



Chaire de recherche industrielle
du CRSNG sur l'interaction
charges lourdes-climat-chaussées



Influence du soulèvement au gel sur la durée de vie utile des chaussées

Olivier Sylvestre – Phase 2 – 2017

Influence du soulèvement au gel sur la durée de vie utile des
chaussées

Jean-Pascal Bilodeau

Guy Doré



UNIVERSITÉ
LAVAL

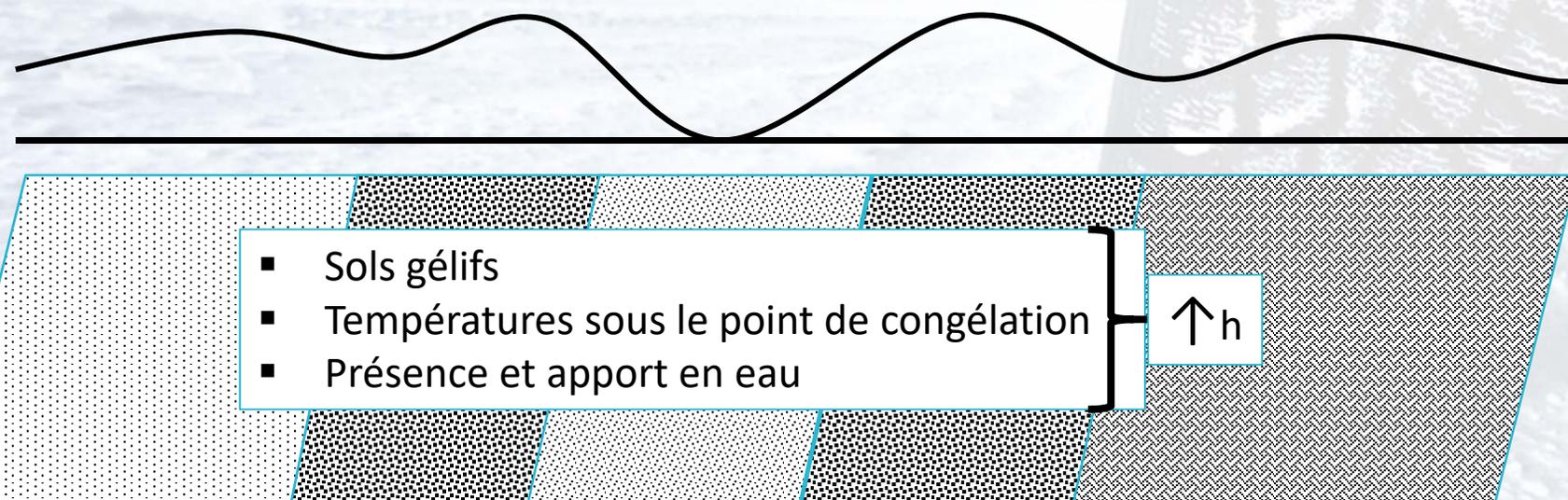
Faculté des Sciences et de génie
Département de génie civil

GRINCH

GRUPE DE RECHERCHE
EN INGÉNIERIE DES CHAUSSÉES



Problématique

- 
- The diagram illustrates a road cross-section with a wavy surface line above a horizontal ground line. Below the ground line, the soil is divided into several layers with different hatching patterns. A white box with a black border is positioned over the middle layers, containing a list of factors. To the right of this box, a small white box with a black border contains an upward-pointing arrow and the letter 'h', indicating frost depth.
- Sols gélifs
 - Températures sous le point de congélation
 - Présence et apport en eau

↑h

Réduction de la capacité fonctionnelle (altération de l'uni des chaussées):

- Dégradation de surface
 - Fissures transversales, longitudinales, lézardes
- Déformation de surface
 - Soulèvements différentiels longitudinaux et transversaux



Problématique

Pour améliorer la qualité de roulement, il est essentiel de diminuer et contrôler le soulèvement au gel.

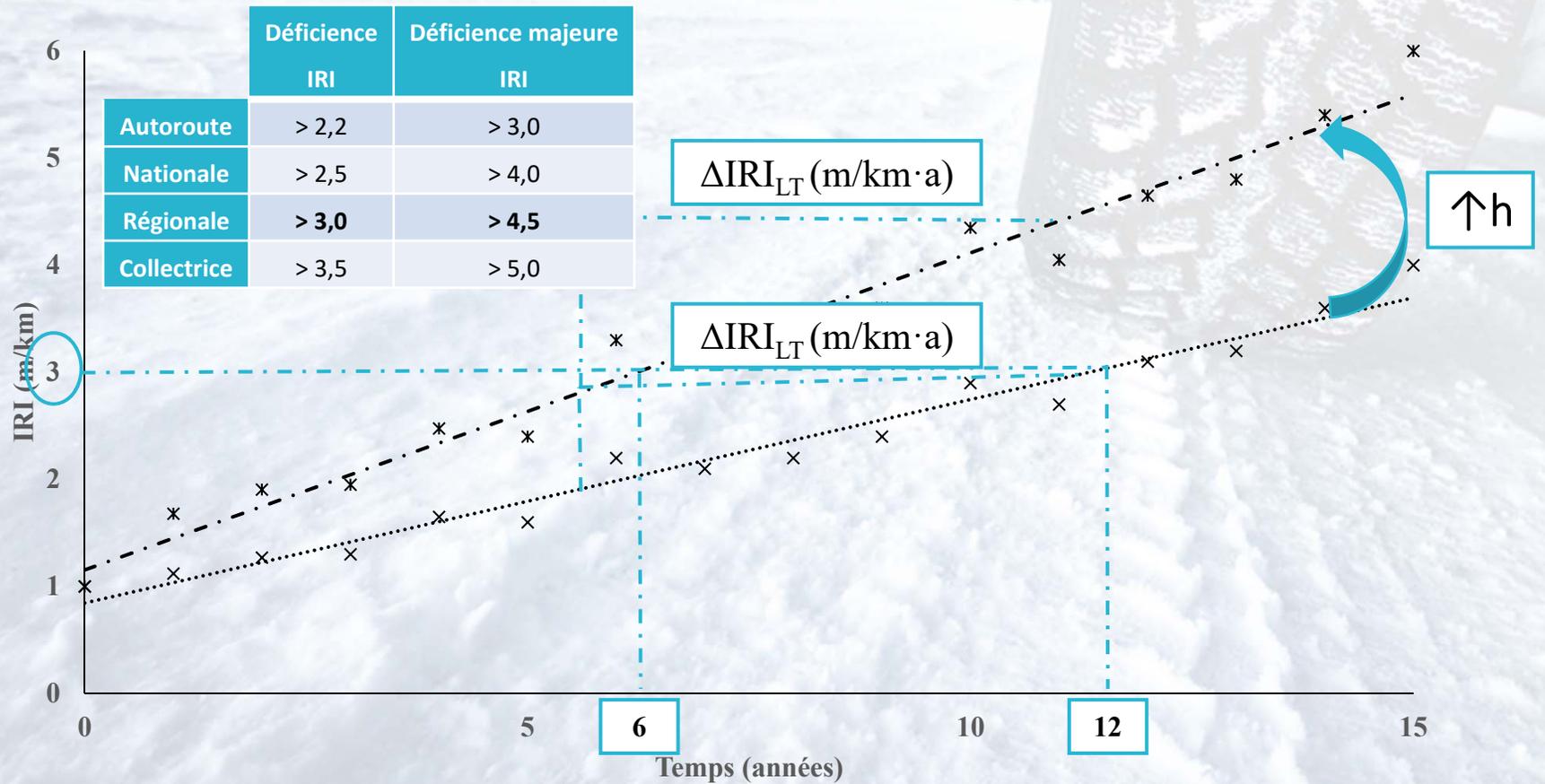
Le MTQ utilise une approche mécaniste-empirique pour le dimensionnement au gel :

- Calcul du soulèvement au gel théorique (méthode Saarelainen-Konrad)
 - Calculs itératifs pour le bilan de chaleur au front de gel → pénétration du gel
 - Calcul du soulèvement au gel avec la théorie du potentiel de ségrégation
- Comparaison avec les valeurs seuils établis de façon empirique

Cette technique ne permet pas d'évaluer les bénéfices (ou préjudices) associés à l'obtention d'une valeur inférieure, égale ou supérieure au seuil en termes de durée de vie.



Hypothèses



Critères de soulèvement admissible

Seuil de soulèvement empirique en fonction
des classes fonctionnelles routières

	Québec (MTMDET)	Finlande (Finnra)
Types de routes	[mm]	[mm]
Autoroutes	< 50	< 30
Nationales	< 55	< 50
Régionales et Collectrices	< 60	-
Routes municipales	70-80	< 100

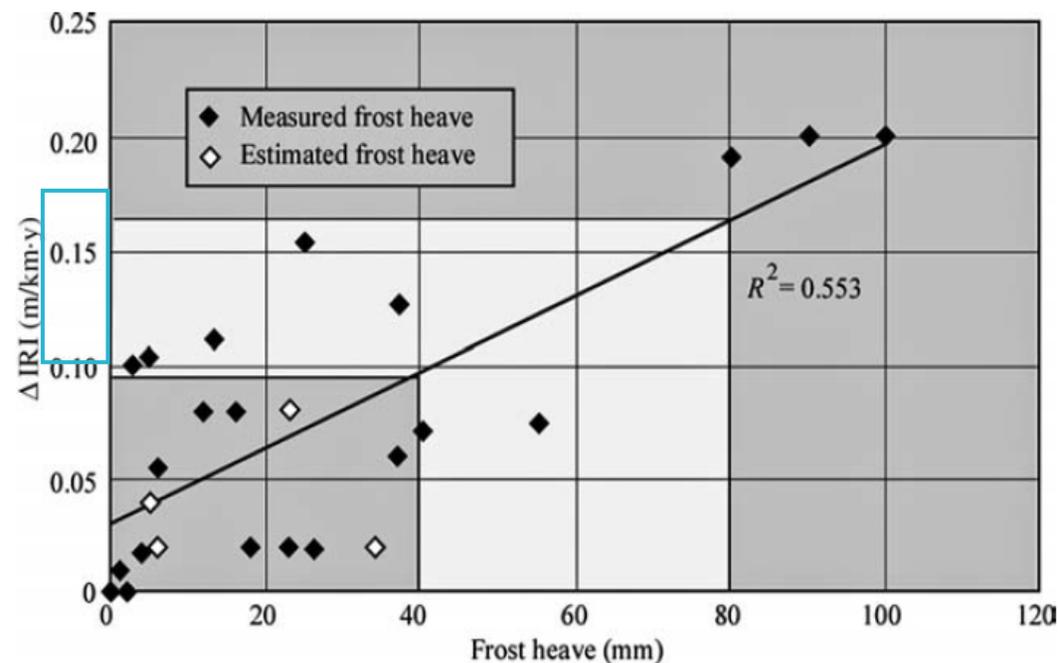
(Doré and Zubeck 2008, Tammirinne et al. 2002)



Soulèvement au gel et évolution de la capacité fonctionnelle

Corrélation entre le soulèvement et la dégradation annuelle de l'IRI (ΔIRI_{LT})

Relation entre le soulèvement au gel et l'évolution annuelle de l'IRI

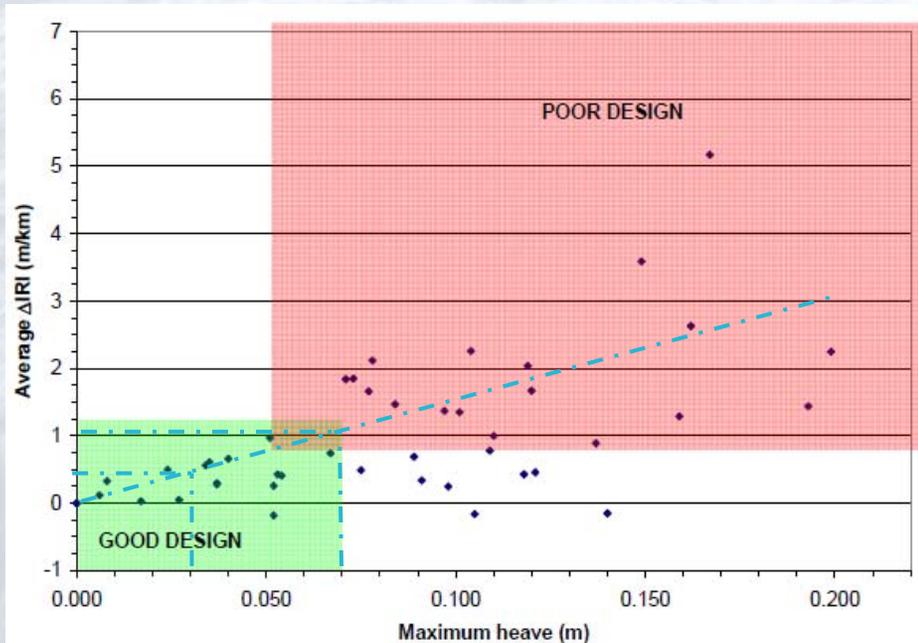


(Doré and Zubeck, 2008)



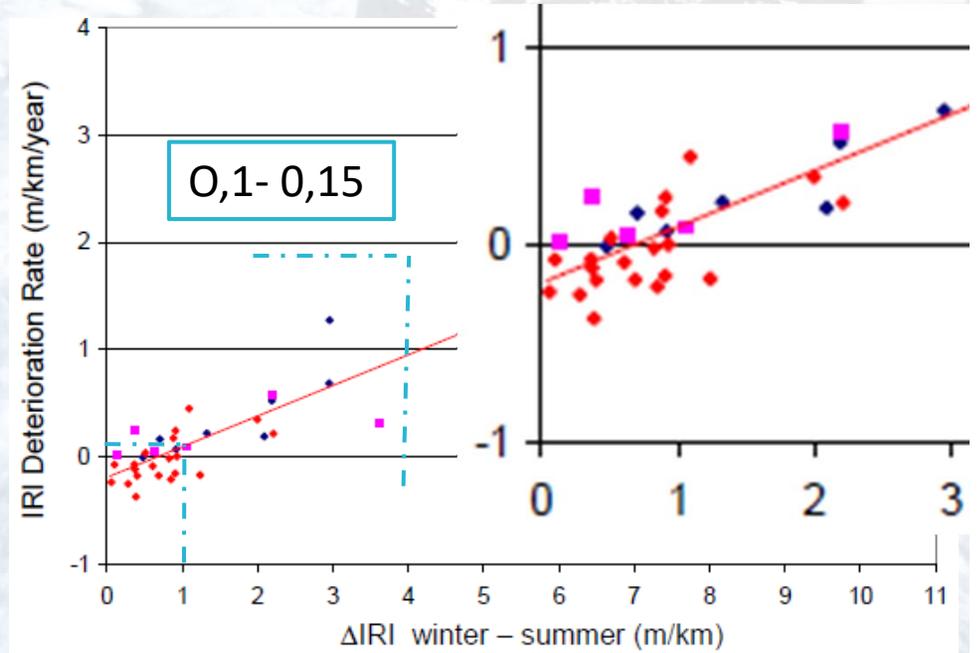
Effet du soulèvement au gel sur la dégradation à long terme (ΔIRI_{LT})

Relation entre le soulèvement au gel et la variation saisonnière de l'IRI



(St-Laurent, 2006)

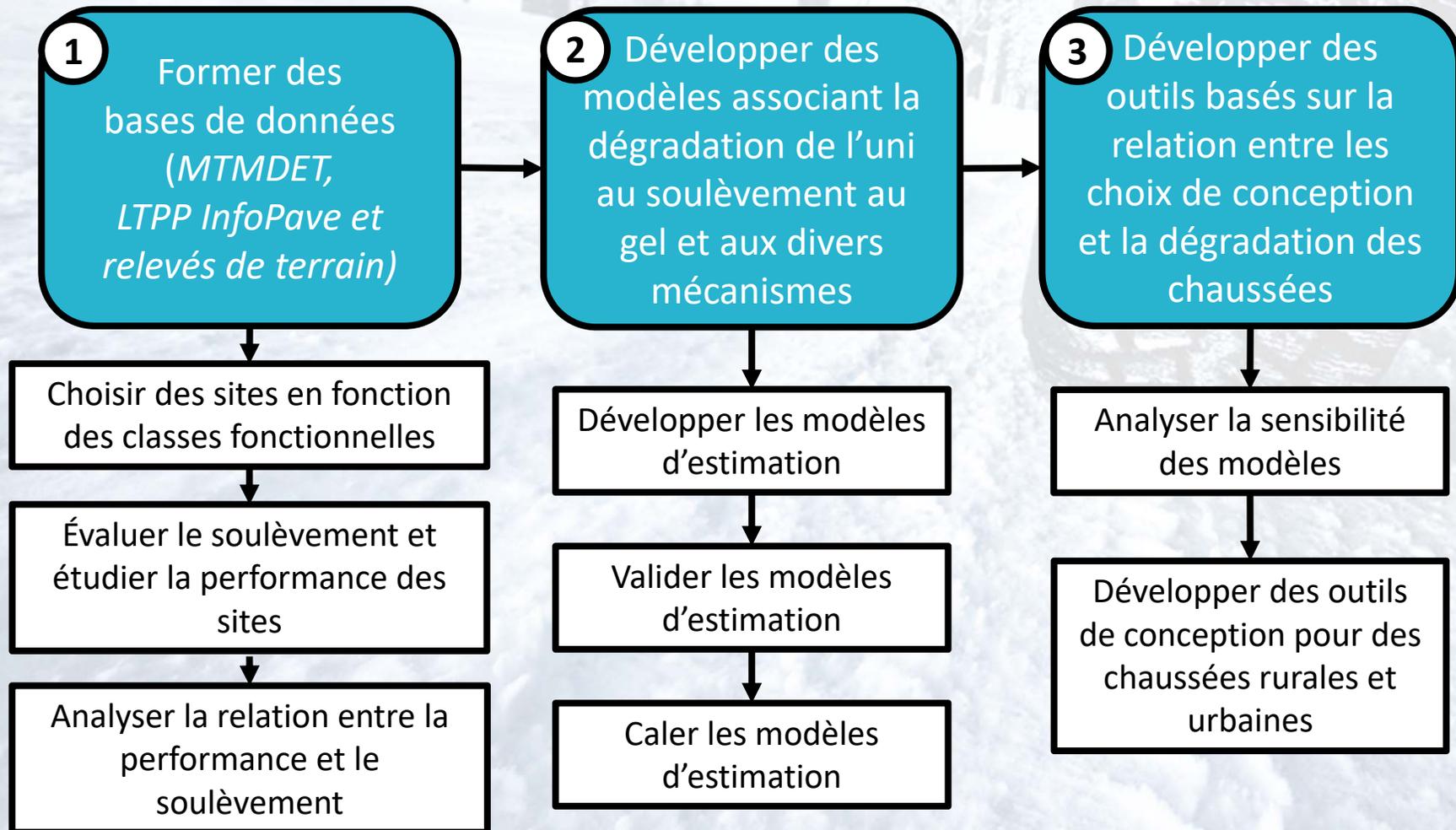
Relation entre la variation saisonnière de l'IRI et l'évolution annuelle de l'IRI



(St-Laurent, 2006)

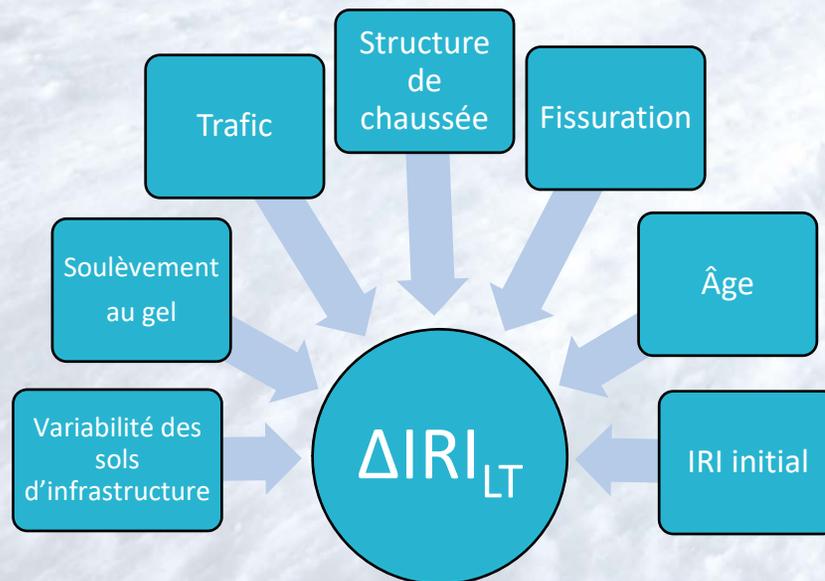


Méthodologie



Analyse de la relation entre la performance et le soulèvement

- Analyse statistique pour associer l'augmentation du ΔIRI_{LT} au soulèvement et aux divers mécanismes de dégradation



- Utilisation de 44 sections
- Régressions linéaires multiples basées sur des variables complexes représentatives des mécanismes de dégradation

Classes fonctionnelles	Nombre de section
Autoroute	3
Nationale	2
Régionale	20
Collectrice	19
Total	44



Développement des modèles

$$\Delta IRI_{LT} = 0,6 \left[0,002 \cdot IRI_0^2 + 0,361 \cdot h^{0,164} \cdot CV_G^{0,055} + 0,200 \cdot \text{Log}(\text{Age}) + 1,931 \right. \\ \left. \cdot 10^{-8} \left(\frac{ECAS_A^2}{ECAS_{AD}} \right) + 0,016 \cdot |\Delta IP_T|^{0,075} \cdot |\Delta IP_F|^{0,703} - 0,701 \right]$$

$$\Delta IRI_{LT} = 0,6 \left[0,001 \cdot IRI_0^2 + 0,399 \cdot h^{0,164} \cdot CV_G^{0,055} + 0,070 \cdot \text{Log} \left(\frac{\text{Age}^3}{\sqrt{H_{BB}}} \right) \right. \\ \left. + 1,813 \cdot 10^{-8} \cdot \left(\frac{ECAS_A^2}{ECAS_{AD}} \right) - 0,648 \right]$$

CV_G = Indice de variabilité du sol d'infrastructure

$ECAS_{ad}$ = Équivalent de charge axiale simple annuel au design

$ECAS_a$ = Équivalent de charge axiale simple annuel

IP_F et IP_T = Indice de performance (fissuration fatigue et transversale)

h = Soulèvement (mm)

IRI_0 = IRI initial (m/km)

H_{BB} = Épaisseur de revêtement (mm)

$\hat{\text{Age}}$ = Durée de la période d'étude (années)



Développement des modèles

Valeurs prédites en fonction des valeurs mesurées pour les deux modèles d'endommagement développés

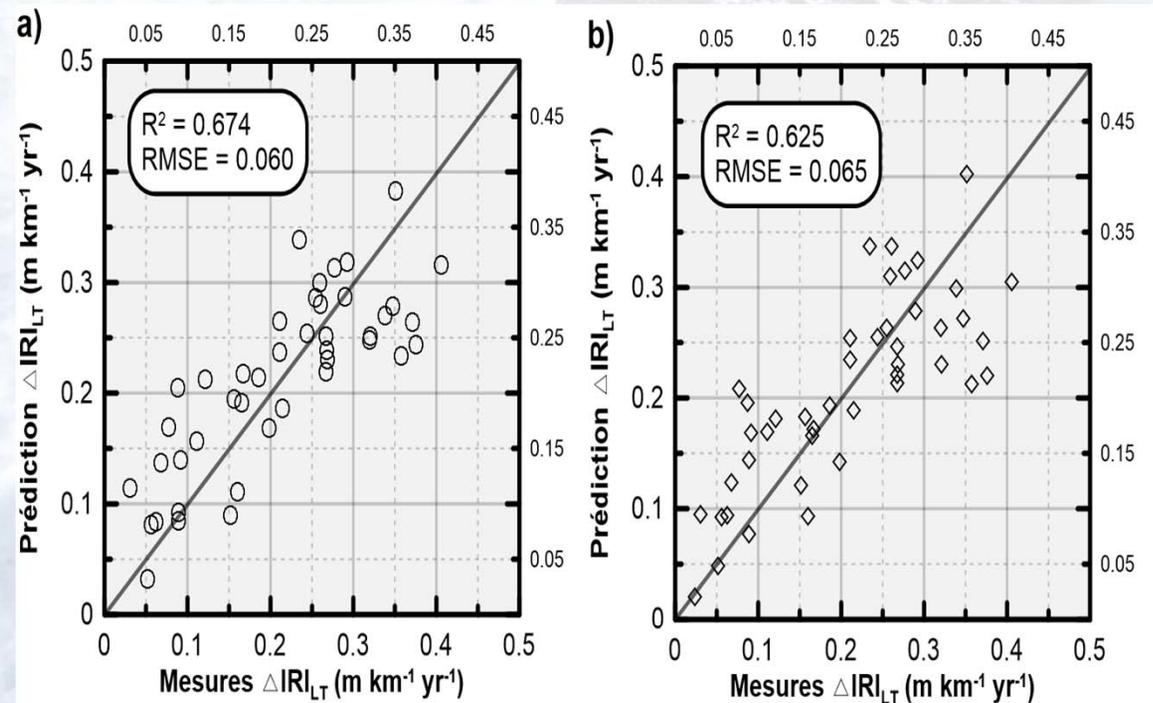
Modèle a)

Dégradation des chaussées en service

Évaluation des causes de dégradations accélérées

Modèle b)

À la conception, utile pour évaluer les bénéfices ou inconvénients associés à un soulèvement inférieur ou supérieur aux valeurs seuils

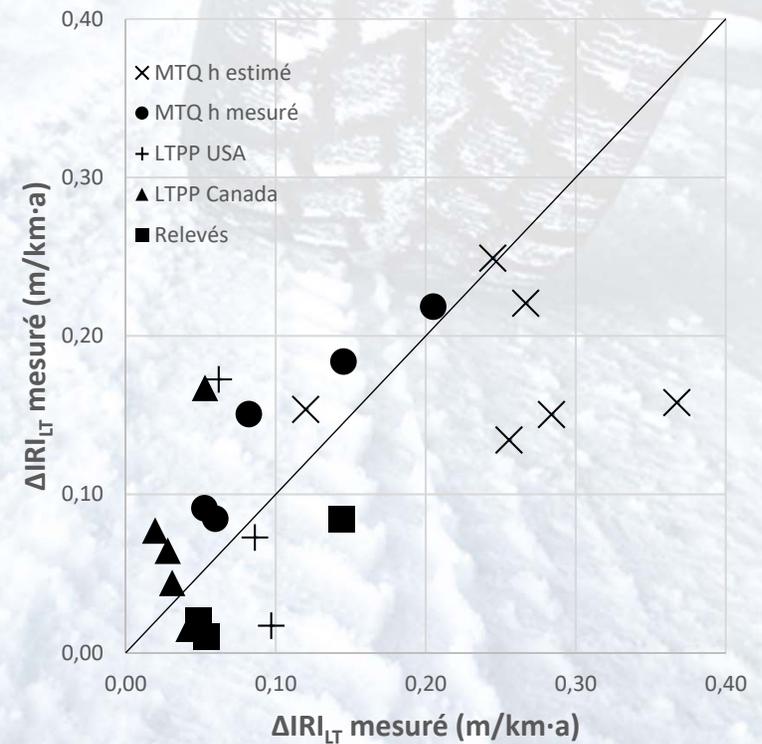


Validation des modèles

Modèles validés avec 22 sections / Calage final des modèles

Sections utilisées dans la validation des modèles

Classes fonctionnelles	MTMDET	LTPP	Relevés de terrain	Nombre total de section
Autoroute	1	2	-	3
Nationale	4	6	-	10
Régionale	6	-	3	9
Total	11	8	3	22

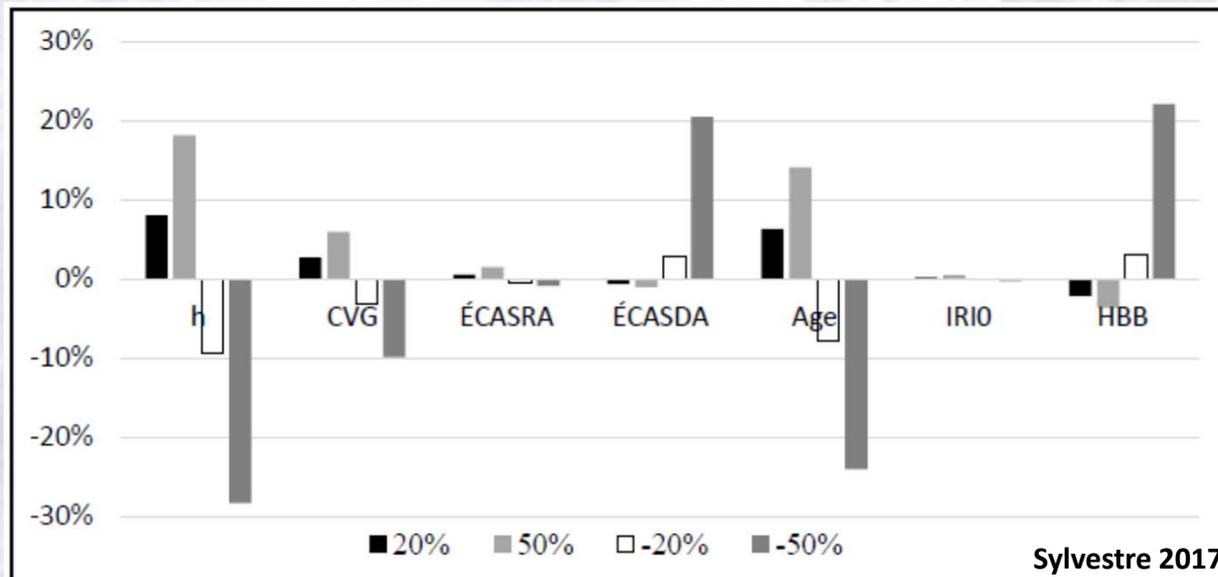


Sensibilité

Analyse de sensibilité avec des variations de 20%, 50%, -20% et -50% de tous les paramètres

Paramètres les plus sensibles :

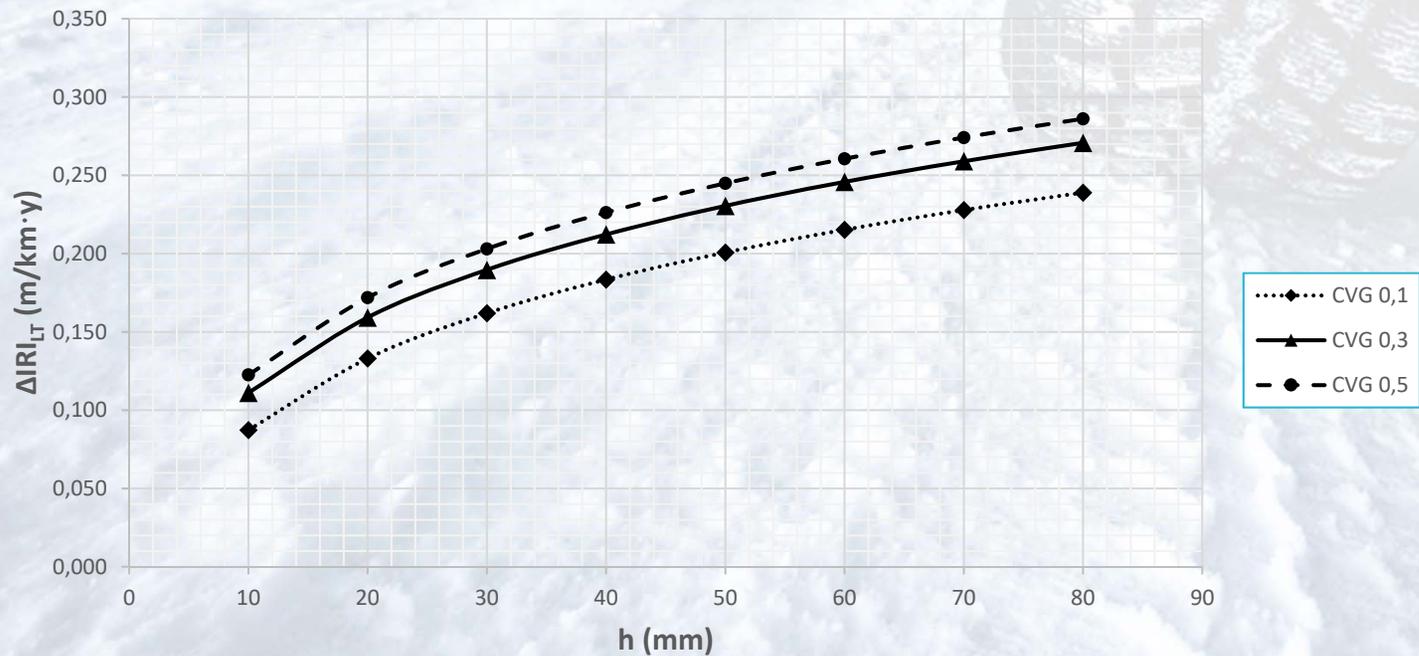
- Soulèvement au gel (h) et coef. de variabilité du sol d'infrastructure (CV_G)
- Nombre d'ÉCAS annuel design, âge et épaisseur EB



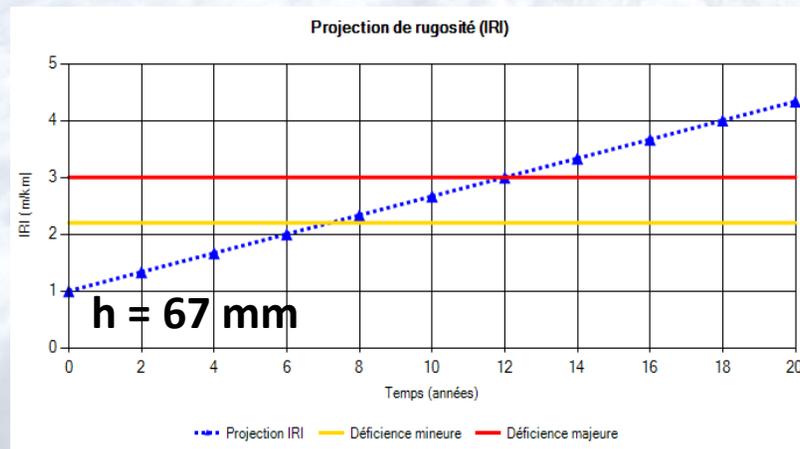
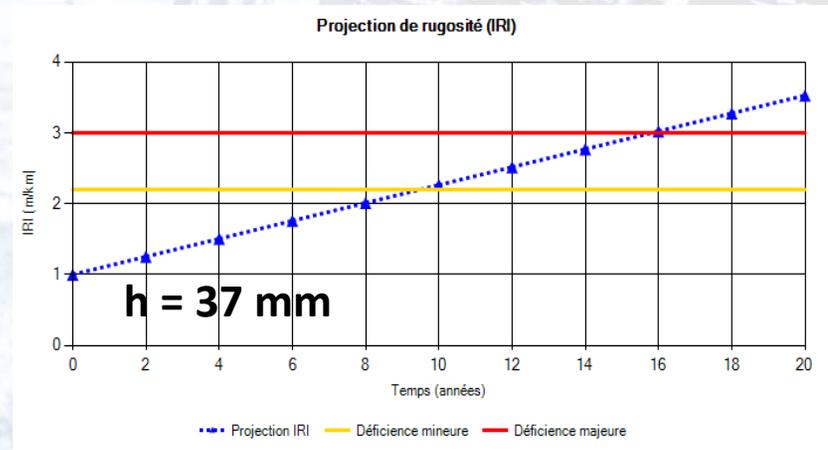
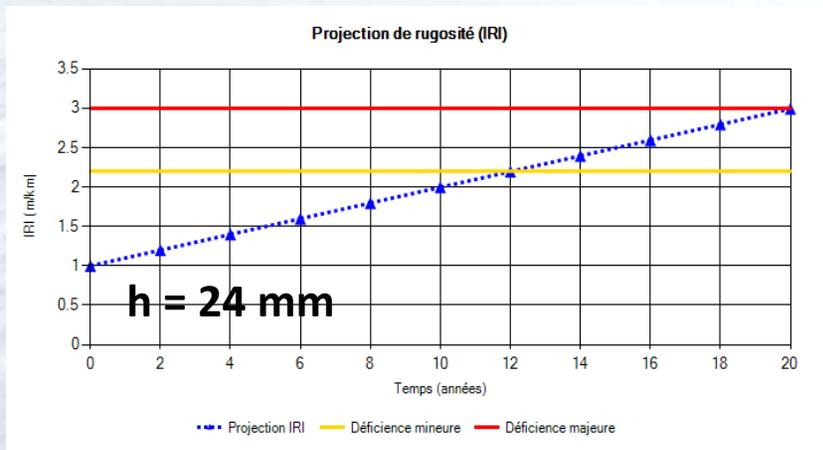
Outils de conception

Exemple d'abaque de conception

Autoroute urbaine, DJMA = 40 000, %VL = 15 %



Exemple d'application modèle 2



Conclusion

- Phénomène complexe impliquant de nombreux facteurs, ce qui rend la modélisation difficile à réaliser.
- Les mécanismes de dégradation des chaussées les plus importants à identifier ont été cernés et représentés dans les deux modèles d'endommagement obtenus.
- Les modèles évaluent les effets positifs ou négatifs d'une valeur inférieure ou supérieure au seuil de soulèvement admissible sur la durée de vie utile des chaussées.
- Résultats intégrés dans i3C-me



Références

- Sylvestre, O. 2017. Influence du soulèvement au gel sur la durée de vie utile des chaussées. **Mémoire de maîtrise**, Université Laval, Québec.
- Sylvestre, O., **Bilodeau**, J.-P. and Doré, G. 2017. Effect of frost heave on long-term roughness deterioration of flexible pavement structures. **International Journal of Pavement Engineering**, <http://dx.doi.org/10.1080/10298436.2017.1326598>.





Chaire de recherche industrielle
du CRSNG sur l'interaction
charges lourdes-climat-chaussées



Merci!
Questions?

Partenaires

