



Chaire de recherche industrielle
du CRSNG sur l'interaction
Charges lourdes/Climat/Chaussées



Impacts des changements climatiques sur la performance à long terme du réseau routier québécois

François Drolet, Étudiant gradué

Guy Dore, Ph.D., Ing.

Jean-Pascal Bilodeau, Ph.D., Ing.

3 décembre 2013



Faculté des Sciences et de génie
Département de génie civil



Plan de la présentation

- Mise en contexte
- Objectifs du projet
- Méthodologie et résultats de chacun des objectifs
- Conclusion



Mise en contexte



Mise en contexte

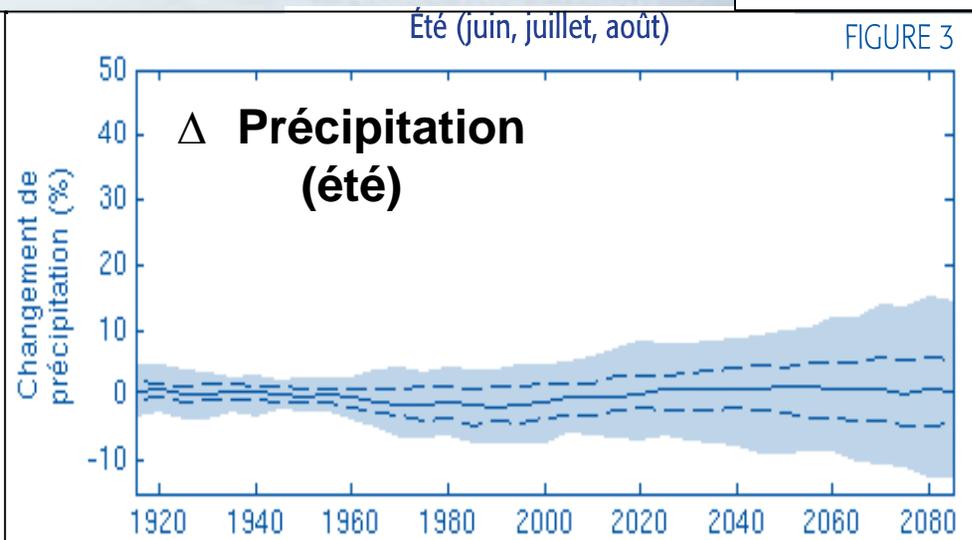
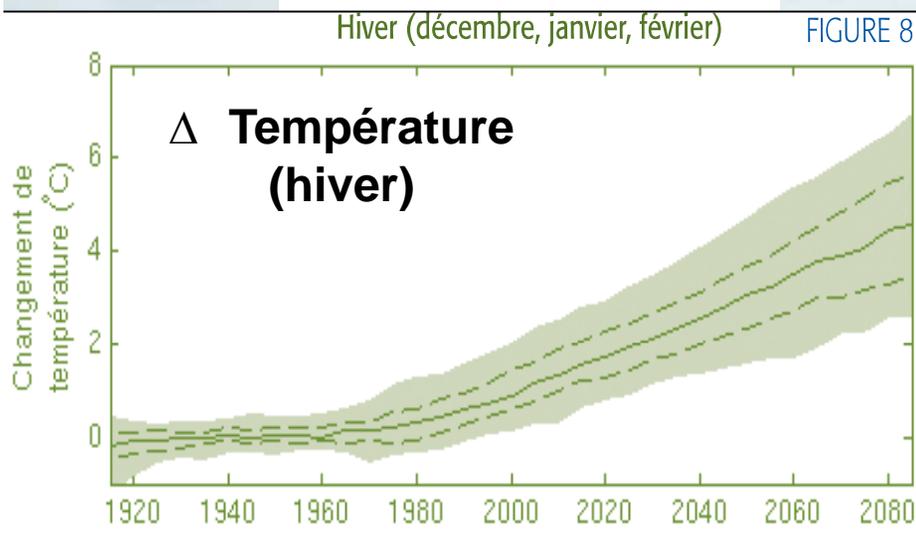
4

- Changements climatiques(CC):
 - Phénomène naturel à anthropique
(Augmentation des gaz à effet de serre)
- Manifestations des CC pour le sud du Québec:

↑ possible des **précipitations** durant l'été
Projet réalisé par M. Papa Masseck Thiam (2013)

↑ de la **température moyenne** en hiver

Ouranos, 2010



Effet de l'augmentation de la température ⁵ sur l'environnement bâti

○ Effet positif sur la chaussée

-  de la profondeur de gel dans le sol d'infrastructure;
-  soulèvement au gel causé par le gel du sol d'infrastructure;
-  **Indice de rugosité International (Δ IRI)** causé par le soulèvement au gel différentiel



MTQ, 2013



Effet de l'augmentation de la température ⁶ sur l'environnement bâti

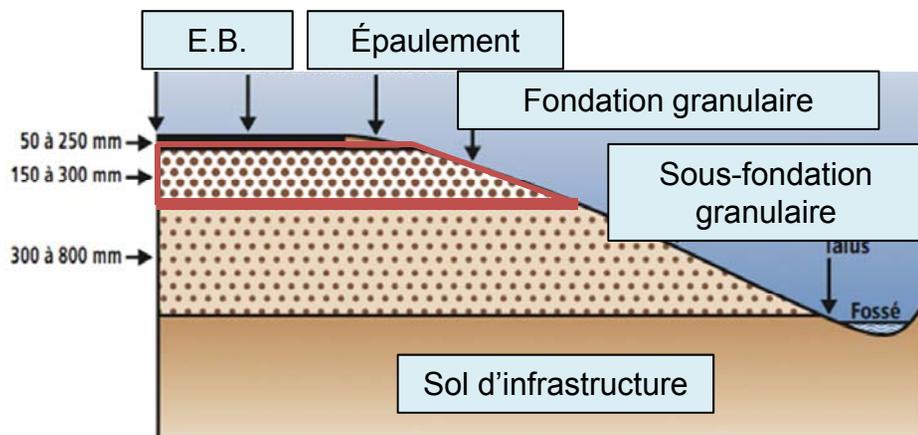
- Effet négatif sur la chaussée
 - ↑ du nombre de redoux hivernaux

Redoux hivernal: Épisode de réchauffement durant la saison de gel produisant un dégel partiel de la chaussée (± 30 cm).

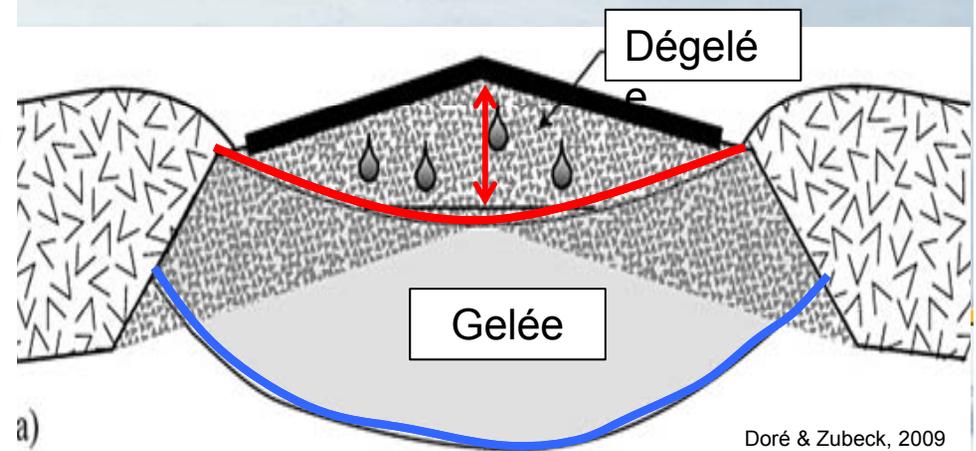
- 2 Problèmes considérés

Endommagement à long terme (associée avec la fondation granulaire)

$$\varepsilon_p = f(\text{nb de redoux hivernaux})$$



(MTQ, 2010)



Objectifs du projet



Objectifs

- Quantifier les impacts sur la performance des réseaux routiers du Québec:
 - Élaboration de scénarios climatique;
 - Une augmentation des précipitations;
 - Une diminution de l'indice de gel (IG_a);
 - Élaboration d'un facteur de réduction pour les IG_a utilisées en conception;
 - Une augmentation du nombre de redoux hivernaux;

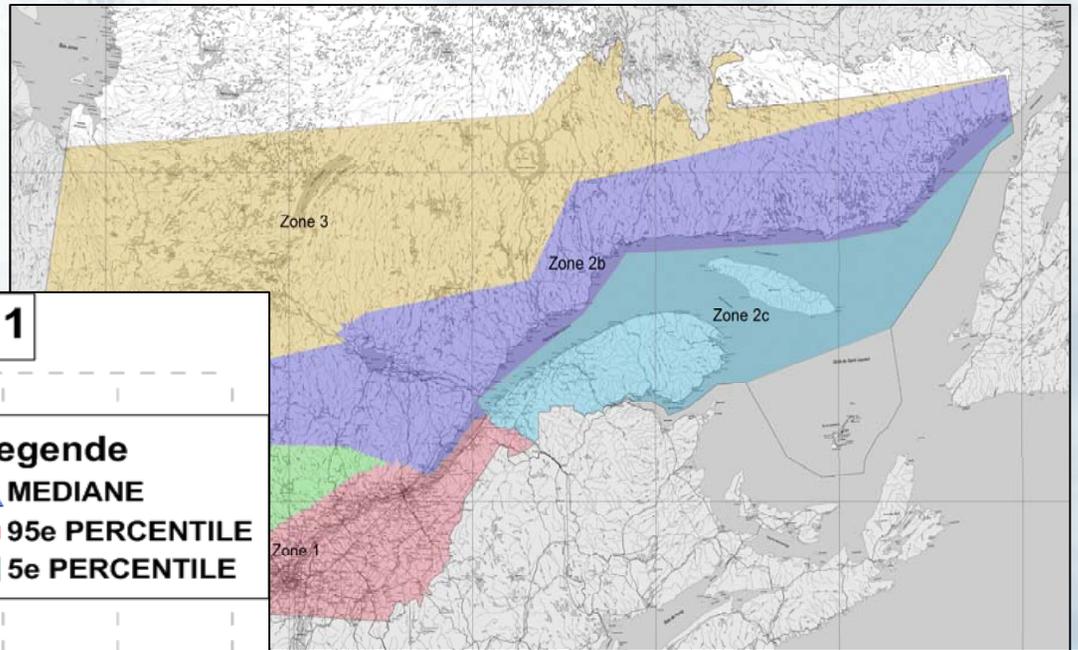


Scénarios climatiques

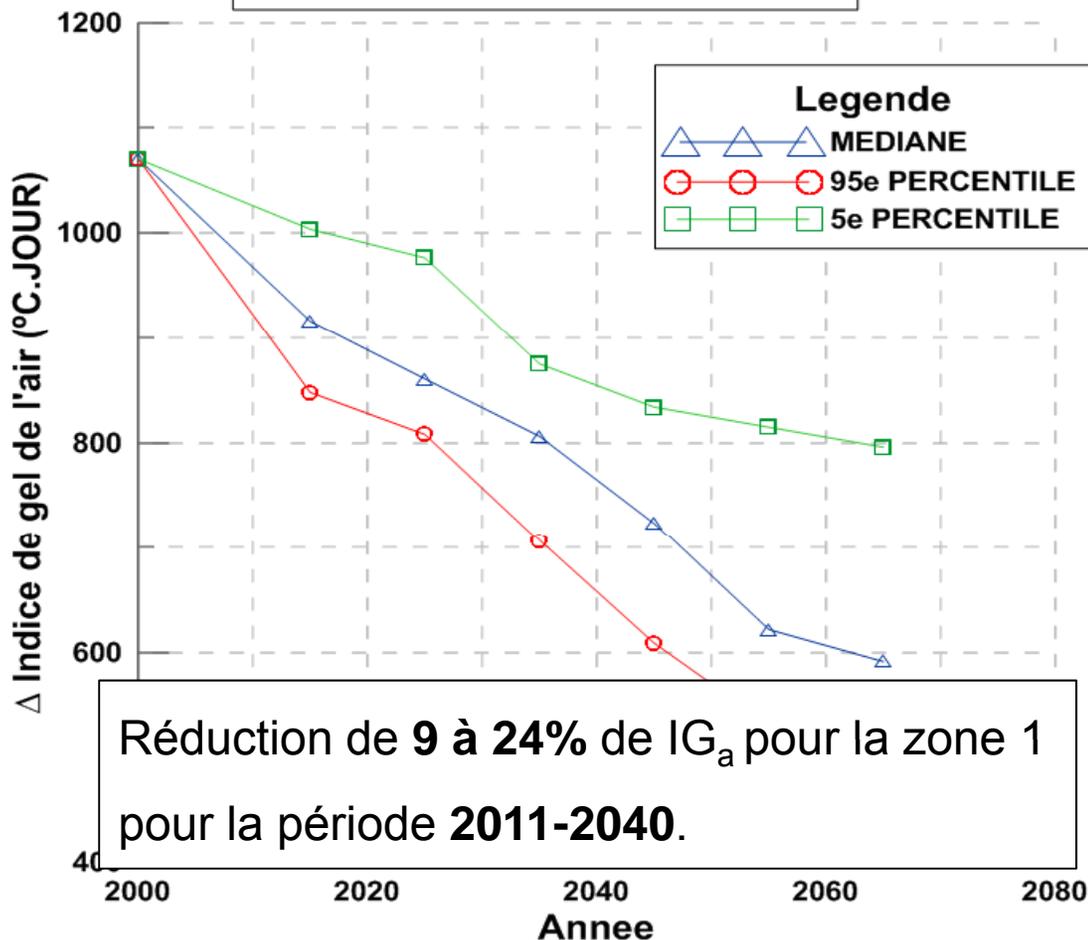


Méthodologie – Étape 3: Scénario climatique ΔIG_a 10

- Modélisation de type *Delta*
- Établie par *Ouranos (2012)*
- Période référence: 1971-2000



IG_a projetées pour la zone 1



Réduction de **9 à 24%** de IG_a pour la zone 1 pour la période **2011-2040**.

Pour l'ensemble des zones, Les IG_a subiront une réduction variant de **7 à 25 %** pour l'horizon **2011-2040**

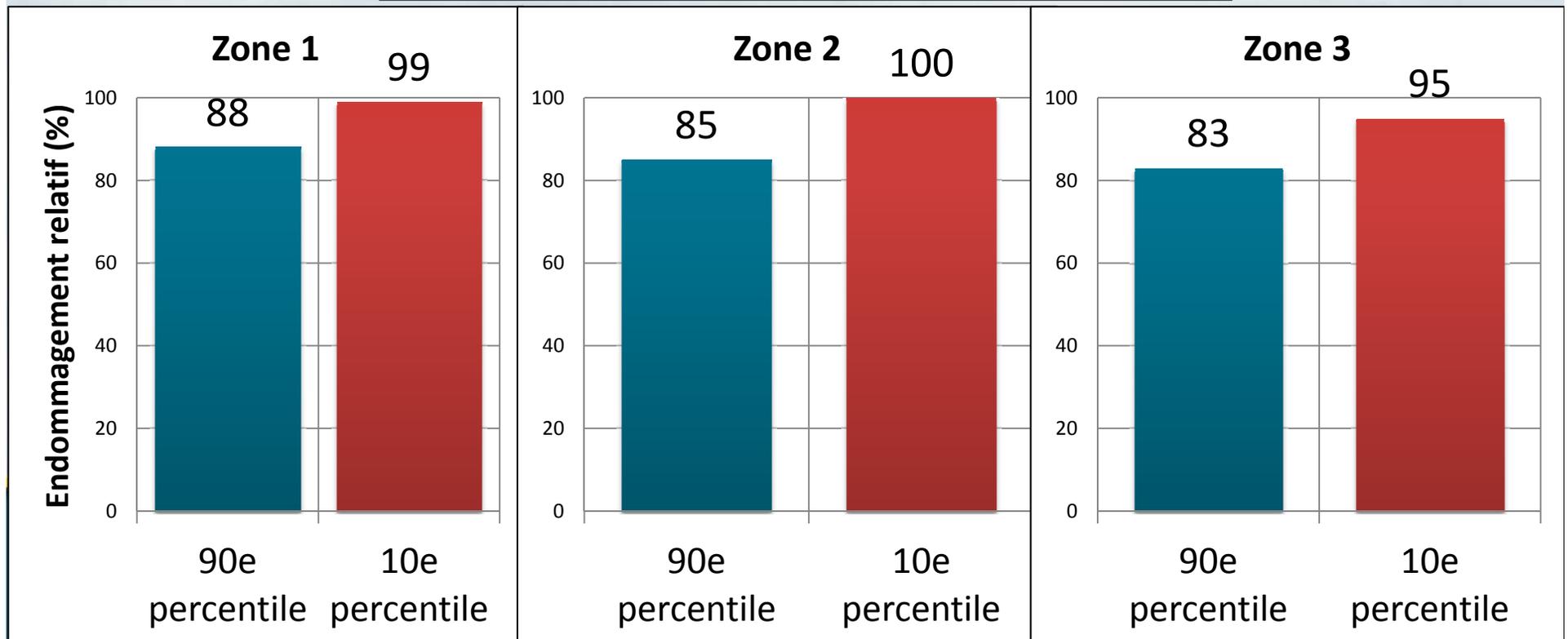
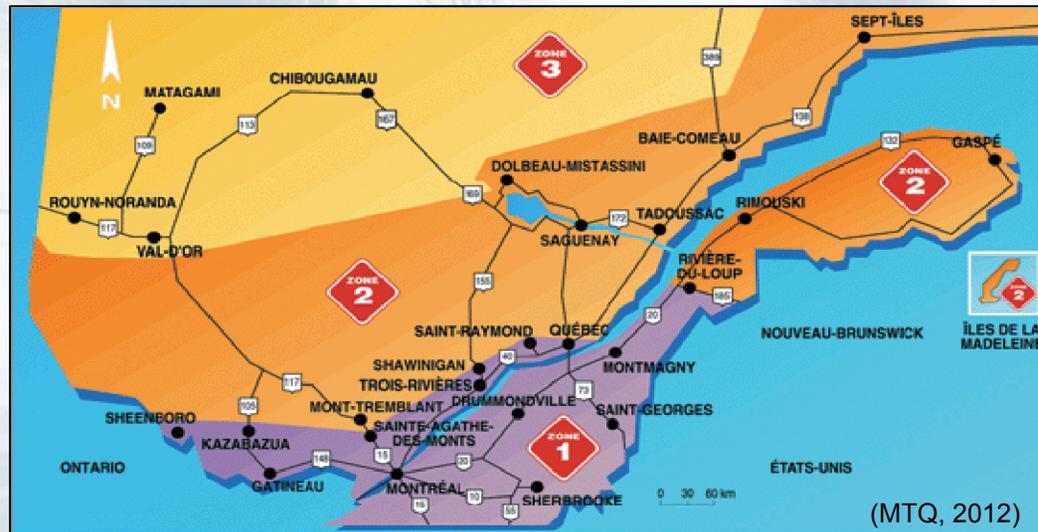
Méthodologie

Augmentation des précipitation

*Projet réalisé par M. Papa Masseck Thiam
(2013)*



Exemple des résultats – Endommagement relatif



Méthodologie

Effet de la diminution de
l'indice de gel l'air (**IG_a**)



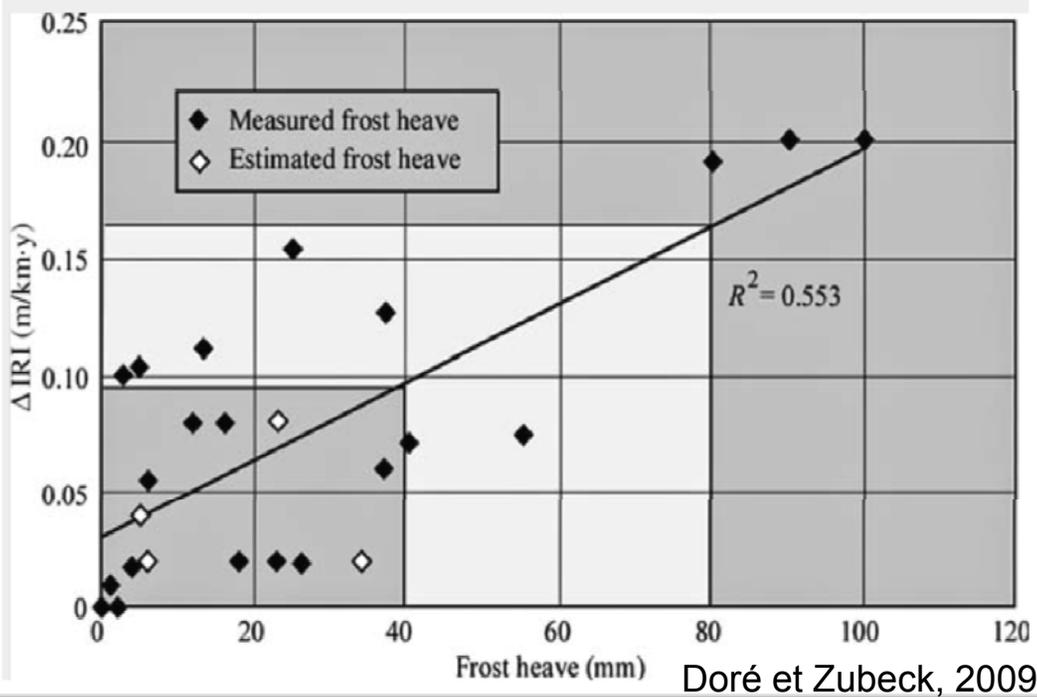
Méthodologie

14

- Effet d'une diminution de l'indice de gel de l'air

○ Effet positif: Diminution du soulèvement au gel

Diminution de l'**indice de rugosité international** ($\Delta IRI = \text{m/km/an}$)



Comparaison de l' ΔIRI :

Pour la période de référence
(1971-2000)

Pour les 5 période projetées
(jusqu'à 2055)

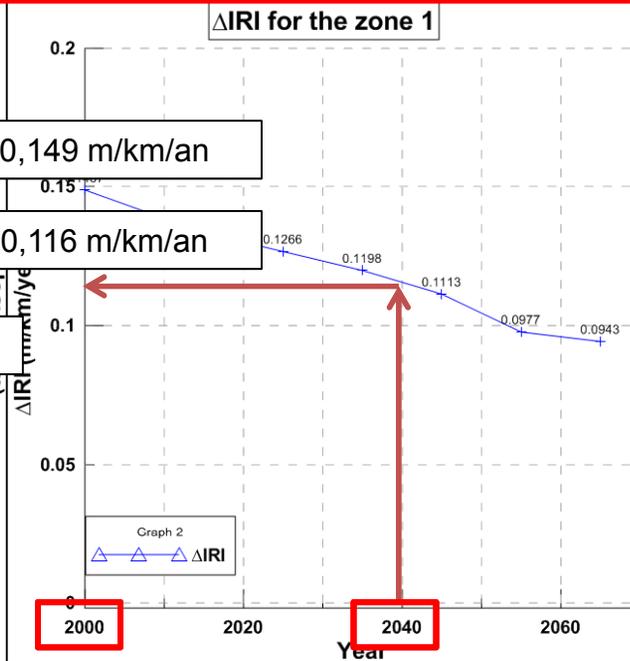
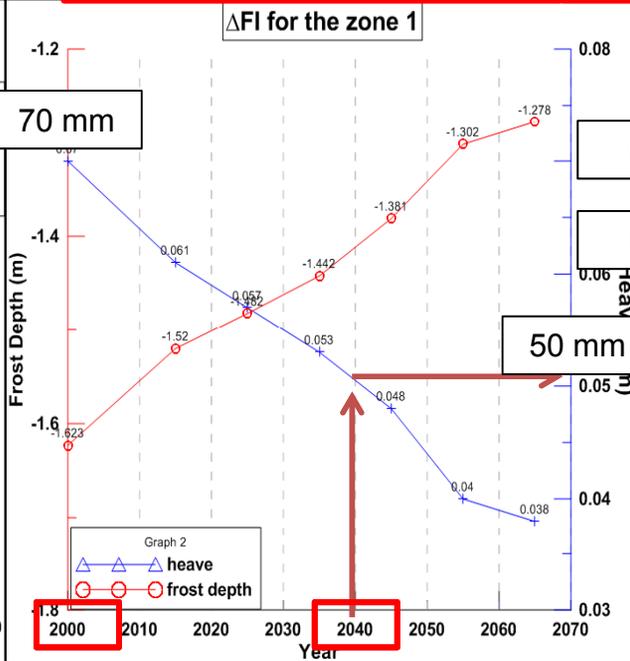
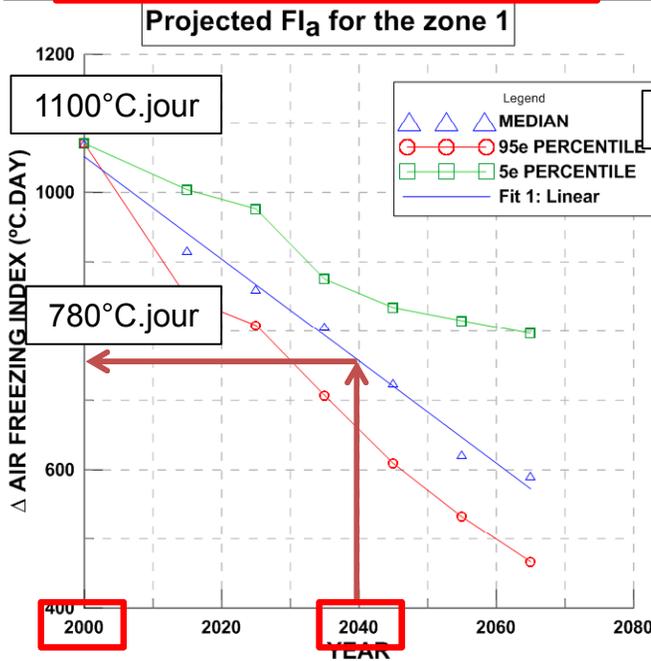
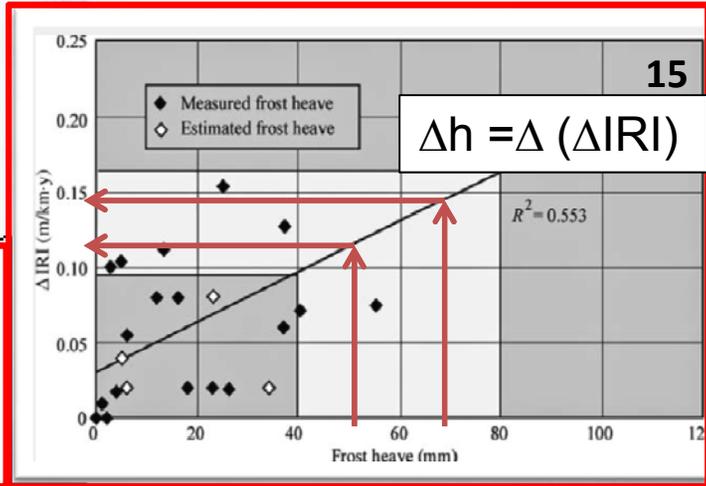


Méthodologie

- Effet d'une diminution de l'indice de gel de l'air

Exemple type

Scénarios climatiques



Méthodologie

16

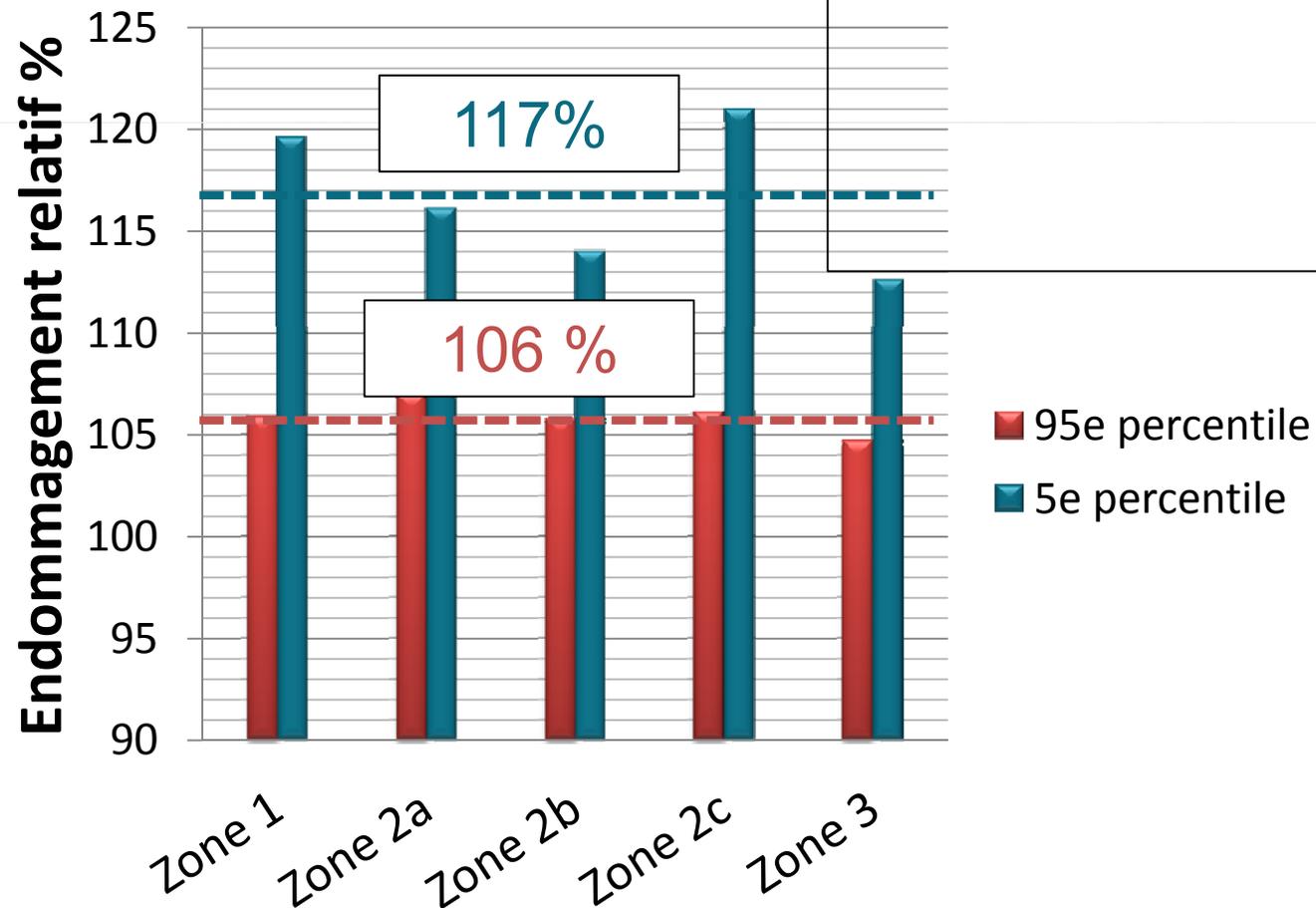
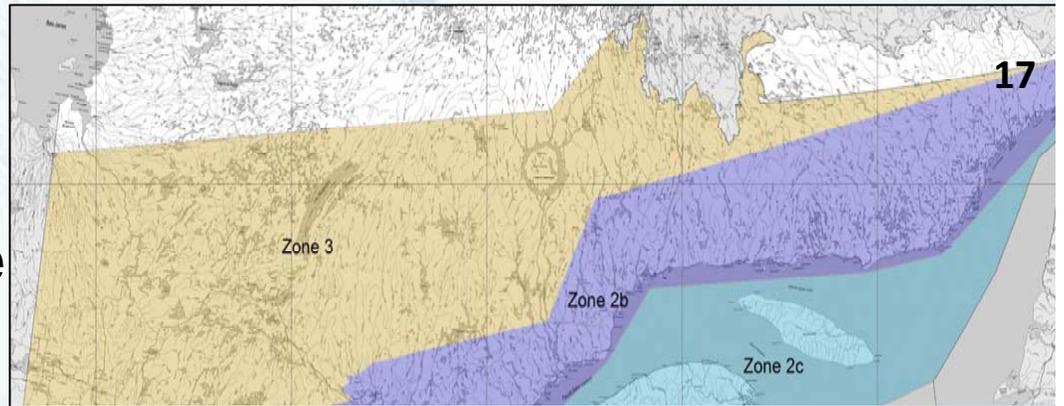
- Effet d'une diminution de l'indice de gel de l'air

- Types de route
 - Nationale
 - Régionale
 - Locale
 - Type de sols
 - CL
 - SM
 - GC-GM
 - Seuil IRI avant intervention (MTQ)
 - Nationale: 2,5 m/km
 - Régionale: 3,0 m/km
 - Locale: 3,5 m/km
- IRI initiale: 1 m/km**



Résultats

Augmentation de durée de vie relative (%)



Méthodologie

Développement d'un IG_a considérant les
C.C. pour la conception de chaussée



Méthodologie

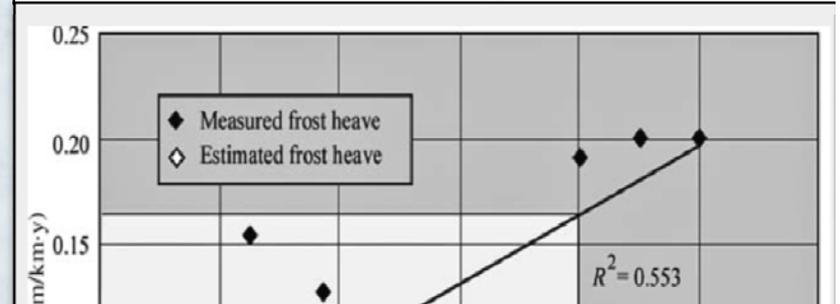
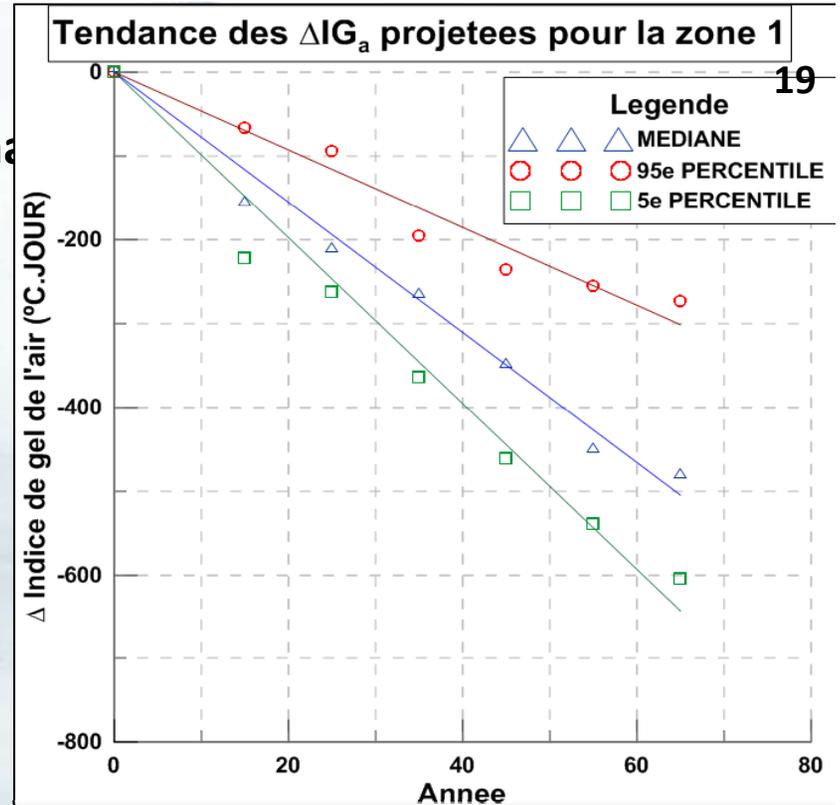
- Utilisation d'un nouvel IG_a en conception de chaussée

Hypothèse: L'évolution des IG_a peut être considérée linéaire.

Utilisation d'un IG_a en conception de chaussée qui évolue dans le temps.

Avant de déterminer cet IG_a , il faut analyser l'évolution dans le temps de:

- La profondeur de gel;
- Le soulèvement au gel;
- Le ΔIRI en fonction du temps;



Économie possible en coût de matériaux pour la protection contre le gel.

Méthodologie

20

- Utilisation d'un nouvel IG_a en conception de chaussée

Modélisation avec



Utilisation des tendances linéaires des ΔIG_a médians (50^e percentile)

Type de sol:	CL	Type de route:	Nationale	(30 ans)
	SM		Régionale	(25 ans)
	GC-GM		Locale	(25 ans)



20

Méthodologie

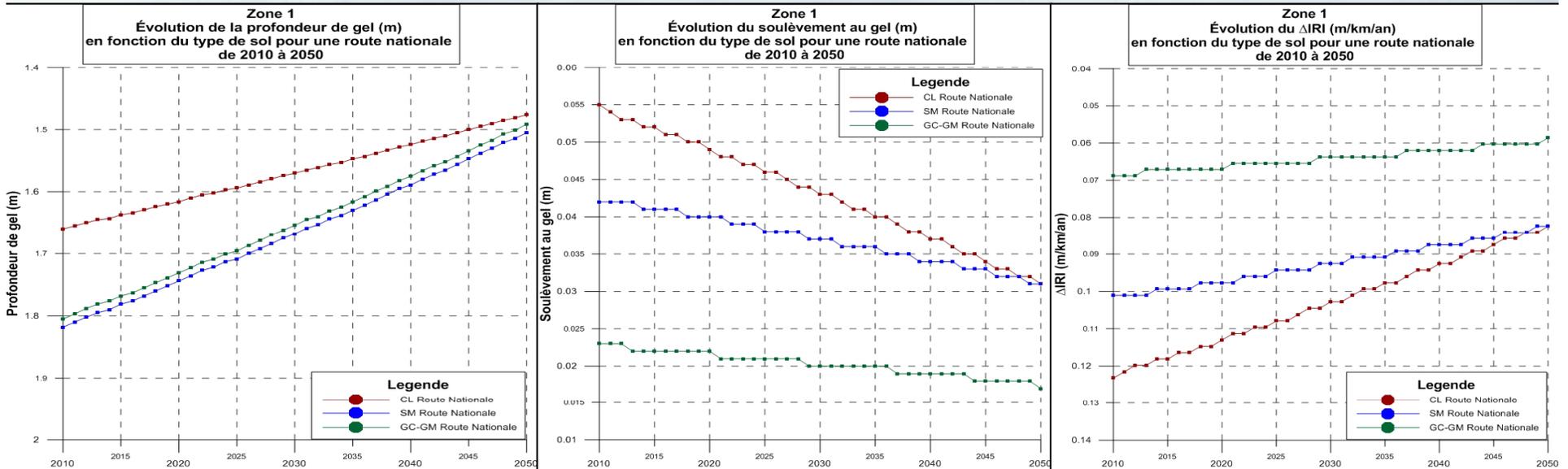
- Utilisation d'un nouvel IG_a en conception de chaussée

Exemple type: Zone 1
2010 à 2040
Route Nationale
3 types de sol

Profondeur de gel

Soulèvement au gel

ΔIRI (m/km/an)



Ces phénomènes suivent tous des tendances linéaires.

Méthodologie

22

- Utilisation d'un nouvel IG_a en conception de chaussée

$$\Delta IG = (A_a - A_r) * m + (n * m) / 2$$

A_a : Année Actuel;

A_r : Année référence;

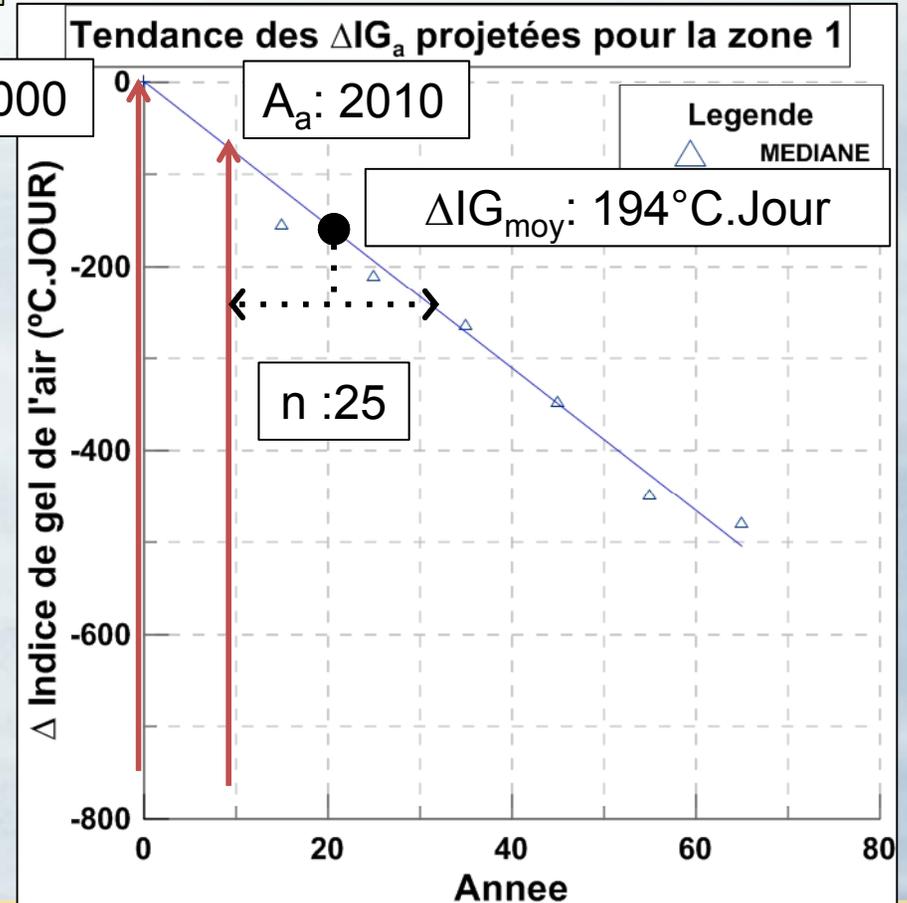
m : Taux de décroissance de l' IG_a ;

n : Nombre d'année d'utilisation estimé;

$$IG_{moy} = IG_{ref} - \Delta IG$$

$$IG_{moy} = 1070 - 194$$

$$IG_{moy} = 899^\circ\text{C}\cdot\text{Jour}$$



Méthodologie

Effets des redoux hivernaux



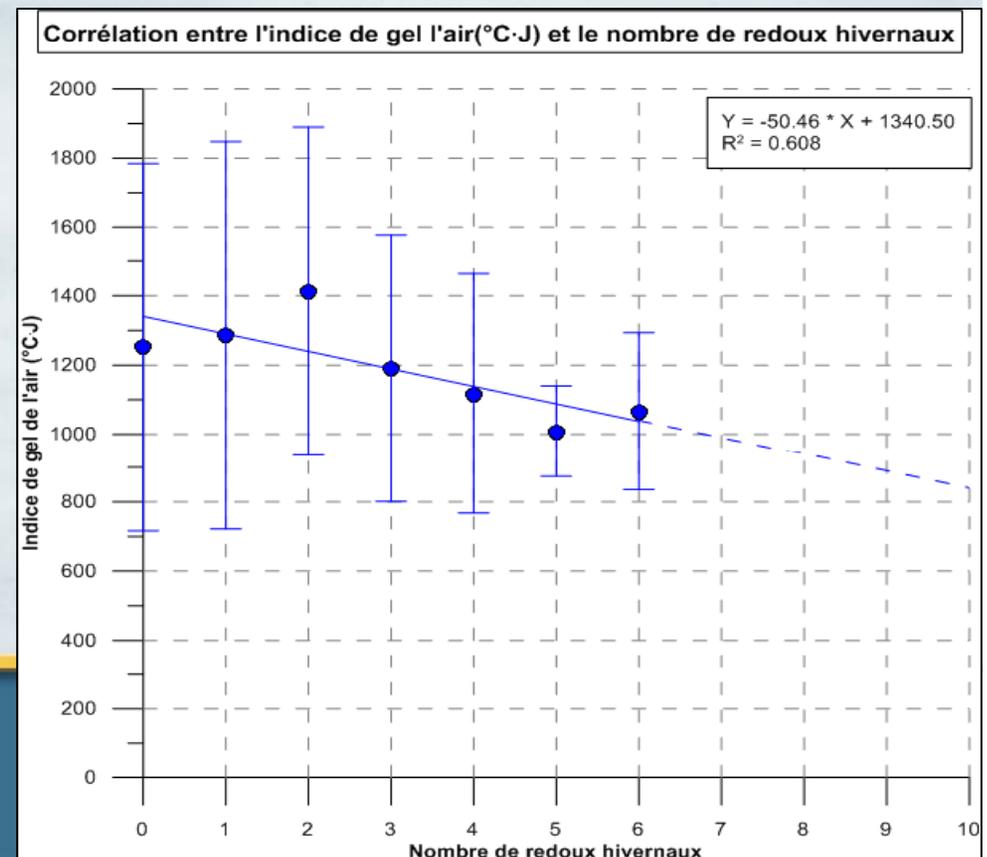
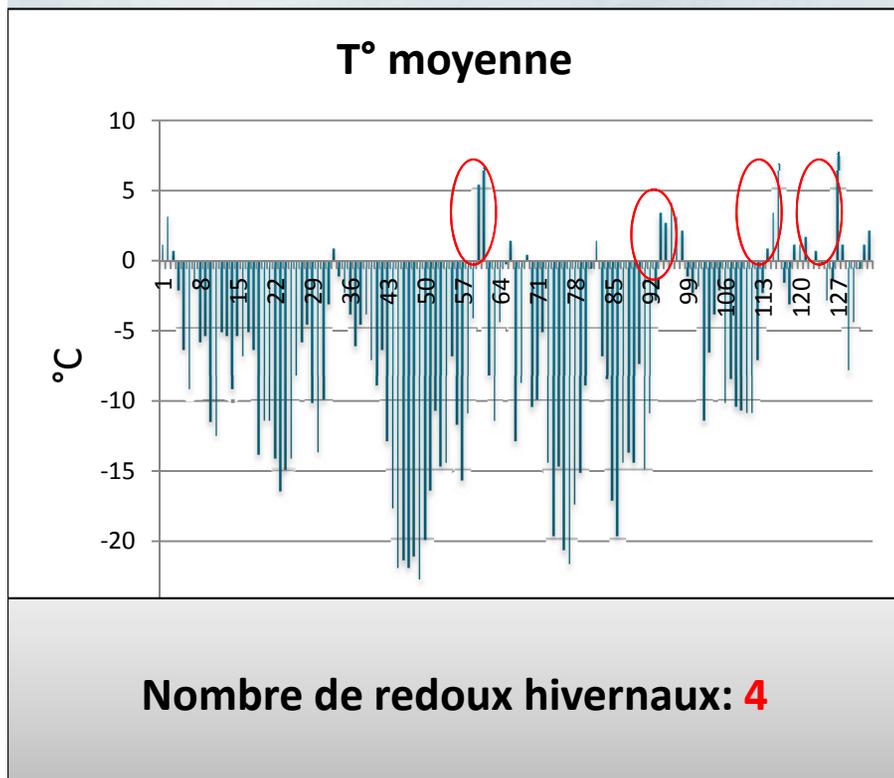
Méthodologie –

Étape 1: Indice de gel VS nombre de redoux hivernaux

Hypothesis: Le nombre de redoux hivernaux aura tendance a augmenter avec la diminution de l'indice de gel de l'air (IG_a)

Nombre de données de station météorologiques analysé: **526**

Indice de dégel de l'air significatif (ID_a) pour dégeler la chaussée sur 0.3 m de profondeur: **7°C·jour**



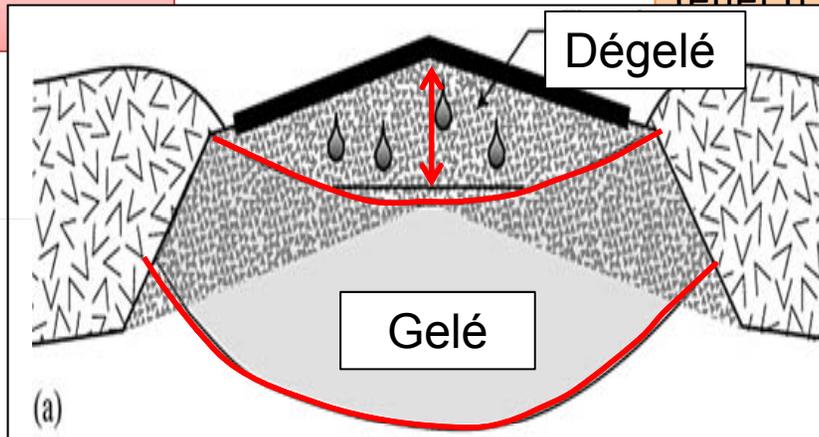
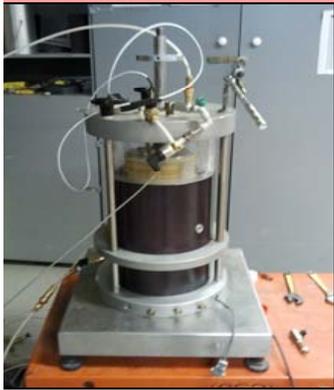
Méthodologie – ϵ_p VS nb de redoux hivernaux

25

$\epsilon_p = f(\text{redoux hivernaux})$

Essai triaxial

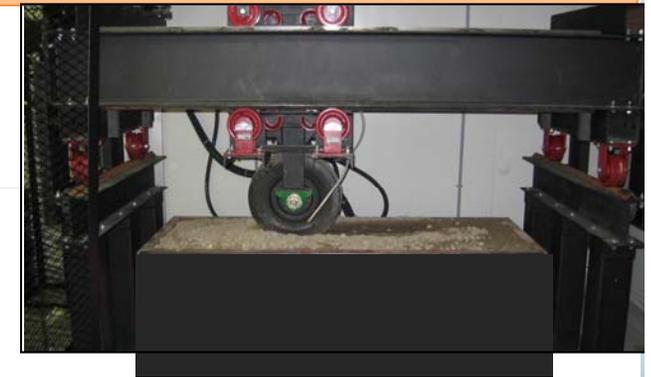
Décrit le comportement des matériaux en ϵ_p



$\epsilon_p = f(\text{redoux hivernaux})$

Simulateur

Validation de l'endommagement relatif par ϵ_p
(effet d'une charge roulante)



Condition environnementale: saturée
5 cycle de gel-dégel

Cycle 1-4:

Cycle 5:

$$\epsilon_p = A \left(\frac{N}{1000} \right)^B$$

B: Taux d'endommagement par ϵ_p

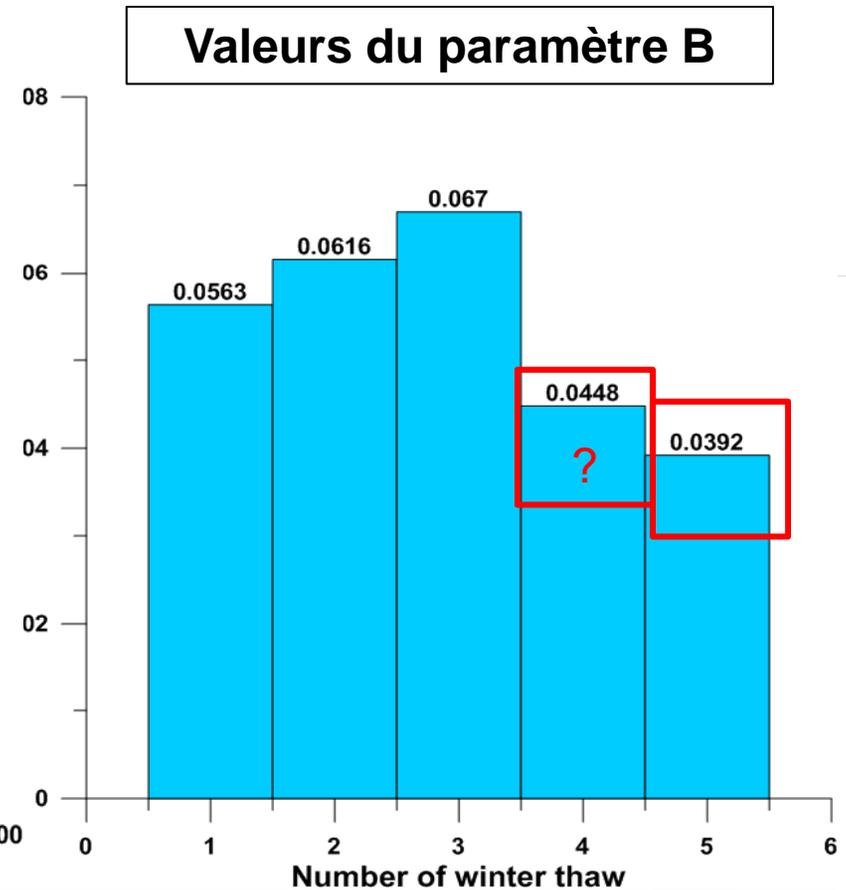
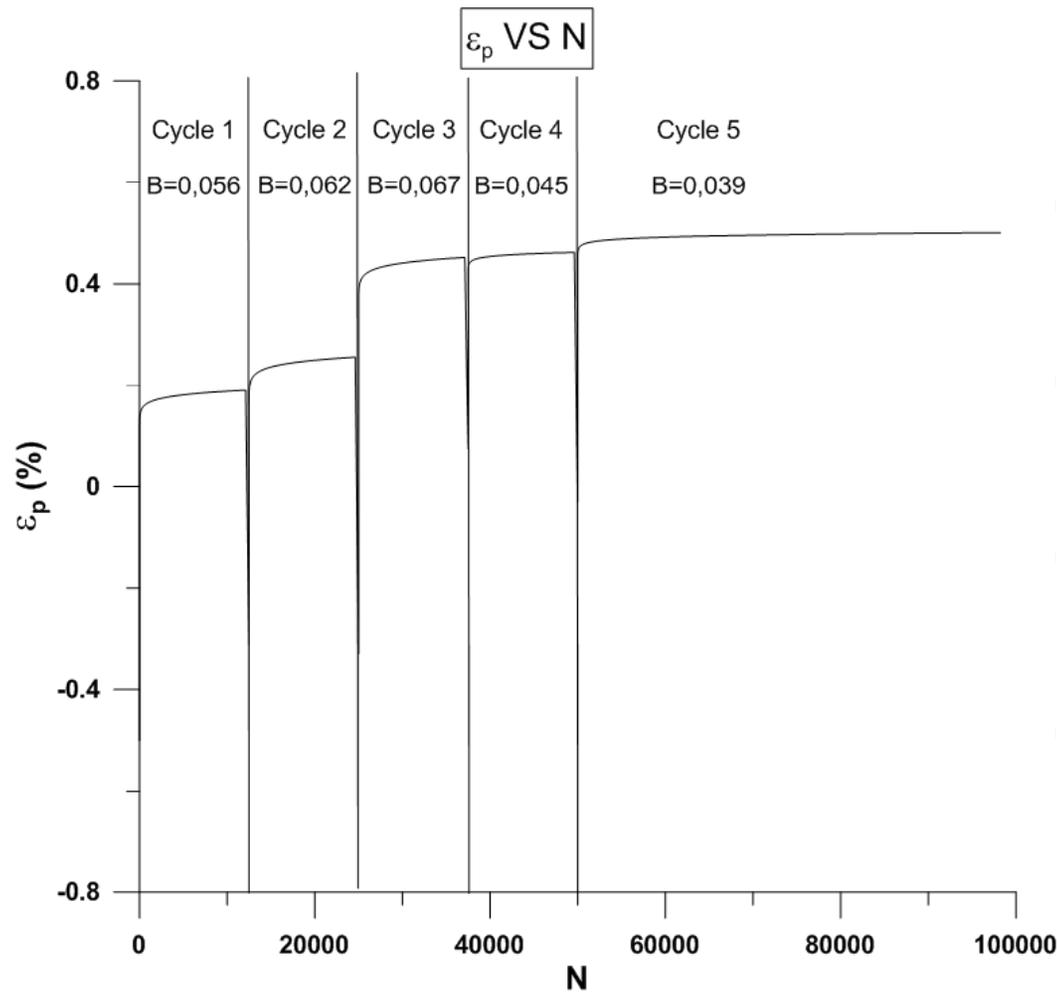
A: Déformation à 1,000 application de charge

N: Nombre d'application de chargement

Analyse des résultats avec le model de **Dresden**

25

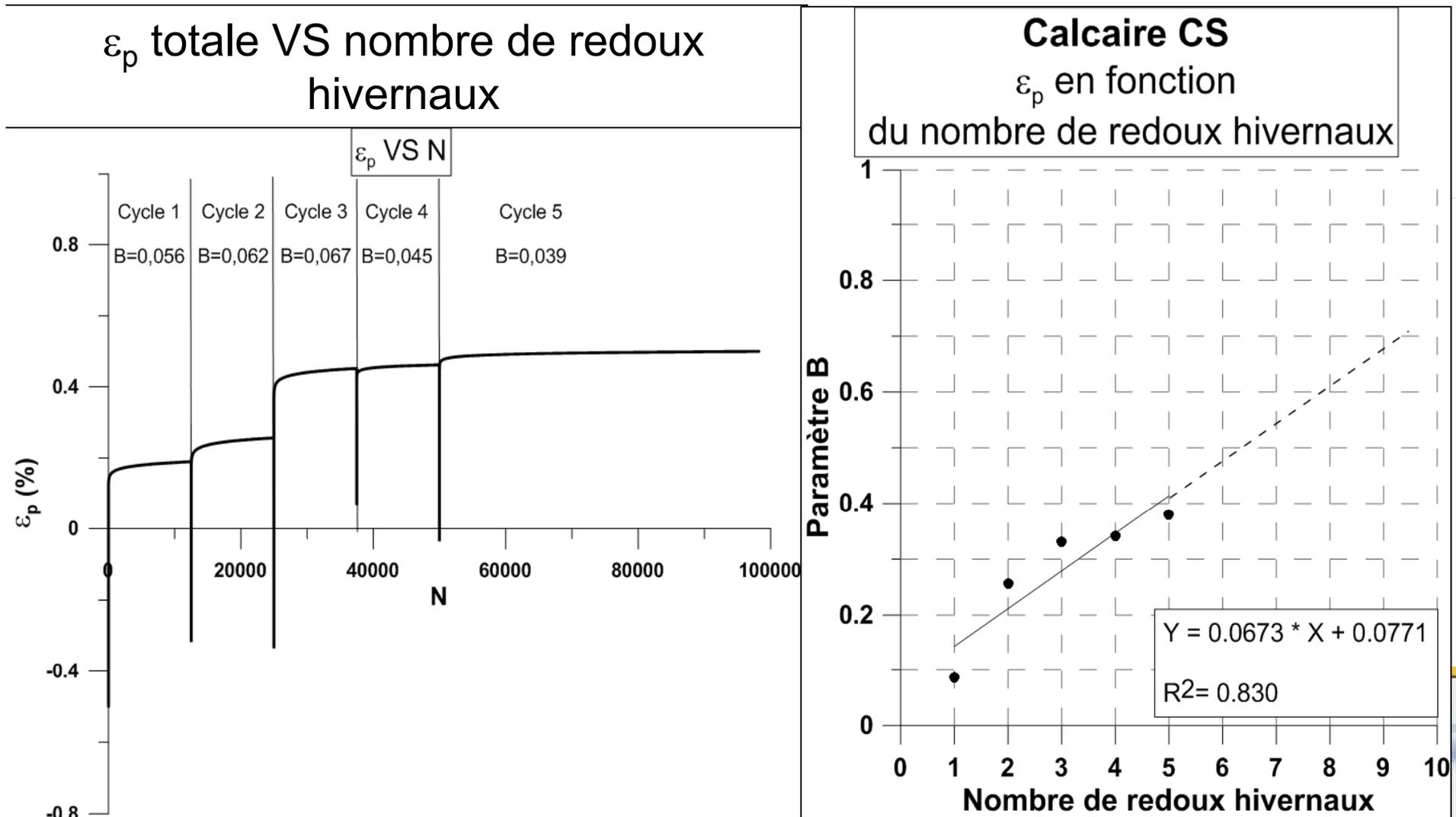
Méthodologie – ε_p VS nb de redoux hivernaux



Méthodologie – ε_p VS nb de redoux hivernaux

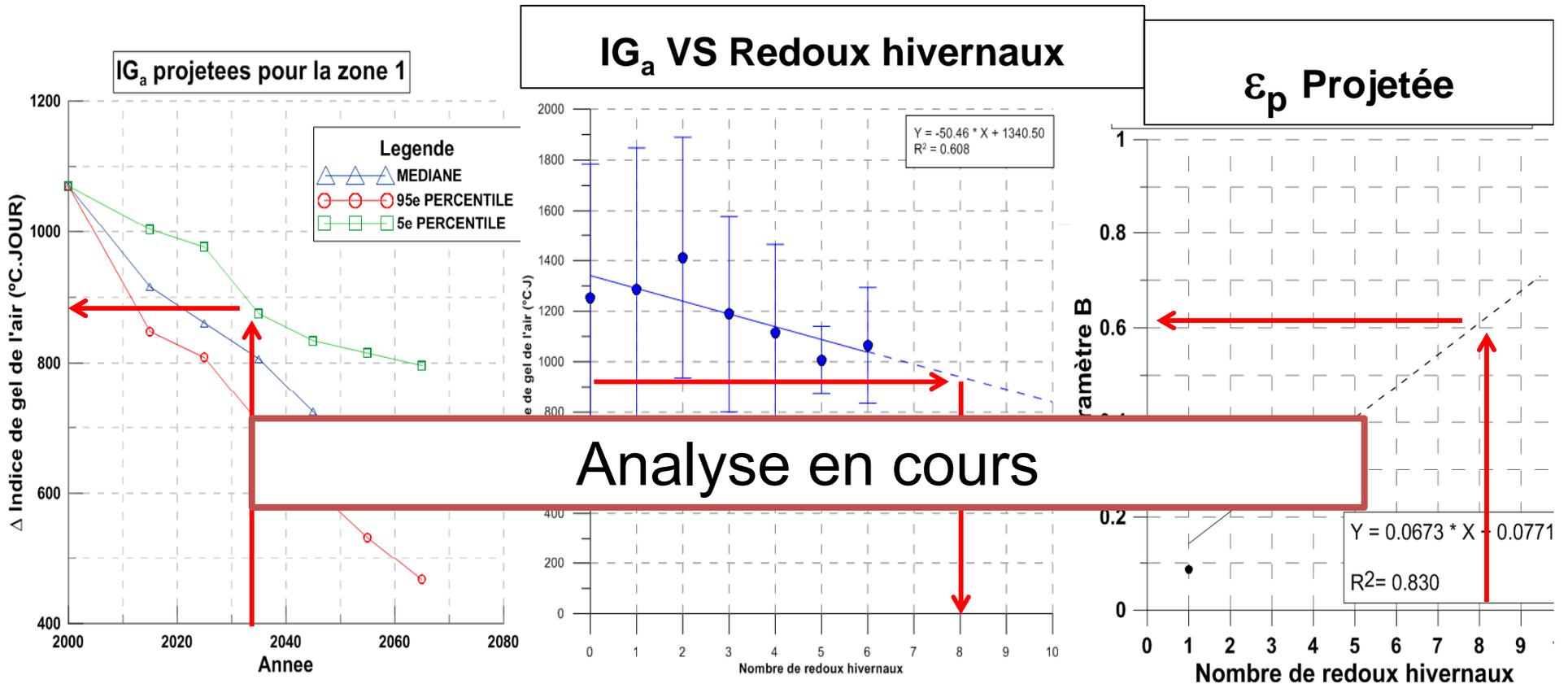
27

Exemple du Calcaire CS



Méthodologie – Étape 3: Scénarios climatiques

Synthèse de la méthodologie



CONCLUSION



Conclusion

30

Scénario climatique

IG_a diminuera de **-7 % à -25 %** pour l'horizon 2011-2045

Augmentation de la température hivernale

Une augmentation de **106 % à 117 %** de la durée de vie relative est estimée.

Facteur de correction pour l'IG_a utilisé en conception

Objectif atteint

Augmentation du nombre de redoux hivernaux

En cours d'analyse...



30



Chaire de recherche industrielle
du CRSNG sur l'interaction
Charges lourdes/Climat/Chaussées

Merci!!

QUESTIONS?

PARTENAIRES



GéoLab
(Hiale de LVM-Technisol)

GroupeCTI Group

