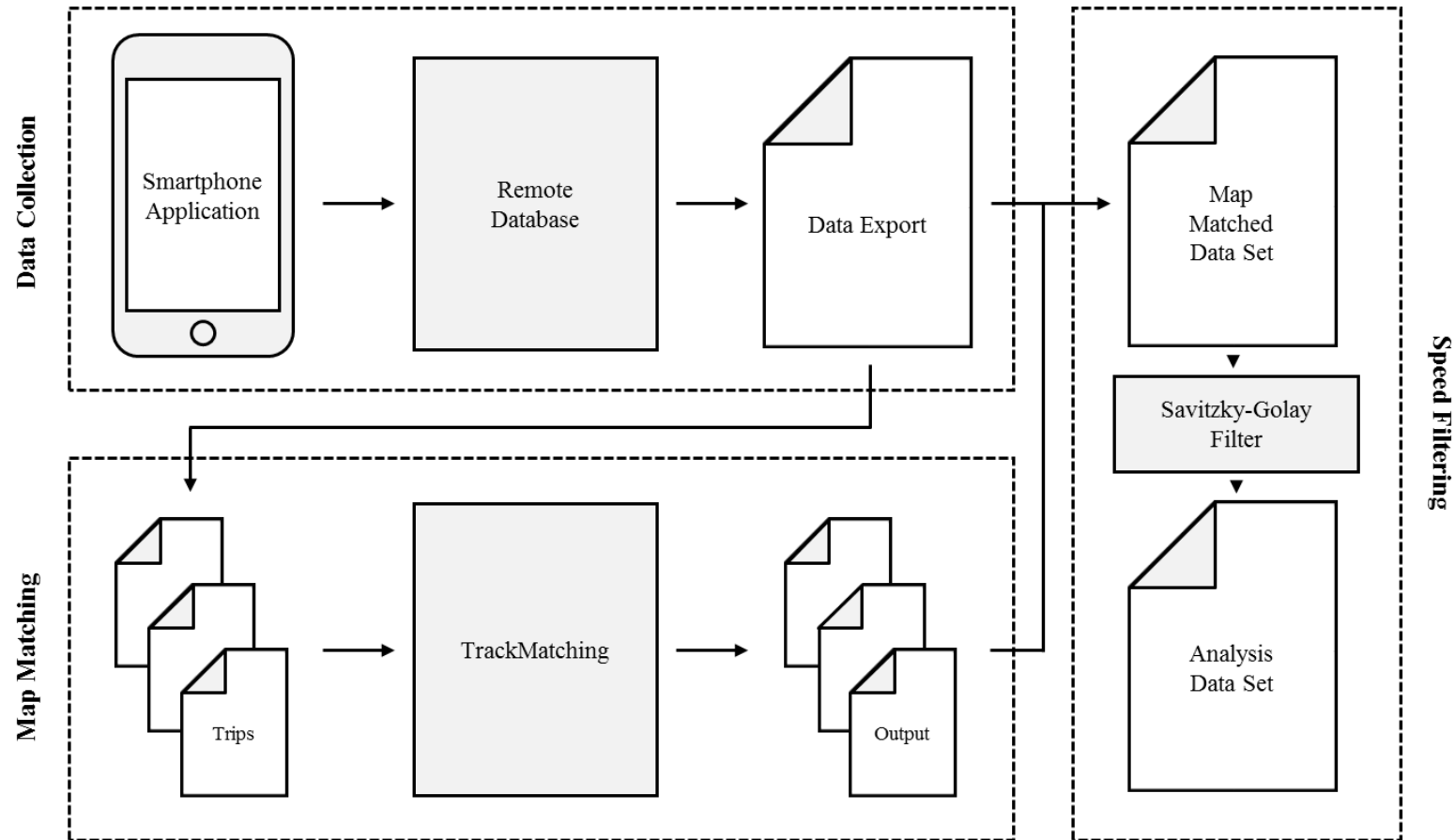
- Collecté avec une application pour telephone intelligent developée par BriskSynergies
- Disponible pour iOS et Android
- Volontaires et anonymes

Taille de l'échantillon

- 4000 conducteurs
- 22,000 déplacements
- 19.7 million de points GPS



2. Méthodes de traitement des données



2. Indicateurs de congestion

Méthodes de calcul et de visualisation de la congestion

Calcul de l'indicateur de congestion

- Il existe plusieurs mesures de congestion **basées sur le temps**
- Les temps de parcours par segment dépendent des positions résultant de l'affectation au réseau ("map matching")
- Les mesures basées sur la vitesse, comme l'indice de congestion (CI), sont préférées

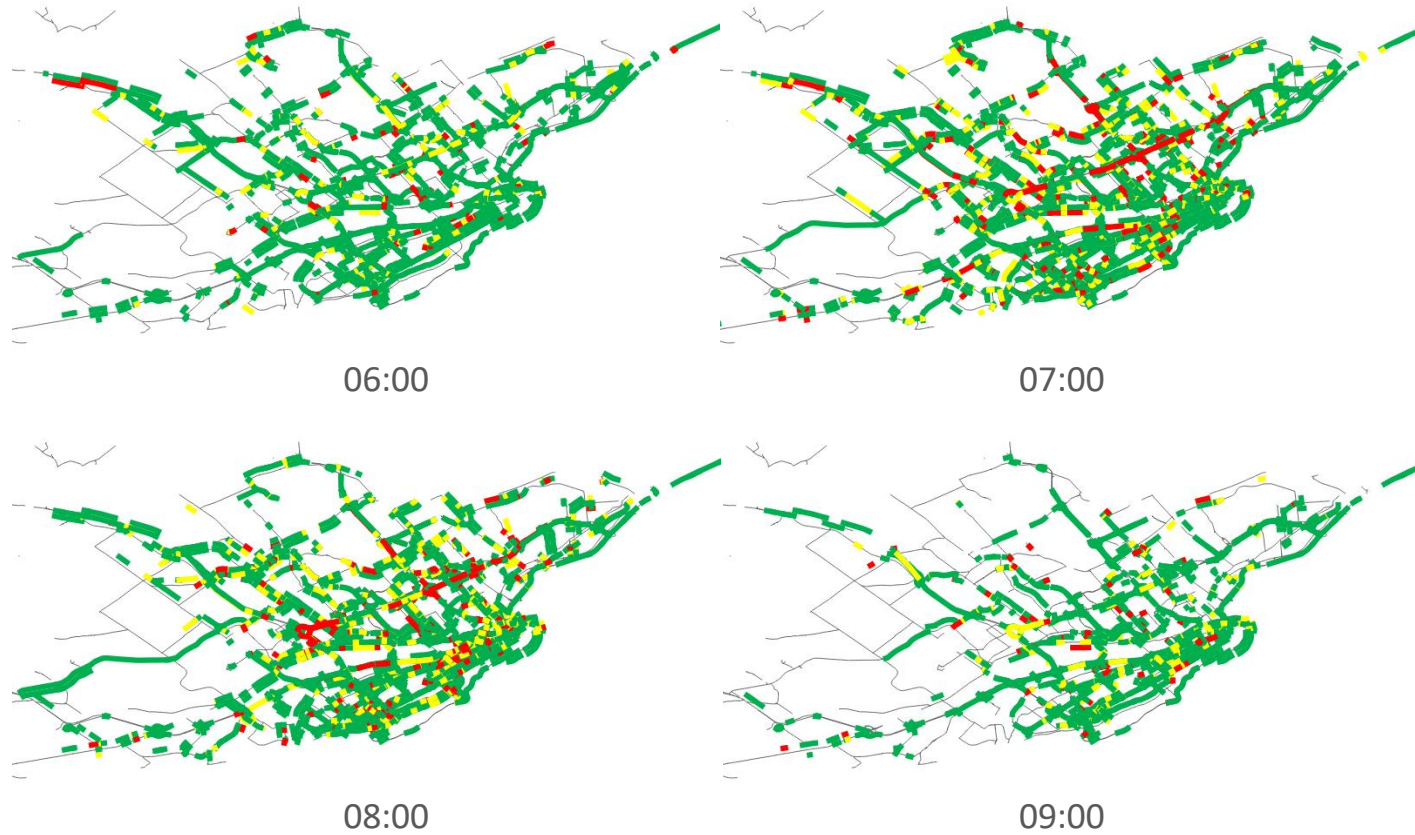
$$CI = \frac{\text{free flow speed} - \text{actual speed}}{\text{free flow speed}} \quad \text{if free flow speed} > \text{actual speed}$$
$$= 0 \quad \text{otherwise}$$

Visualisation de la congestion

- La magnitude et la variation de la congestion sont visualisées sur des cartes

2. Collecte et traitement des données

Cartes de congestion



2. Extraire et valider les mesures substitués de sécurité

Méthode pour l'extraction des indicateurs de sécurité

Mesures basées sur des événements

- Les **décélérations** sont la **manoeuvre la plus fréquente** pour éviter un accidents dans les zones urbaines: extraction des freinages brusques (“hard braking events” (HBE))
- Intérêt aussi pour les **accélérations brusques** (“hard acceleration events” (HAE))
- Les accélérations sont filtrées (Savitzky-Golay) et comparées à des seuils

Mesures de la circulation

- Indicateur de congestion $CI_L = \frac{\sum_{i,j} CI_{ij}}{N}$
- Vitesse moyenne $\bar{V}_L = \frac{\sum_{i,j} v'_{ij}}{N}$
- Coefficient de variation de la vitesse $CVS_L = \frac{\sigma(v'_{ij})}{\bar{V}_L}$

2. Extraire et valider les mesures substitués de sécurité

Validation des mesures

Fréquence des accidents

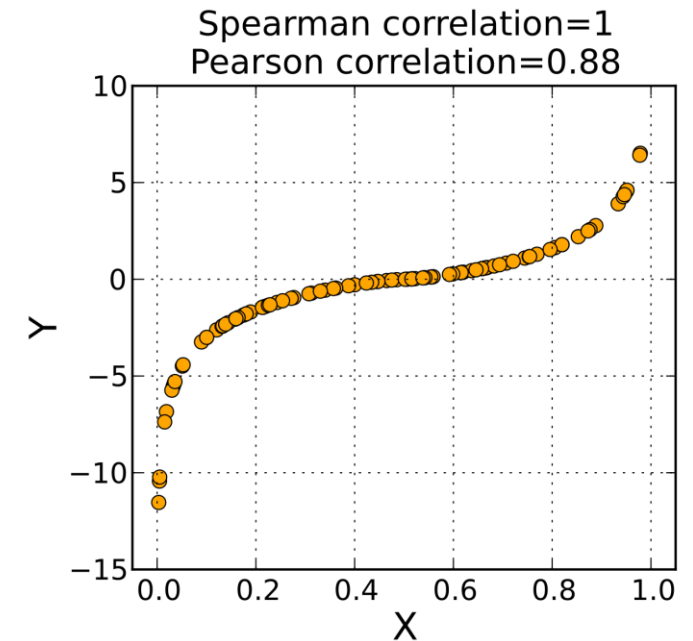
- Coefficient de corrélation de Spearman: association entre deux variables selon une fonction monotone

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum (w_L - v_L)^2}{M(M^2 - 1)}$$

Gravité des accidents

- Test de Kolmogorov-Smirnov (K-S) sur l'égalité entre deux distributions de probabilité
- Les sites sont divisés en groupes: 1) au moins un accident mortel; 2) au moins un accident avec blessures graves (aucun mortel), et; 3) seulement des blessures légères

$$D = \max_{1 < i < N} |E_1(i) - E_2(i)|$$



2. Modèles de la fréquence et la gravité des accidents

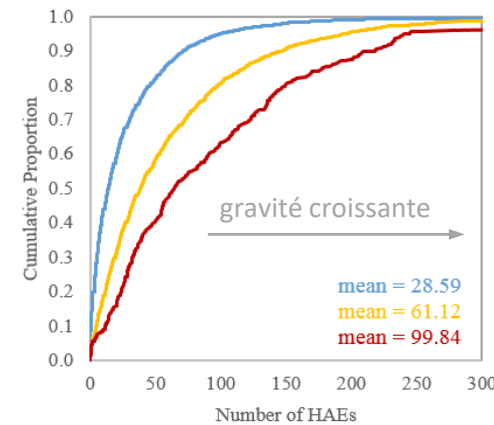
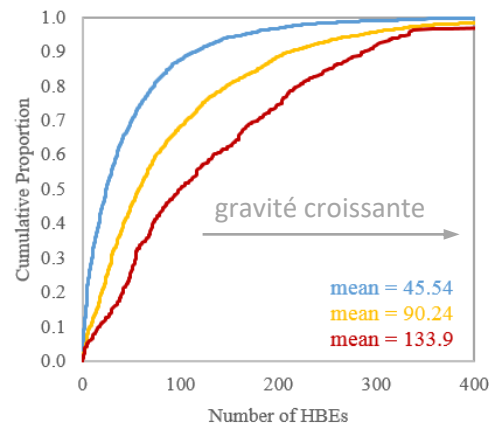
- Modèle gaussien latent spatial: μ_i moyenne du **nombre d'accidents**
 - $g(\mu_i) = \eta_i = \beta_0 + \sum_{k=1}^{n_\beta} \beta_k z_{ki} + \sum_{j=1}^{n_f} f^{(j)}(u_{ji}) + \epsilon_i$
 - prise en compte des corrélations spatiales
 - estimé par la méthode INLA (“Integrated Nested Laplace Approximations”) pour l’inference bayésienne
- Prédiction de la **gravité** d’un accident par un modèle de choix discret (logit multinomial)
 - Probabilité d’un accident de gravité m pour un site i $P_i(m) = \frac{\exp(U_{mi})}{\sum_{\forall l} \exp(U_{li})}$
- **Classement des sites** selon le **coût** total des accidents à chaque site θ_i
 - $\theta_i = \sum_m \mu_i \cdot P_i(m) \cdot C(m), \delta_i = \frac{\theta_i}{\text{longueur} \times \text{débit}}$

3. Extraire et valider les mesures substituts de sécurité

Résultats pour les mesures basées sur des événements (HAE, HBE)

Spearman's rho for HBEs and HAEs

Link Level			Intersection Level		
Classification	HBE	HAE	Classification	HBE	HAE
Motorway	0.118	0.155	Motorway	0.603	0.641
Primary	0.260	0.297	Primary	0.540	0.554
Secondary	0.261	0.333	Secondary	0.532	0.536
Tertiary	0.213	0.244	Tertiary	0.573	0.584
Residential	0.270	0.256	Residential	0.615	0.625



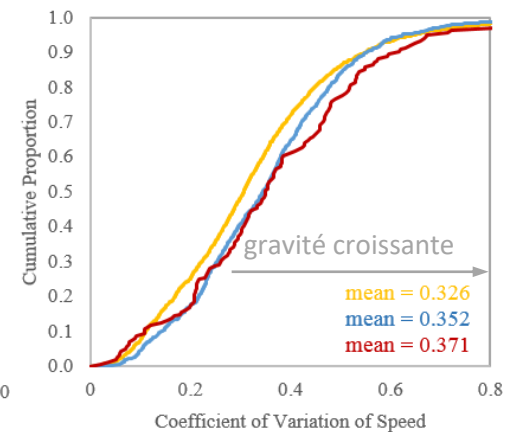
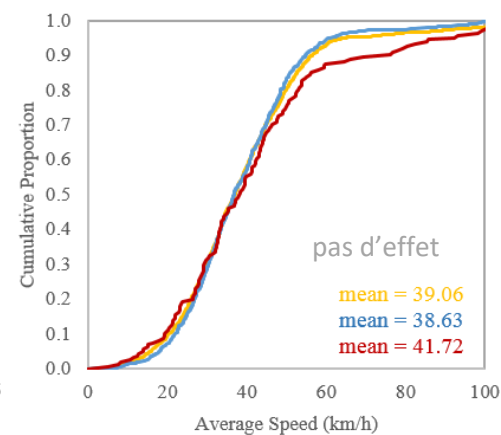
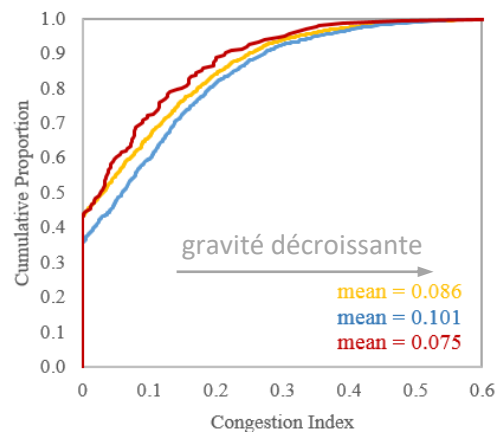
11 ans de données d'accident
2001-2011

3. Extraire et valider les mesures substituts de sécurité

Résultats pour les mesures de trafic

Spearman's rho for CI, \bar{V} (km/h), and CVS

Link Level				Intersection Level			
Classification	CI	\bar{V}	CVS	Classification	CI	\bar{V}	CVS
Motorway	0.05	-0.27	0.17	Motorway	0.02	-0.14	0.20
Primary	0.21	-0.35	0.16	Primary	0.18	-0.45	0.38
Secondary	0.11	-0.41	0.10	Secondary	0.11	-0.37	0.36
Tertiary	0.12	-0.22	0.16	Tertiary	0.15	-0.18	0.20
Residential	0.08	0.05	0.15	Residential	0.09	0.00	0.13

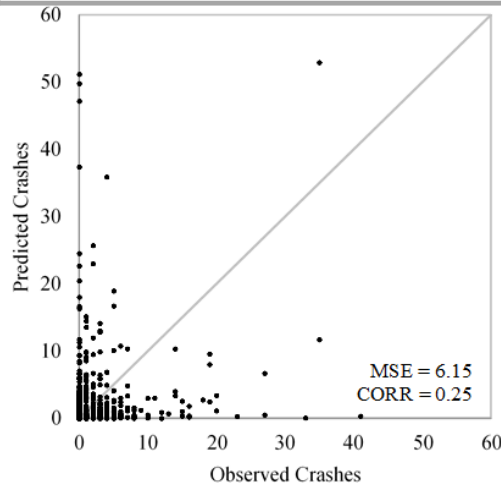


3. Résultats de la validation

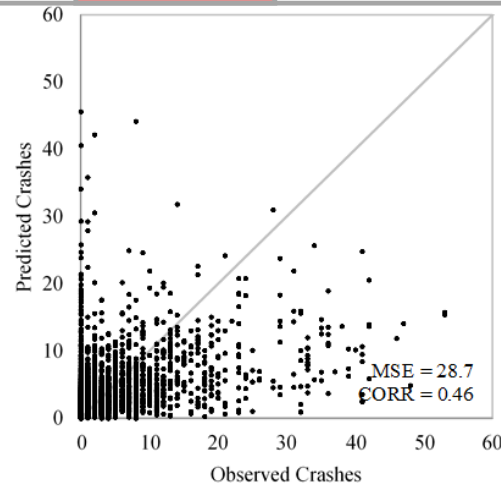
- Les HBE et HAE sont positivement corrélées avec la fréquence et la gravité
- Le CI est positivement corrélé à la fréquence et la gravité
- La vitesse moyenne est négativement corrélée à la fréquence, sans relation à la gravité
- CVS est positivement corrélé avec la fréquence et la gravité

3. Modélisation de la fréquence des accidents

Explanatory variables	Links				Intersections			
	mean	std dev	95% CI		mean	std dev	95% CI	
Intercept	-15.83	0.87	-17.60	-14.22	-2.423	0.20	-2.811	-2.039
ln(Trips)	0.495	0.09	0.320	0.672	3.826	0.17	3.502	4.153
HBEs/Trip	-0.438	0.65	-1.735	0.806	1.131	0.10	0.940	1.328
Congestion Index	1.436	0.56	0.339	2.521	0.892	0.28	0.346	1.440
CVS	0.972	0.51	-0.044	1.978	0.905	0.26	0.402	1.408
Average Speed	-0.046	0.03	-0.106	0.014	-0.064	0.01	-0.085	-0.043
ln(Length)	2.110						N/A	N/A
Motorway	-3.037						-0.921	-0.420
Arterial/Collector	0.848						0.323	0.576
Number of cases								
DIC								
MSE								
CORR								



MSE = 6.15
CORR = 0.25



MSE = 28.7
CORR = 0.46

3. Modélisation de la gravité des accidents

Explanatory variables	Links				Intersections			
	coeff	std err	95% CI		coeff	std err	95% CI	
<i>Major Injury</i>								
Intercept	-4.022	0.98	-5.939	-2.105	-2.835	0.42	-3.656	-2.014
HBEs/Trip	-0.504	2.23	-4.872	3.863	-0.234	0.18	-0.592	0.125
Congestion Index	-0.500	1.76	-3.941	2.942	-0.450	0.55	-1.531	0.631
CVS	0.124	1.17	-2.164	2.412	-0.322	0.59	-1.475	0.832
Average Speed	0.114	0.05	0.007	0.221	0.031	0.02	-0.017	0.079
Motorway	-1.543	0.84	-3.198	0.111	-0.890	0.36	-1.603	-0.178
Arterial/Collector	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.054	0.14	-0.320	0.211
<i>Fatal</i>								
Intercept	-11.17	2.81	-16.67	-5.662	-7.483	1.07	-9.573	-5.393
HBEs/Trip	-1.91	5.66	-13.00	9.18	0.512	0.14	0.245	0.779
Congestion Index	-9.393	4.15	-17.53	-1.253	-2.164	1.65	-5.408	1.080
CVS	5.729	2.38	1.072	10.385	1.938	0.88	0.213	3.663
Average Speed	0.366	0.16	0.047	0.685	0.197	0.06	0.079	0.314
Motorway	-1.723	2.43	-6.487	3.040	-1.555	0.76	-3.051	-0.058
Arterial/Collector	N/A	N/A	N/A	N/A	-0.862	0.34	-1.522	-0.201

Number of cases

453

2204

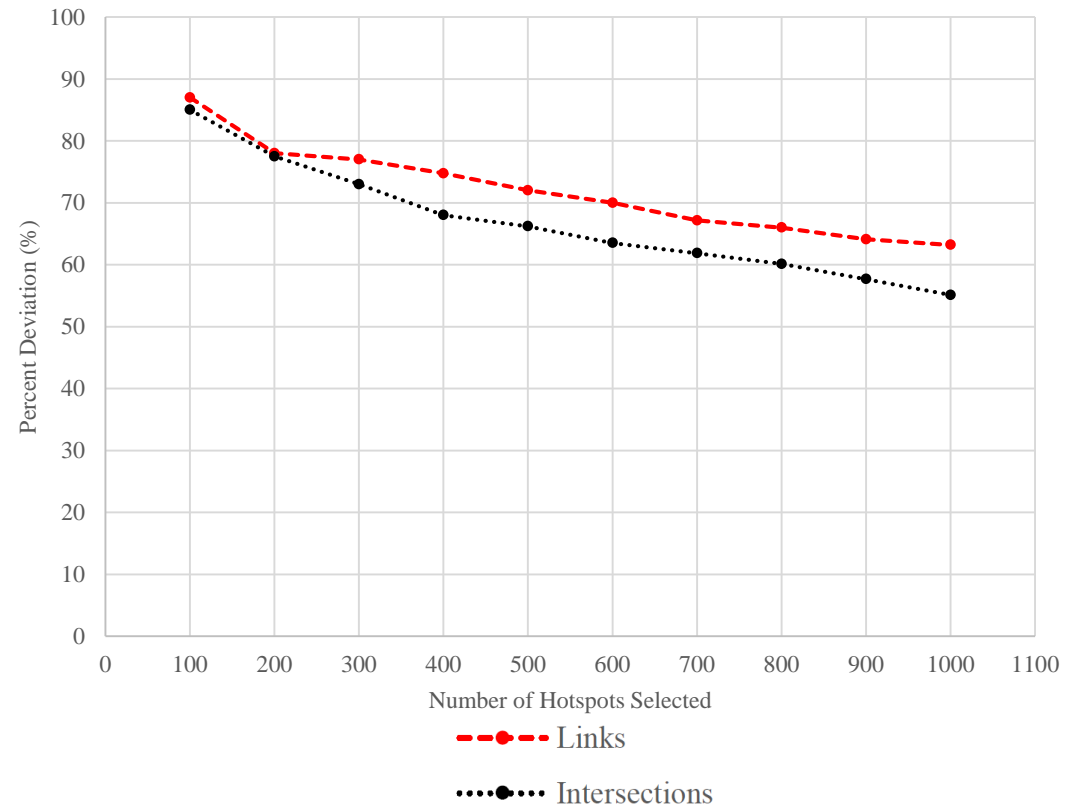
Log likelihood

-117.7

-574.4

3. Modélisation des accidents

Résultats – Classement des sites



(a)



(b)

3. Résultats de la modélisation

- Les mesures substitués sont généralement statistiquement significatives, et les directions de leurs associations sont corroborées avec la littérature
- Les modèles calibrés atteignent une corrélation de 0.60 avec les accidents, tandis que les résultats de prédiction donnent une corrélation de 0.46 pour les carrefours et 0.25 pour les segments
- Les classements des sites (priorisation) sont similaires entre 20 % et 45 % sur les données de validation, selon le nombre de sites considérés

4. Conclusion

- Validation d'une approche **complémentaire**, **rapide** et **peu coûteuse** de diagnostic de la sécurité à l'échelle d'un réseau
- Défis de la représentativité des usagers de l'application
- Défis de **couverture** spatiale du réseau, et de couverture temporelle des données (période différente des données d'accident)
- Problèmes de prédictions du nombre d'accidents à certains sites
- Description de la structure spatiale des sites (voisins)

4. Perspectives

Suite des travaux sur la sécurité avec **Intact Assurances**

- Assignation au réseau (« map matching »)
- Autres capteurs sur téléphone intelligent, autres informations contextuelles sur les itinéraires des usagers
- Validation avec données de l'application automérite à Montréal, et les données des réclamations

Opportunité de répondre à plusieurs besoins

- Conditions de circulation
- Suivi en continu des comportements et de la sécurité routière, par ex. pour l'impact de modification de limites de vitesse
- Modèle/plateforme à définir

MERCI !



nom.prenom@polymtl.ca



514 340-4711 p. xxxx



@polymtl

SUIVEZ-NOUS !



facebook.com/polymtl

Travaux de Joshua Stipancic

Supervisors

- Dr. Luis Miranda-Moreno
- Dr. Nicolas Saunier

Collaborators

- Dr. Aurelie Labbe

Other Assistance

- Spencer McNee
- Ministry of Transportation Quebec
- City of Quebec and Brisk Synergies

Funding

- Natural Sciences and Engineering Research Council
- Les Vadasz, McGill Engineering Doctoral Award

Publications

- Measuring and Visualizing Space-Time Congestion Patterns in an Urban Road Network Using Large-Scale Smartphone-Collected GPS Data. *Transportation Letters*, 2017.
- Vehicle Manoeuvres as Surrogate Safety Measures: Extracting Data from the GPS-Enabled Smartphones of Regular Drivers. *AAP*, 2018.
- Impact of Congestion and Traffic Flow on Crash Frequency and Severity: An Application of Smartphone-Collected GPS Travel Data. *TRR*, 2017.
- Surrogate Safety and Network Screening: Modelling Crash Frequency Using GPS Travel Data and Latent Gaussian Spatial Models. *AAP*, 2018.
- Network Screening for Large Urban Road Networks: Using GPS Data and Surrogate Measures to Model Crash Frequency and Severity. *AAP*, 2019.