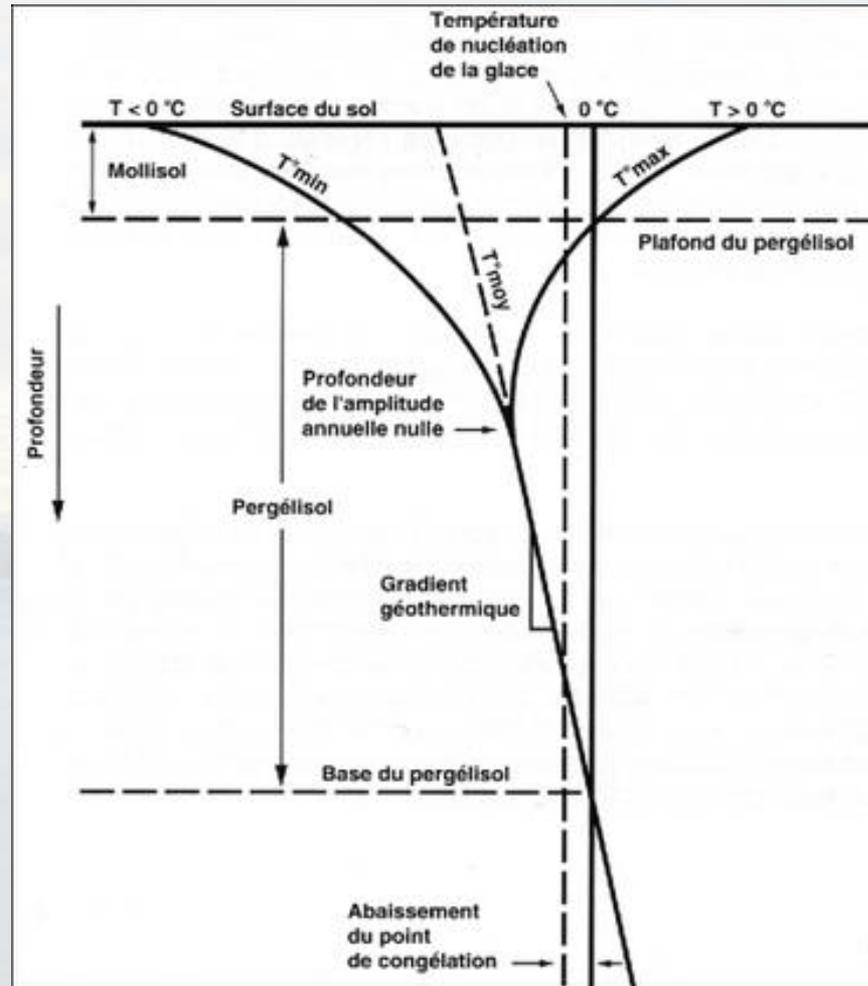




1. Introduction
2. Objectifs
3. Études antérieures
4. Description des sites expérimentaux et résultats
5. Description de la méthode de stabilisation et résultats
6. Conclusion

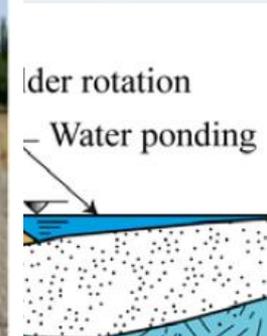
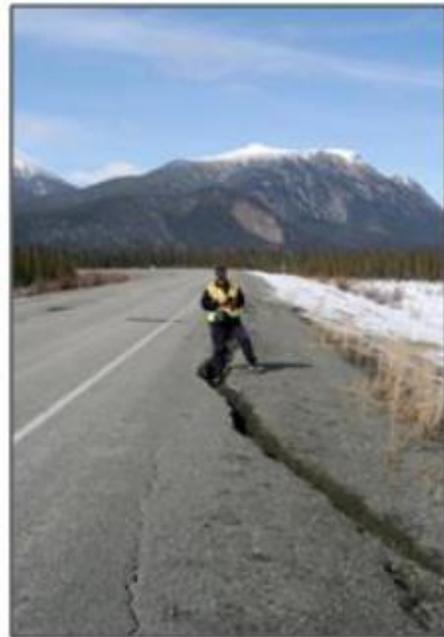
AQTr (Québec, 12 avril 2016)

Introduction : Régime thermique du pergélisol



(Robitaille et Allard, 1996)

Introduction : Infrastructures de transport construites sur pergélisol

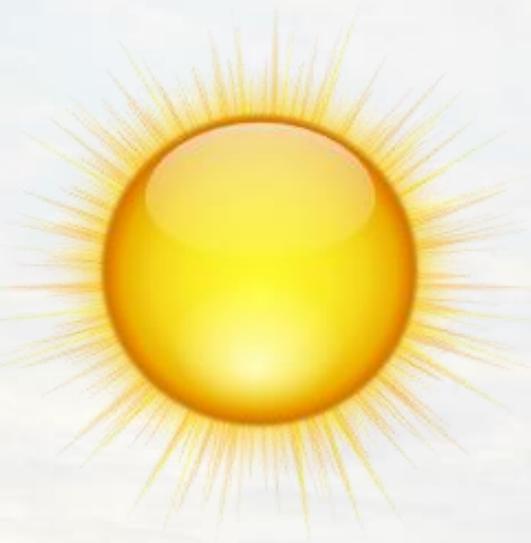


- **Perturbations du sol provoquées**
 - a) Géométrie du remblai
 - b) Couleur foncée du revêtement
 - c) Réchauffement climatique



Introduction : Albédo

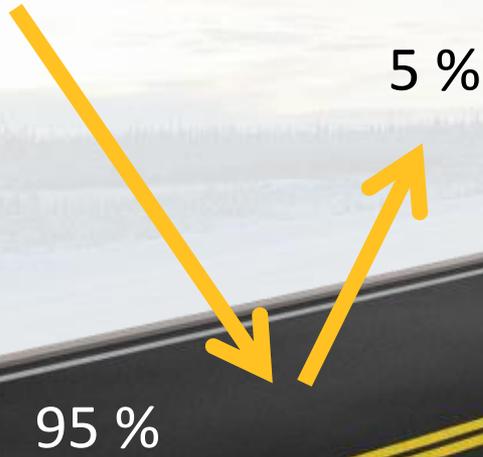
$$(a) = \frac{I_{\text{RADIATION SOLAIRE RÉFLÉCHIE}}}{I_{\text{RADIATION SOLAIRE INCIDENTE}}}$$



ASTM E 1918



ASTM E 965



ASTM E 303

Objectifs

Principal : Développer une méthode de stabilisation thermique à l'aide de surfaces à albédo et/ou rechargement du remblai

1. Déterminer l'efficacité des produits et leur faisabilité en milieu nordique
2. Quantifier les bénéfices des revêtements à albédo élevé en documentant l'évolution de l'albédo
3. Modéliser les transferts de chaleur pour plusieurs sites

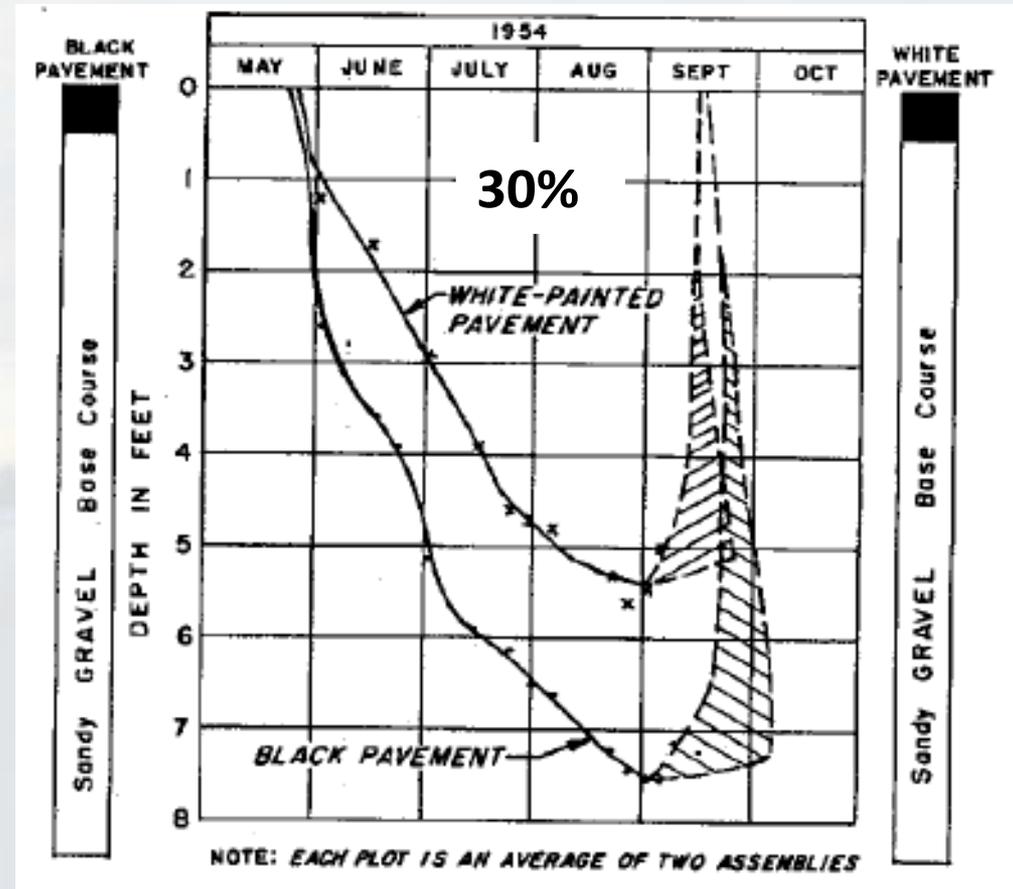
Produit final : Outils de conception permettant de prescrire un albédo ou une hauteur de remblai

Études nordiques antérieures

1962 (Thule, Groenland)

Conclusion :

- Profondeur de dégel réduite de 0,6 m (différence de 30%)
- Dégradation de la peinture , coût, diminution de l'efficacité du freinage, givrage.



(Fulwider and Aitken 1962)

Études nordiques antérieures

1973 (Fairbanks, Alaska)

Conclusion :

- La section témoin est celle ayant le plus de dégradation et la section peinte est celle en ayant le moins.
- Différence d'environ 1,0 m (plafond du pergélisol) entre les deux sections (30%)

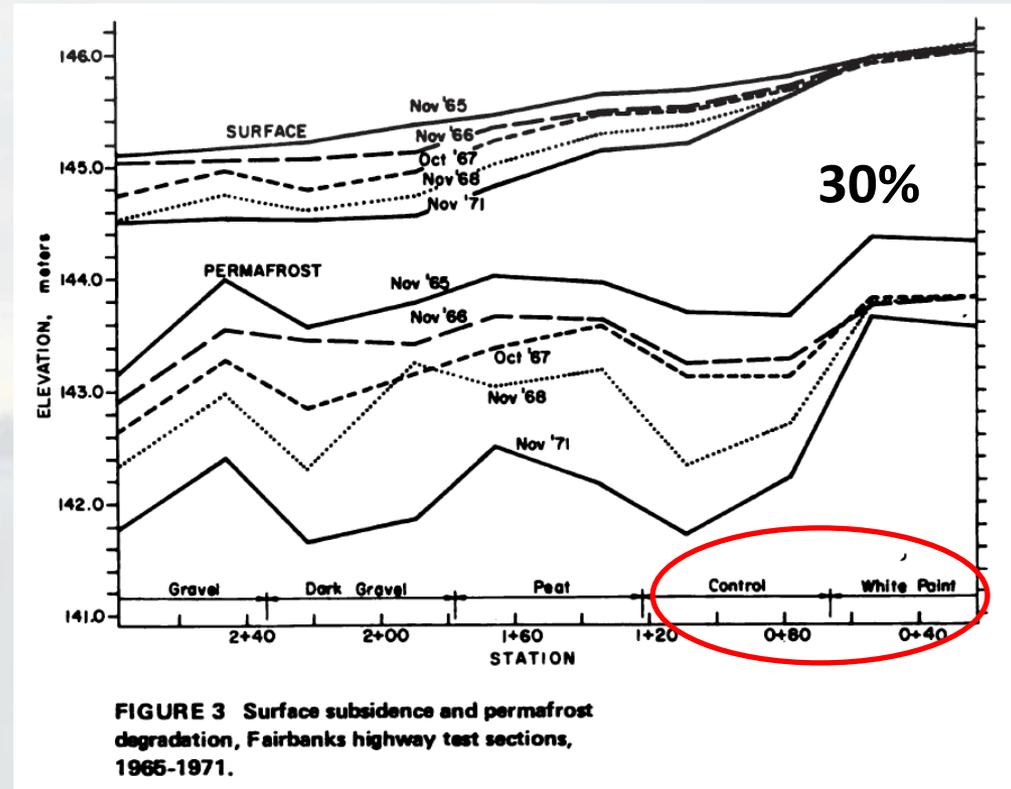
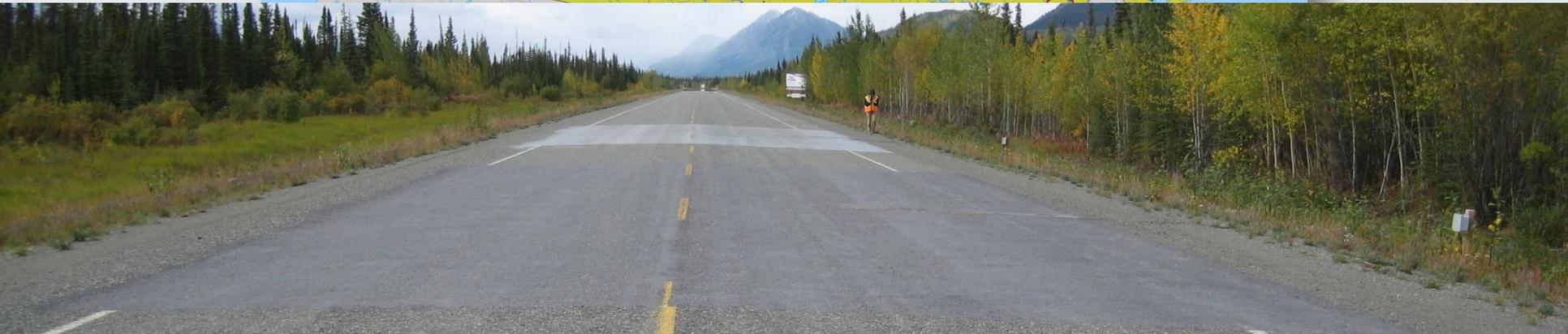
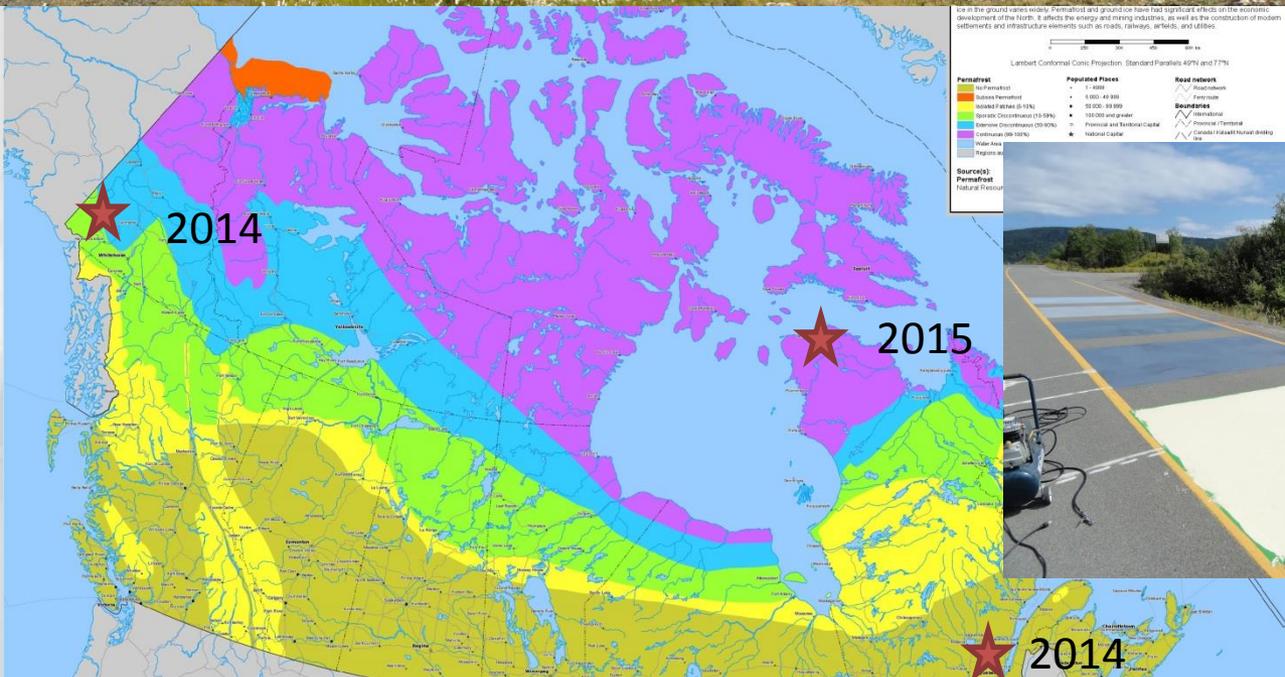
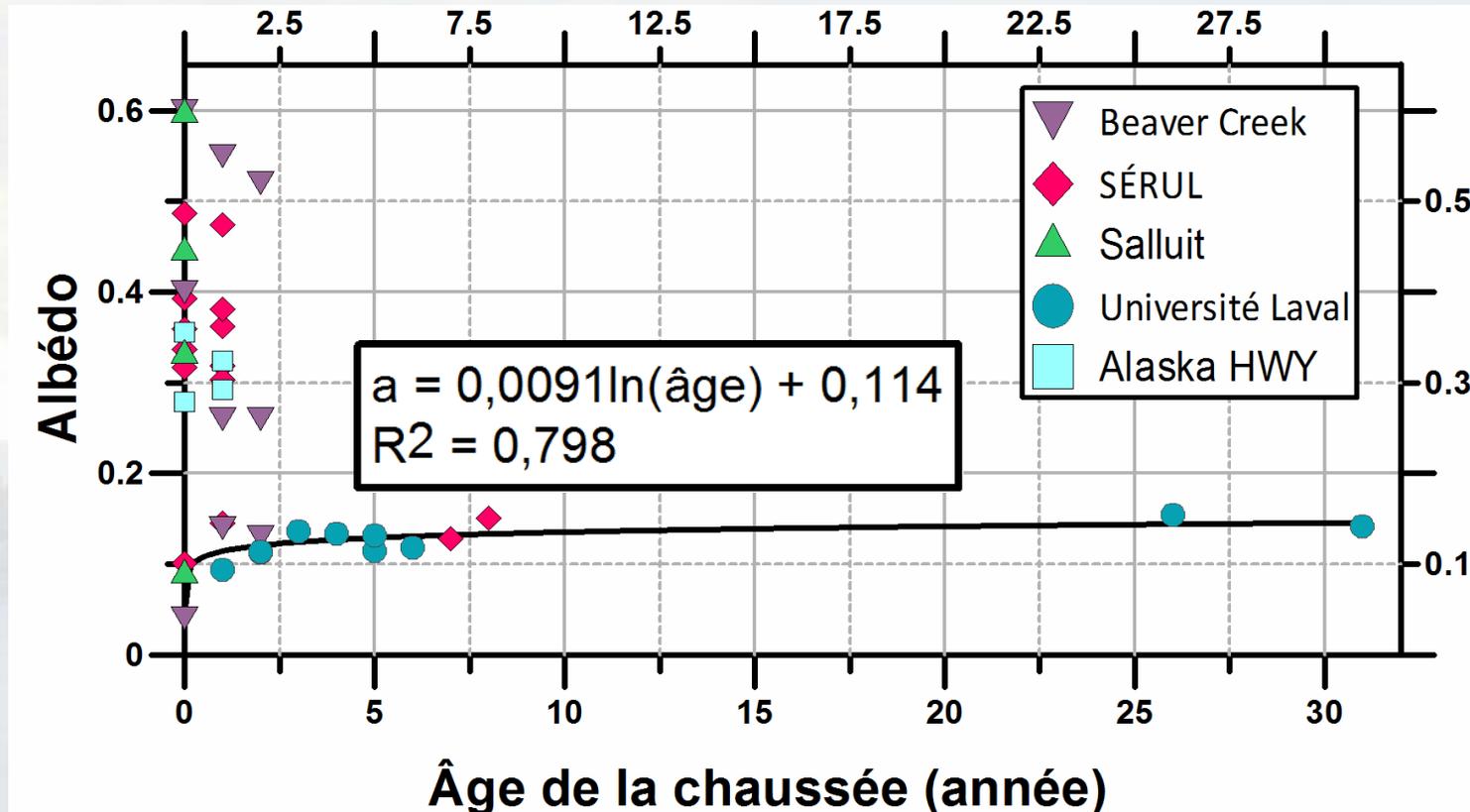


FIGURE 3 Surface subsidence and permafrost degradation, Fairbanks highway test sections, 1965-1971.

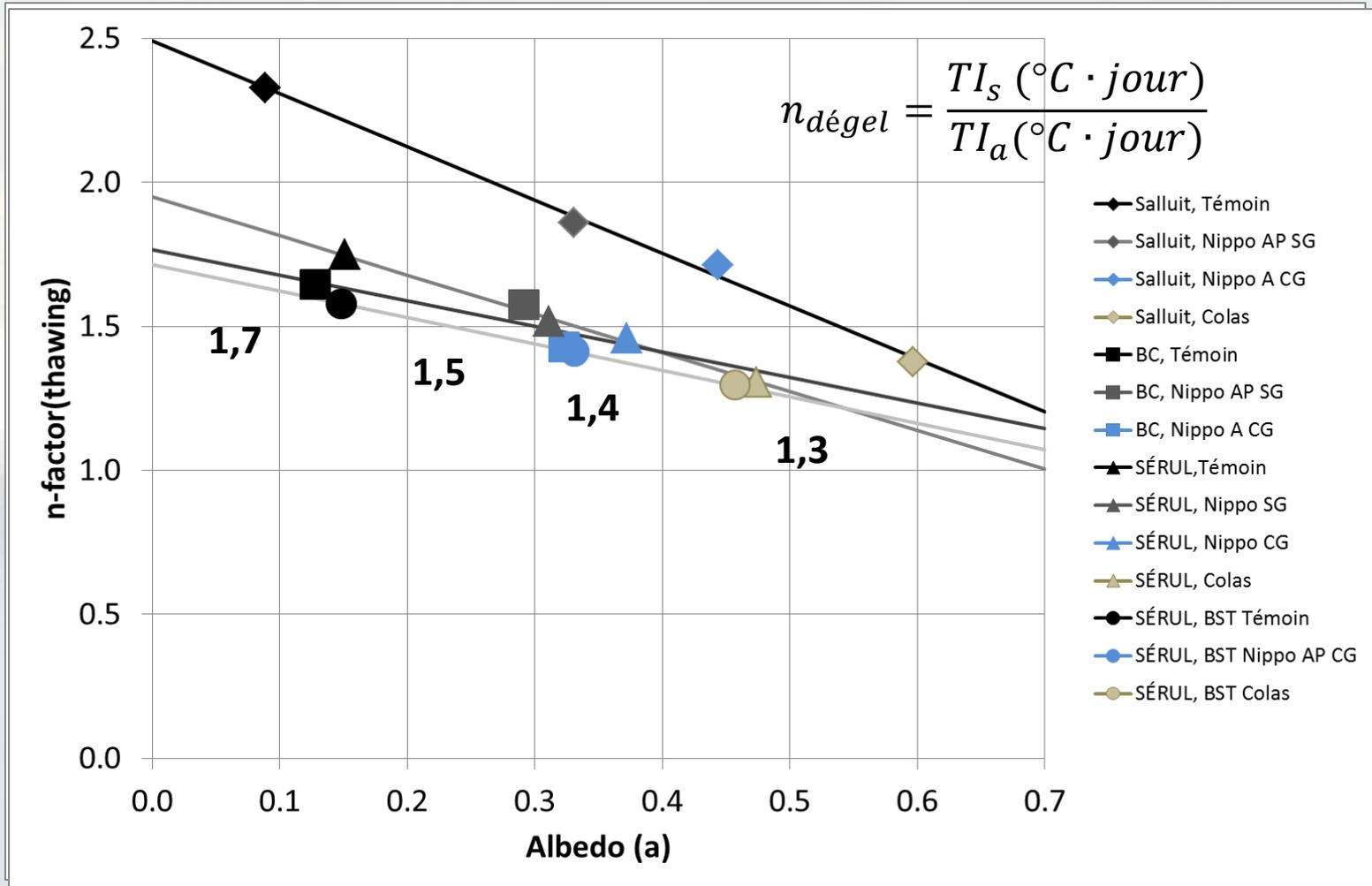
(Berg and Aitken 1973)



Résultats : Évolution de l'albédo avec le temps



Résultats : Facteur-n



Développement de la méthode de stabilisation thermique

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \right) - \cancel{\rho \cdot v \cdot \frac{\partial T}{\partial x}} = C \cdot \frac{\partial T}{\partial t} - L_f \cdot \frac{\rho_i}{\rho_w} \cdot \frac{\partial \theta_i}{\partial t}$$

Conduction

Convection

Stockage de la chaleur

Chaleur libérée ou absorbée par le changement de phase de l'eau

1 projects selected | 1 models selected

Show only my models

Search | Advanced Find... | Clear Search

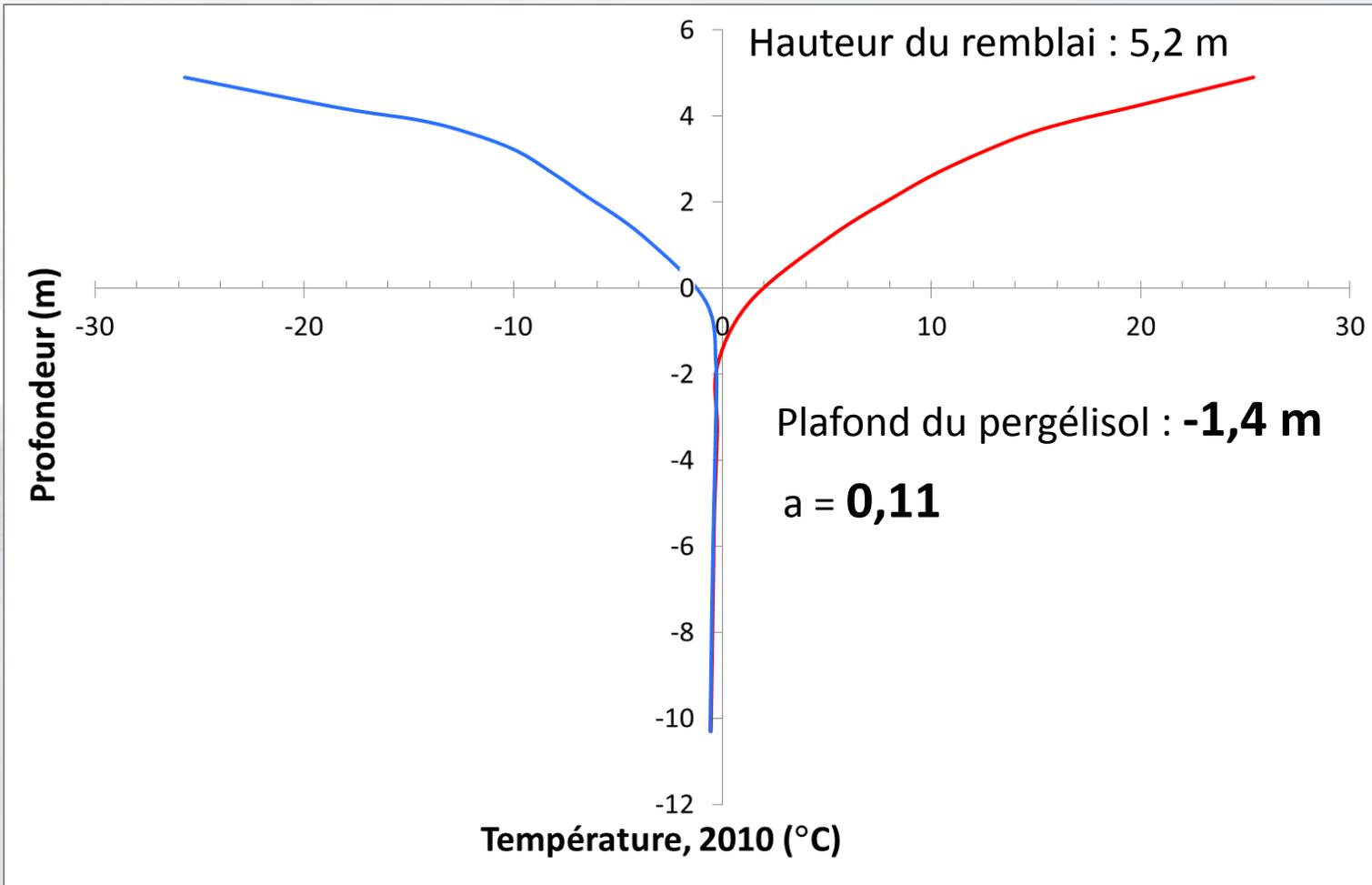
Important Updates: New FlexPDE Available | New SVOOffice Available | Click to Check New Models

SOILVISION SYSTEMS, LTD.



SVHEAT^{GE}

1D / 2D / 3D FINITE ELEMENT
FREEZE / THAW MODELING





SVHEAT^{GE}

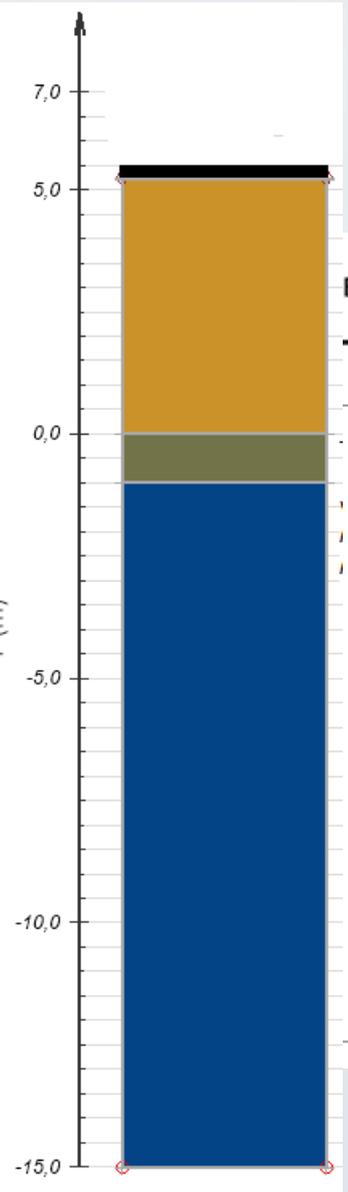
1D / 2D / 3D FINITE ELEMENT
FREEZE / THAW MODELING

Conditions

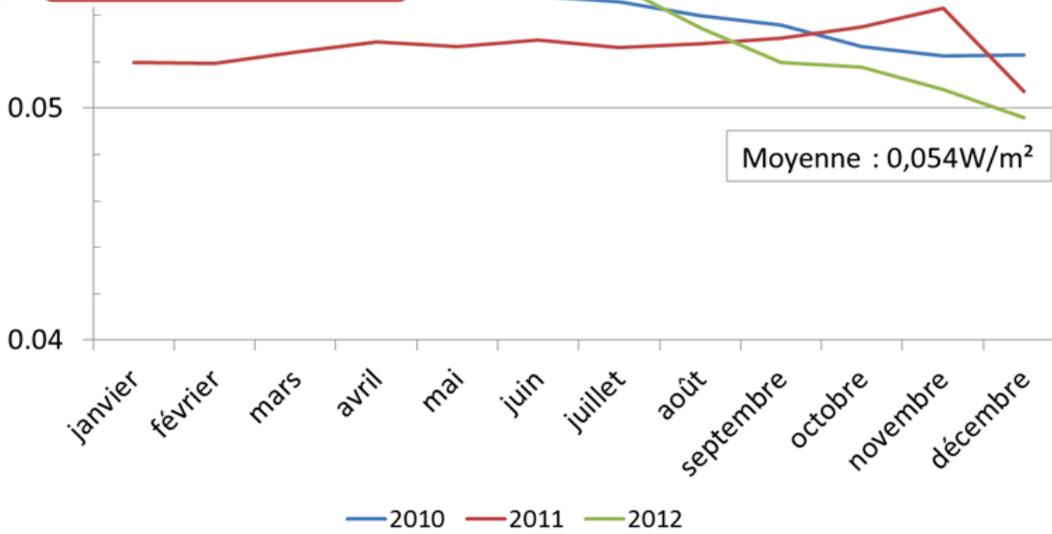
Géométrie
du remblai

initiales

limites



Flux thermique (W/



| Radiation solaire | Vitesse du vent | Température de l'air | Température surface A | Température surface B |
|-------------------|-----------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 174,3 | | | | |

| | | |
|----------------------|-------|--|
| Jan | 228,8 | |
| Fé | 225,6 | |
| M | 190,0 | |
| Avr | 152,4 | |
| Mai | 96,2 | |
| Juin | 43,3 | |
| Juillet | 14,8 | |
| Août | 3,2 | |
| Septembre | | |
| Octobre | | |
| Novembre | | |
| Décembre | | |
| Indice de gel (°C) | | |
| Indice de dégel (°C) | | |

A la base : flux

Choix de l'incrément de temps



SVHEAT™ GE

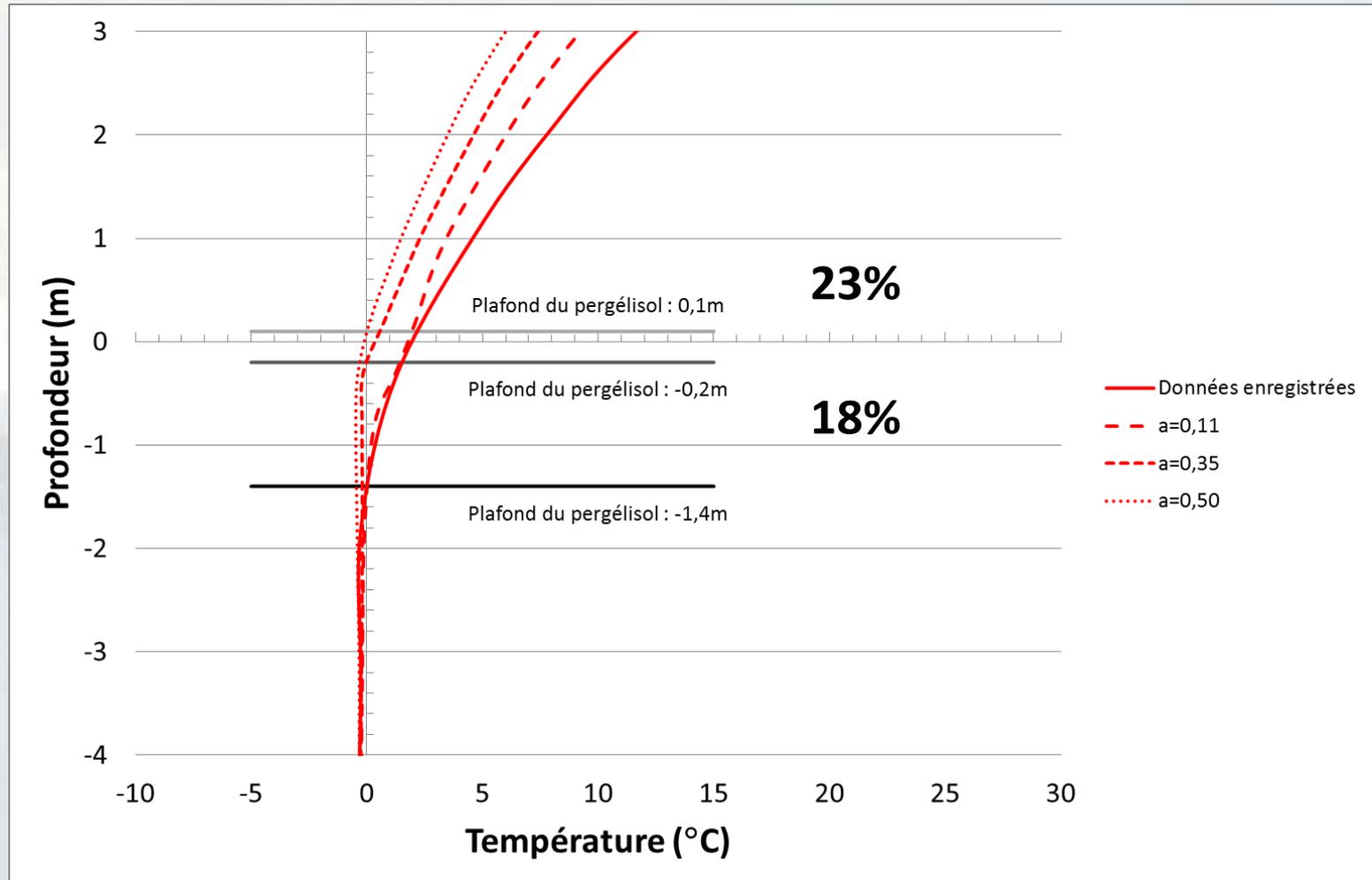
1D / 2D / 3D FINITE ELEMENT
FREEZE / THAW MODELING



Modélisation et résultats



SVHEAT™
1D / 2D / 3D FINITE ELEMENT
FREEZE / THAW MODELING





SVHEAT^{GE}

1D / 2D / 3D FINITE ELEMENT
FREEZE / THAW MODELING

Propriétés des matériaux

Conductivité thermique

- Constante
- Données
- Fonction
- Johansen
- Johansen Lu et al
- De Vries

Capacité calorifique

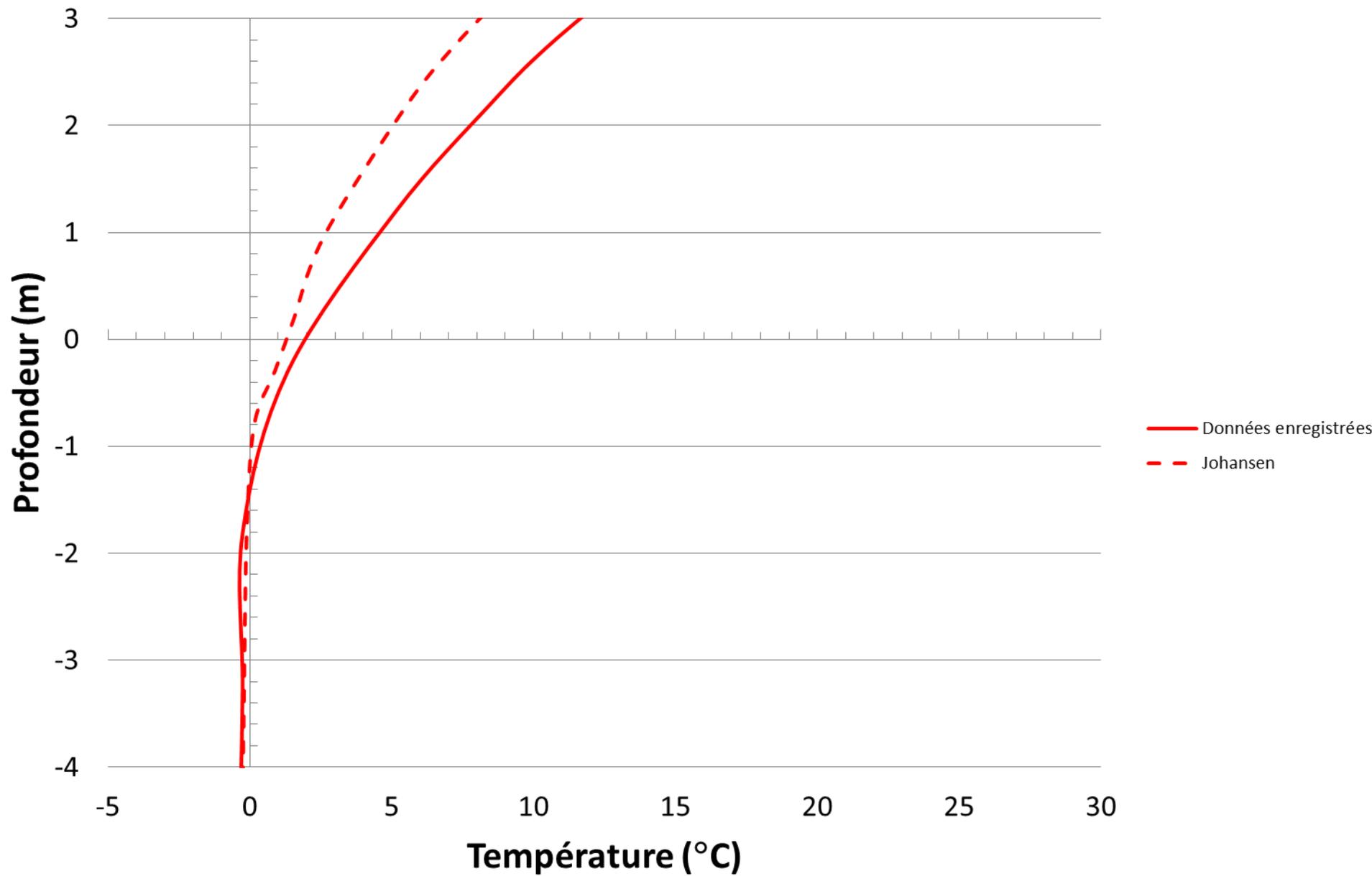
- Constante
- Jame-Newman

SFCC

- Aucune
- Données
- Fonction
- SWCC
- Tice et Anderson
- Estimation multi linéaire
- Fonction exponentielle

Teneur en eau volumique

- Teneur en eau vol
- Teneur en eau vol sat





SVHEAT^{GE}

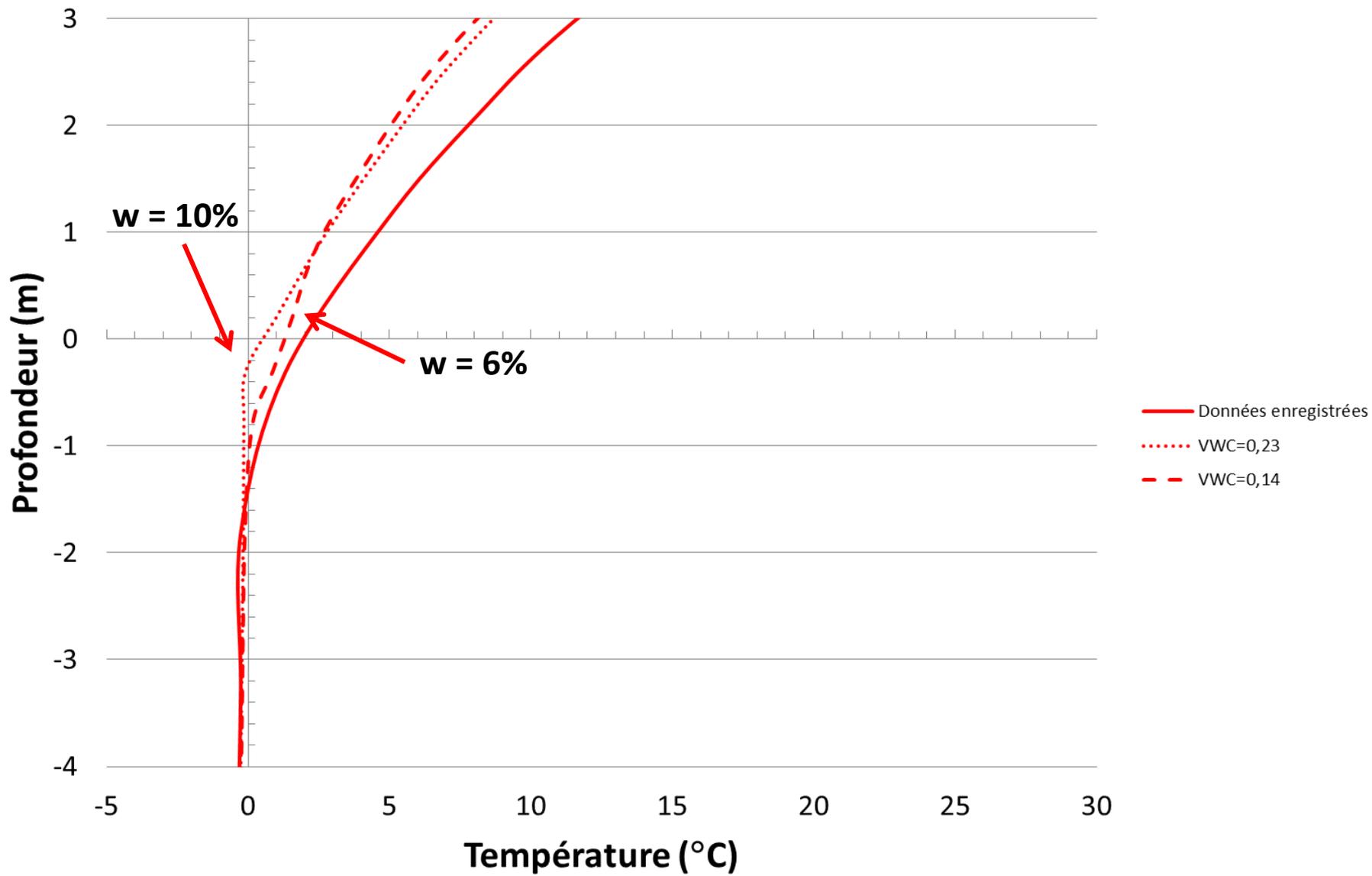
1D / 2D / 3D FINITE ELEMENT
FREEZE / THAW MODELING

Capacité calorifique volumique

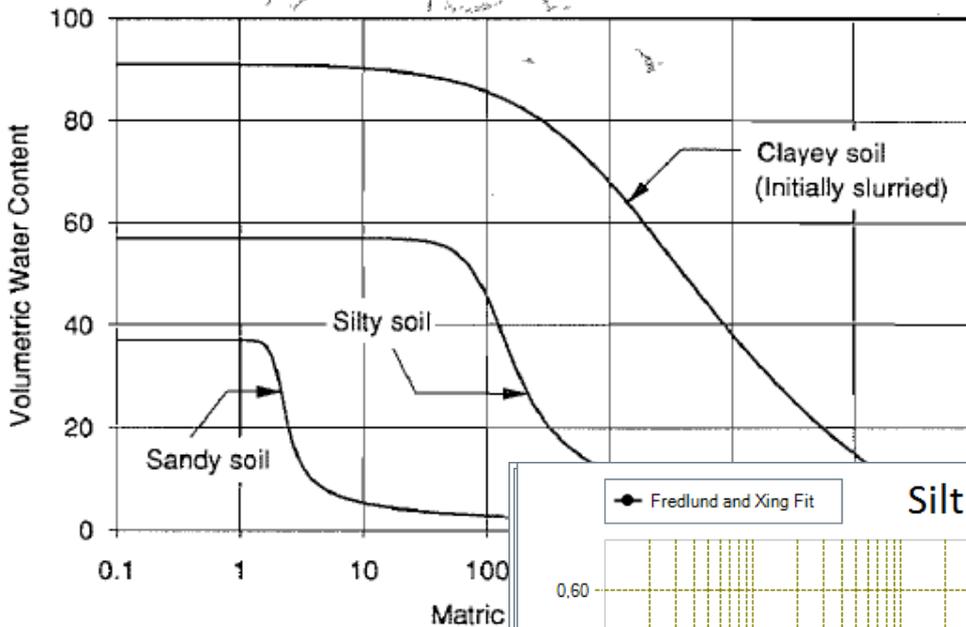
| Matériel | Capacité thermique | |
|----------|---|---|
| | Non gelée, C_u (MJ/m ³ ·°C) | Gelée, C_f (MJ/m ³ ·°C) |
| BST | 2,1 | |
| Remblai | 2,25 | 1,94 |
| Tourbe | 3,29 | 1,81 |
| Silt | 2,81 | 1,97 |

$$C_u (\text{MJ}/\text{m}^3 \cdot \text{C}) = (1 - n) \cdot C_s + 4,187(S_r \cdot n)$$

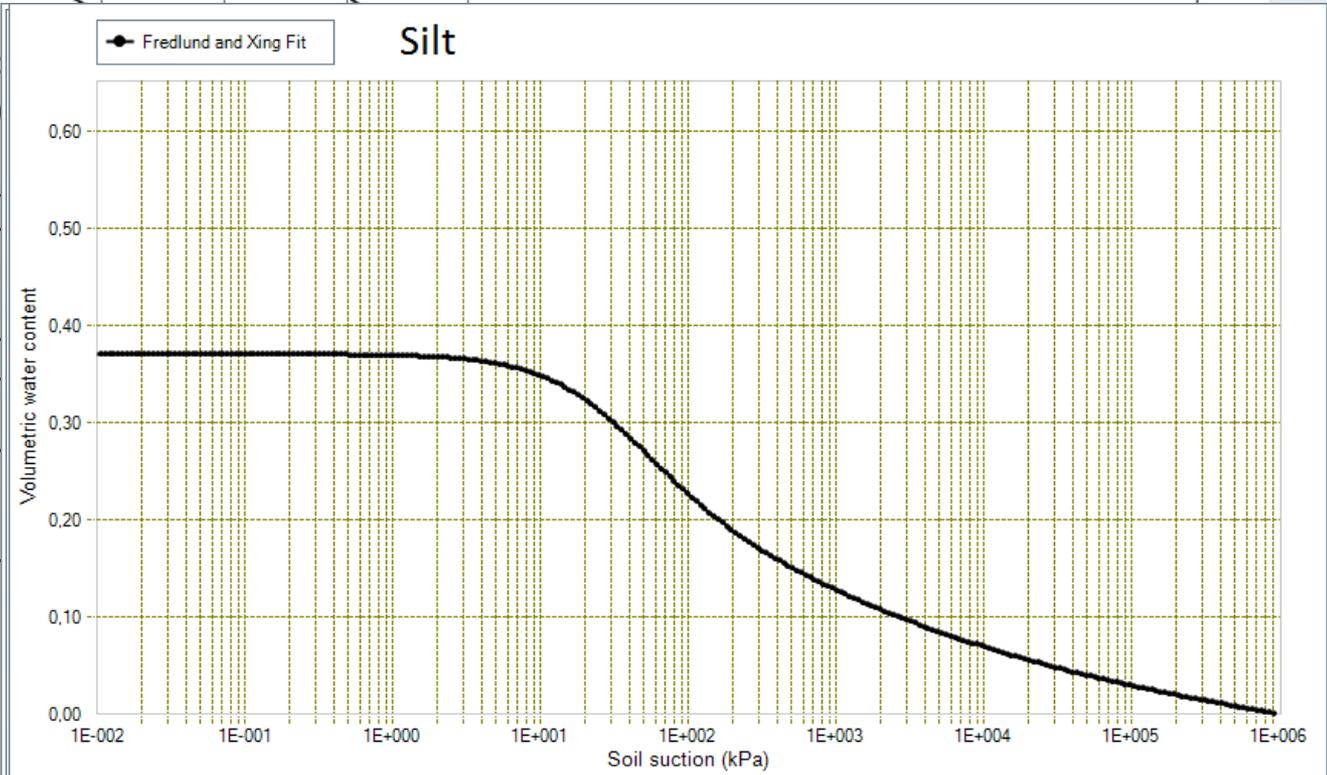
$$C_f (\text{MJ}/\text{m}^3 \cdot \text{C}) = (1 - n) \cdot C_s + 1,9(S_r \cdot n - \theta_u) + 4,187 \cdot \theta_u$$



du sol gelé



| BST | norm |
|---------|-------------------------|
| Remblai | SWCC, Fredlund -0,01 |
| Tourbe | SWCC, Van Gen -0,01 |
| Silt | SWCC, Fredlund -0,01 |



À venir

- Calibrer le modèle avec les sites expérimentaux présentés
- Effectuer des simulations avec changement dans la hauteur de remblai
- Effectuer des simulations avec évolution de l'albédo avec le temps
- Création d'abaques

Conclusion

- Les températures de surface diminuent avec l'augmentation de l'albédo
- La tendance du modèle est similaire à celle obtenue sur le terrain et les résultats concordent avec la littérature
- L'outil (en cours de développement) permettra d'estimer le rehaussement du plafond du pergélisol selon différentes valeurs d'albédo ou de hauteur du remblai



www.arquluk.gci.ulaval.ca

Merci à nos partenaires
et collaborateurs



no limits. only possibilities.

