

# ANALYSE QUANTITATIVE DE RISQUE

## POUR LES INFRASTRUCTURES LINÉAIRES CONSTRUITES SUR PERGÉLISOL

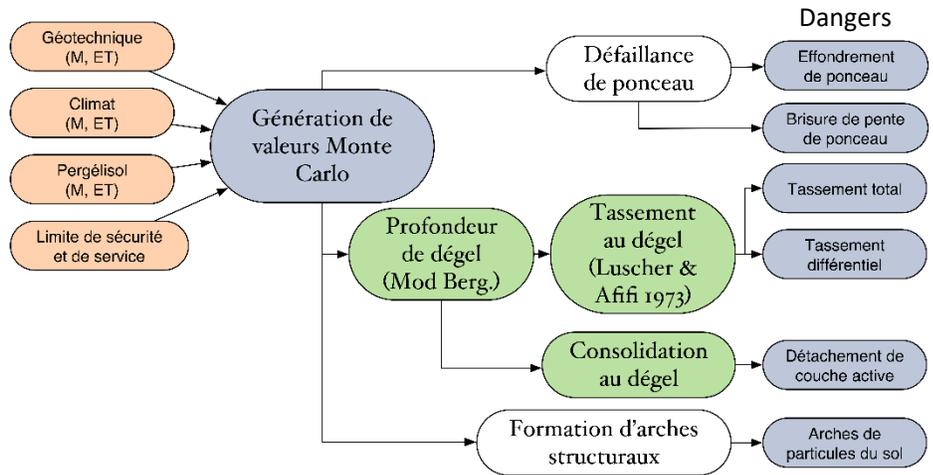
Heather Brooks, Guy Doré (Directeur), Ariane Locat (Codirectrice)

Thème 3 - Projet de Ph.D.

### OBJECTIF

Développer un outil et une méthode d'analyse quantitative de risque pour les infrastructures avec remblai construits sur pergélisol, en utilisant:

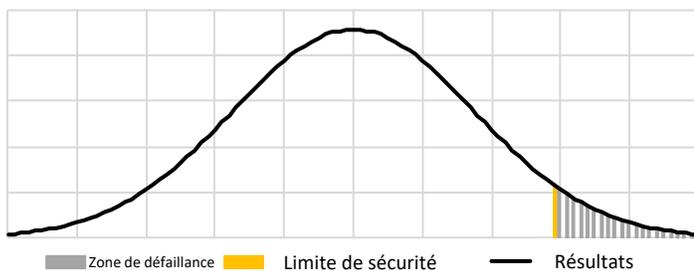
- Conditions du site (géotechnique, pergélisol, climat)
- Calculs physiques et/ou empiriques
- Coûts directs et facteurs de conséquences indirects (sociétales, blessures et fatalité)
- Évaluation de la fragilité pour déterminer les changements de hasard et de risque liés à l'augmentation des températures moyennes annuelles de l'air.



**Processus de calcul du hasard:** Entrées des variables stochastiques (orange) pour la moyenne (M) et l'écart type (ET), valeurs calculées (vert) et calculs du hasard à partir des fonctions d'état limite (bleu).

### CALCUL DU HASARD

Le calcul du hasard (probabilité qu'un danger se produise) est déterminé en utilisant les principes d'analyse de fiabilité et les techniques de simulation Monte Carlo, dans lesquels toutes les variables stochastiques



considérées sont choisies aléatoirement à partir de fonctions de densité de probabilité définies. La variation statistique de la fonction d'état limite provient du calcul à répétition du résultat de fonction d'état limite avec les propriétés d'entrées variées aléatoirement (simulations).

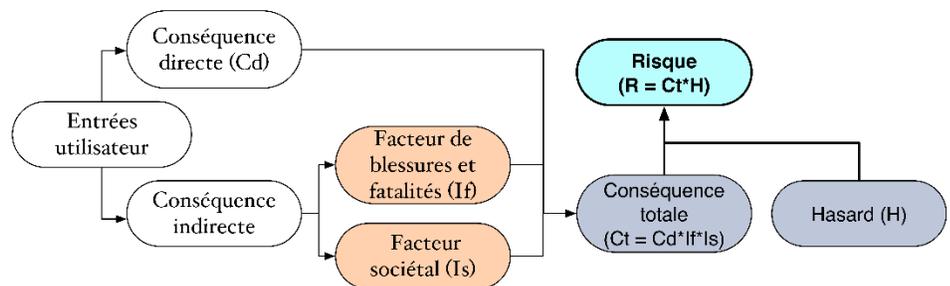
Le hasard (équation à gauche) est le résultat du nombre de simulations excédant la limite de sécurité (figure à gauche) divisé par le nombre total de simulations.

Puisque l'état du sol change avec la géologie, les hasards, conséquences et risques doivent être recalculés.

$$H = \frac{\#S_{défaillance}}{\#S_{Total}}$$

### CALCUL DES CONSÉQUENCES

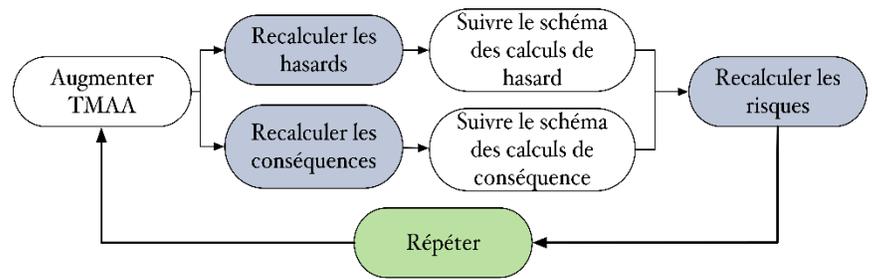
Les conséquences directes (Cd) de réparation des dommages de chaque danger inclues la main d'oeuvre, l'équipement et les matériaux. Les facteurs de conséquences indirectes (santé et société) reflètent les blessures et fatalités au moment de l'occurrence du danger, ainsi que les impacts économiques et sur la santé des communautés durant les réparations.



**Processus de calcul des conséquences et du risque par danger:** Données entrées pour les coûts directs, les facteurs de conséquences indirectes (orange) et pour calculer le risque (bleu); le risque calculé (turquoise).

## FRAGILITÉ LIÉE AU CLIMAT

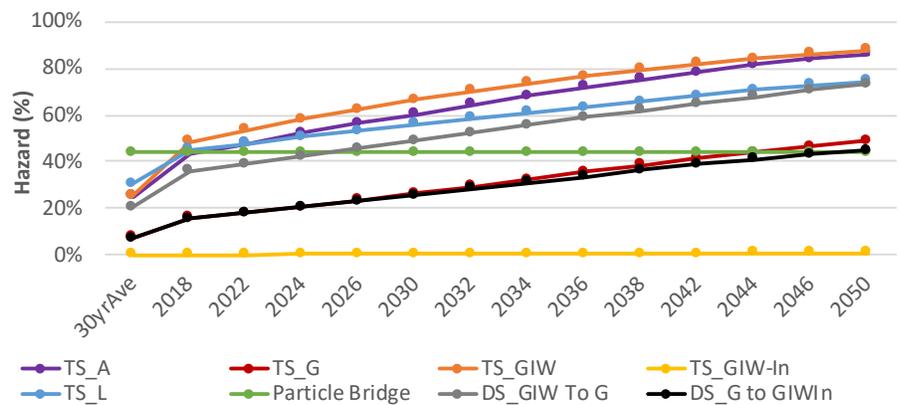
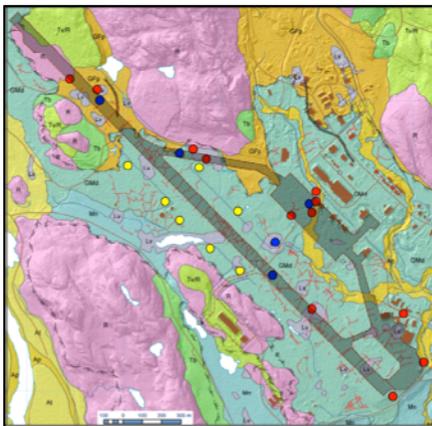
Compte tenu du réchauffement climatique en région de pergélisol, le hasard et le risque d'une infrastructure changeront avec la température moyenne annuelle de l'air (TMAA). Un processus d'évaluation de cette fragilité a été inclus dans le programme.



## EXEMPLE: AÉROPORT D'IQUALUIT

La piste d'atterrissage d'Iqaluit est construite sur des dépôts de surface alluviaux (A, jaune), glaciomarins (G, bleu) et lacustres (L, mauve). Lors de sa récente reconstruction, une couche d'isolation a été placée dans le remblai au-dessus des zones à coins de glace, où des fissures et des tassements significatifs ont été observés. Ce cas d'étude détermine les diminutions de hasards associés aux changements de températures de l'air dans le temps pour différentes géologies (A, L, G) et conditions de site (G avec coins de glace [GIW] et G avec coins de glace et isolation [GIWIn]).

Trois dangers ont été analysés: tassement au dégel total (TS) et différentiel (DS), ainsi que les formations d'arches structurales dans la matrice de particules de sol. Les changements de hasard en réponse à un réchauffement de 2,5°C (2010-2050) sont présentés ci-dessous. L'ajout d'isolation a considérablement diminué le hasard de tassement au dégel (ligne jaune), mais n'a diminué le tassement différentiel (ligne noire) d'environ seulement 20% durant la période. Ces résultats peuvent être utilisés pour déterminer le calendrier des réparations et reconstructions lors des analyses de coûts-bénéfices.



## RÉSULTATS DU PROJET ET BÉNÉFICES

- Calcul de hasard et risque (dans Excel) pour :
  - **site unique** : Arquluk-RISK[SS]
  - **infrastructure linéaire** : Arquluk-RISK[LI]
- Hasard probabiliste, analyses de profondeur de dégel et tassement au dégel, équation modifiée de Berggren, Luscher et Afifi (1973) équations empiriques et fonctions d'état limite de danger; qui peuvent être utilisés pour concevoir des infrastructures basées sur des **intervalles de confiance**.
- L'analyse des conséquences inclut les **coûts directs locaux** (équipement, main d'oeuvre et matériau) et les **facteurs de coûts indirects**, soit les impacts sociétaux et sur la santé suite à l'occurrence d'un danger.
- Analyse de risque de **six dangers**: tassement au dégel total et différentiel, effondrement et brisure de pente de ponceau, détachement et glissement de couche active et formation d'arches structurales.
- **Évaluation de la fragilité liée au climat** pour déterminer les changements de hasard et de risque en fonction des modifications de la température moyenne annuelle de l'air.
- Peut être utilisées dans les analyses de **coûts-bénéfices** pour comparer les stratégies de mitigation.



Transports,  
Mobilité durable  
et Électrification  
des transports  
Québec



Cold Climate Innovation  
YUKON RESEARCH CENTRE - YUKON COLLEGE



Transport  
Canada

