

STABILISATION THERMIQUE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORT CONSTRUITES SUR PERGÉLISOL SENSIBLE AU DÉGEL À L'AIDE DE SURFACES À ALBÉDO ÉLEVÉ



SIMON DUMAIS MSc., candidat PhD., UNIVERSITÉ LAVAL

CAROLINE RICHARD BSc., E.I.T., BGC ENGINEERING INC.

GUY DORÉ ing. PhD, UNIVERSITÉ LAVAL



Caroline Richard



Collaboration : Jade Haure-Touzé

Développer une méthode de stabilisation basée sur l'albédo de la surface

1. Définir une approche d'évaluation des propriétés techniques des surfaces à albédo élevé
2. Quantifier l'effet de l'albédo sur la température superficielle d'un revêtement
3. Documenter l'évolution de l'albédo des surfaces revêtues
4. Développer un modèle thermique à partir des données du site de Beaver Creek, Yukon

SURFACE À ALBEDO ÉLEVÉ

- Revêtement appliqué sur un traitement de surface ou un enrobé bitumineux
- Traitement de surface avec granulats clairs
- Enrobé de couleur claire



Salluit, Nunavik



Alaska Highway, Yukon



Dawson City Front Street, Yukon
(Colas Solutions)



Alaska Highway, Beaver Creek, Yukon

SITES D'ÉTUDE



PROPRIÉTÉS DES SURFACES À ALBÉDO ÉLEVÉ

Propriétés techniques ciblées pour assurer une utilisation efficace, rentable et sécuritaire des surfaces à albédo élevé en contexte nordique



Réflectivité

– Albédo



Pyranomètre - ASTM E1918

PROPRIÉTÉS DES SURFACES À ALBÉDO ÉLEVÉ

Propriétés techniques ciblées pour assurer une utilisation efficace, rentable et sécuritaire des surfaces à albédo élevé en contexte nordique



Tache de sable - ASTM-E965

Glissance

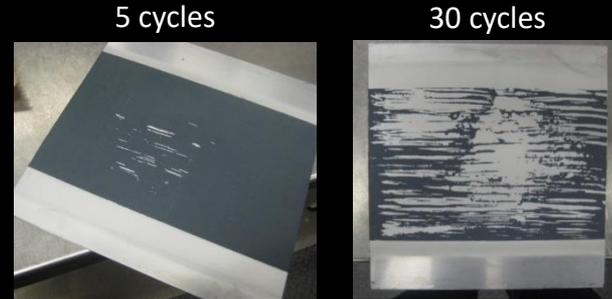
- **Macrotexture** : adhérence à grande vitesse, évacuation de l'eau, durabilité, bénéfique thermique (Tache de sable)
- **Microtexture** : adhérence à basse vitesse (Pendule britannique)



Pendule britannique - ASTM E303

PROPRIÉTÉS DES SURFACES À ALBÉDO ÉLEVÉ

Propriétés techniques ciblées pour assurer une utilisation efficace, rentable et sécuritaire des surfaces à albédo élevé en contexte nordique



Abrasion par projection - LC 21-102

Durabilité (tests en laboratoire)

- Résistance à l'abrasion
- Résistance à l'arrachement



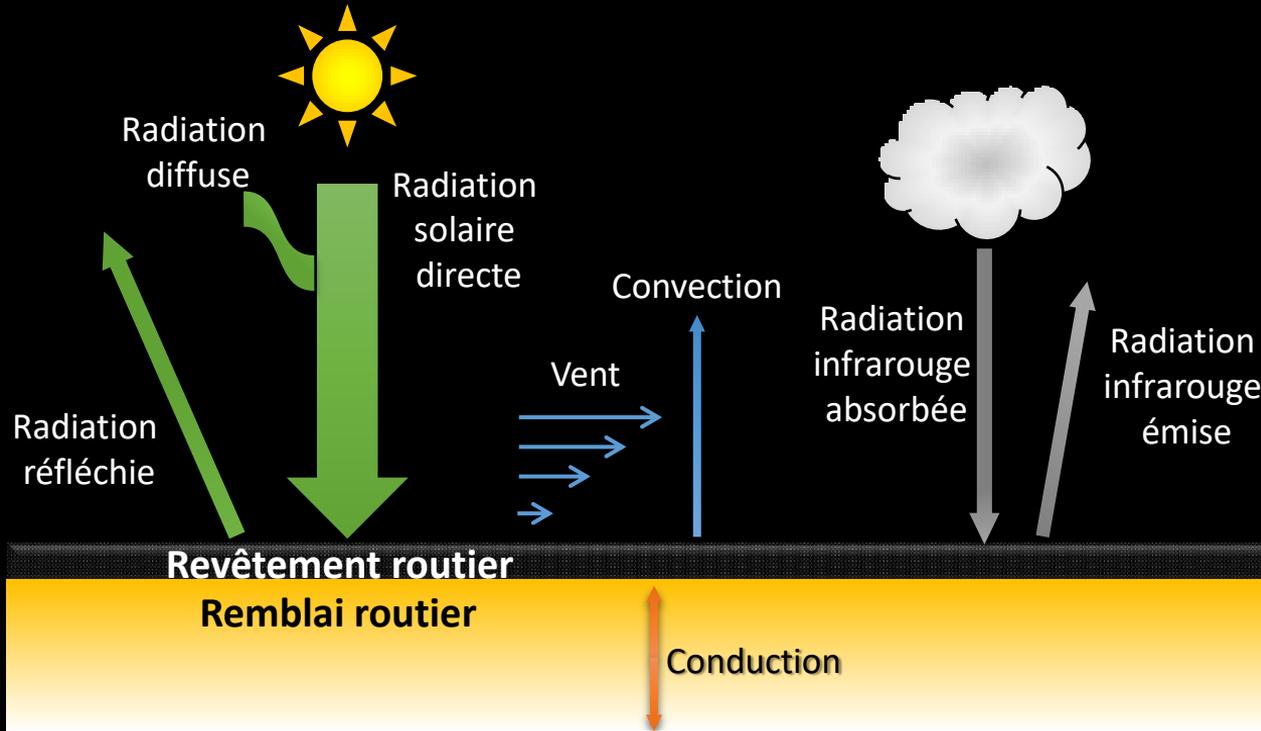
Test de tension direct – LC 25-010

MODÈLE DE CALCUL DES TEMPÉRATURES SUPERFICIELLES

Permettre une évaluation rapide et précise des bénéfices thermiques liés à l'utilisation des surfaces à albédo élevé en contexte nordique.

- Outils de calcul simples
- Modèle adaptable aux différentes conditions climatiques

BILAN D'ÉNERGIE SIMPLIFIÉ



Radiation solaire
Convection
Radiation infrarouge
Conduction

$$\text{Bilan d'énergie: } 0 = q_r + q_c + q_e + q_s$$

MODÈLE – RÉSUMÉ ET UTILISATIONS

Trois variables à fournir pour obtenir la température superficielle

- Température de l'air
- Radiation solaire
- Vitesse du vent

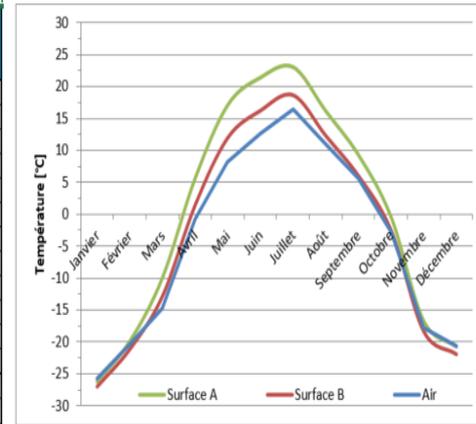
Utilisation des valeurs mensuelles recommandée

Utilisation du modèle

- Résolution par calcul itératif
- Utilitaire de calcul (site web Arquluk)
- Abaques de calcul

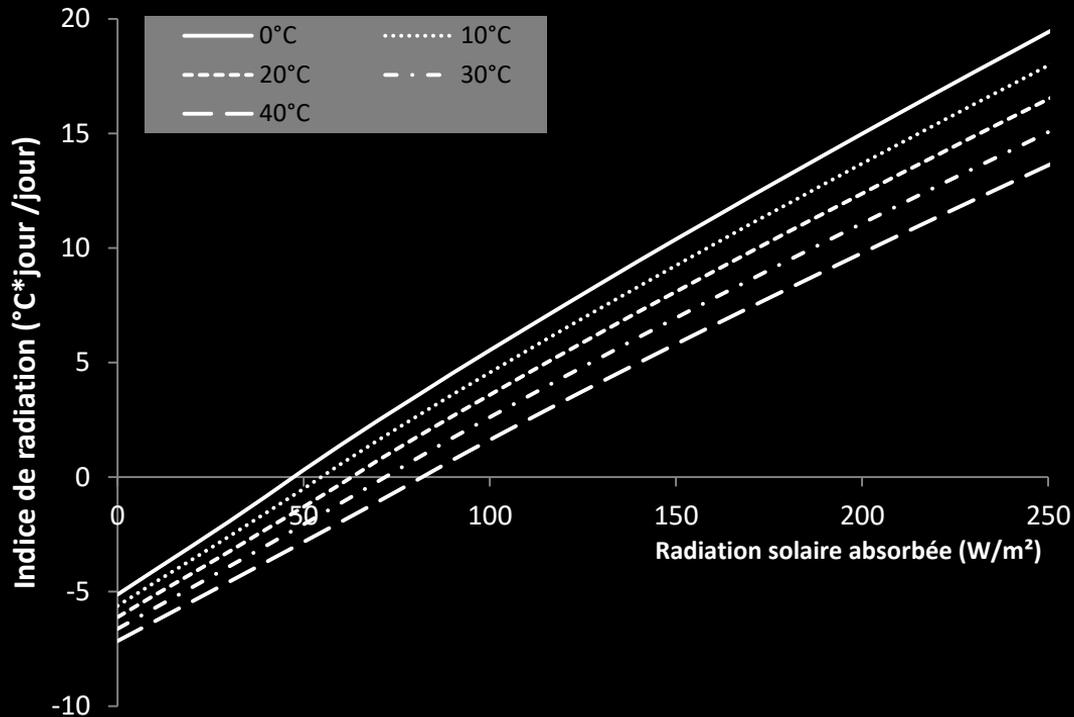
ARQULUK - Calcul des températures superficielles des revêtements routiers

Mode d'emploi	Données à saisir		Albédo surface A	Albédo surface B	
	Données calculées		0,15	0,50	
Rad 2015	Radiation solaire [W/m ²]	Vitesse du vent [km/h]	Température de l'air [°C]	Température surface A [°C]	Température surface B [°C]
Janvier	5,6	3,4	-25,7	-26,3	-27,0
Février	31,3	3,6	-20,3	-20,0	-21,1
Mars	106,2	4,8	-14,8	-10,0	-12,8
Avril	166,5	4,4	-0,8	5,5	1,4
Mai	236,8	6,6	8,1	17,0	11,9
Juin	232,9	6,0	12,6	21,3	16,2
Juillet	191,6	6,1	16,4	23,0	18,6
Août	143,5	5,1	11,0	16,1	12,3
Septembre	98,1	4,4	5,6	9,2	6,0
Octobre	45,4	4,8	-2,8	-0,5	-2,5
Novembre	13,8	2,9	-17,9	-16,8	-18,3
Décembre	3,2	1,9	-20,6	-20,8	-21,9
Indice de gel [°C*jour]			3111	2848	3131
Indice de dégel [°C*jour]			1648	2823	2035



MODÈLE – ABAQUE

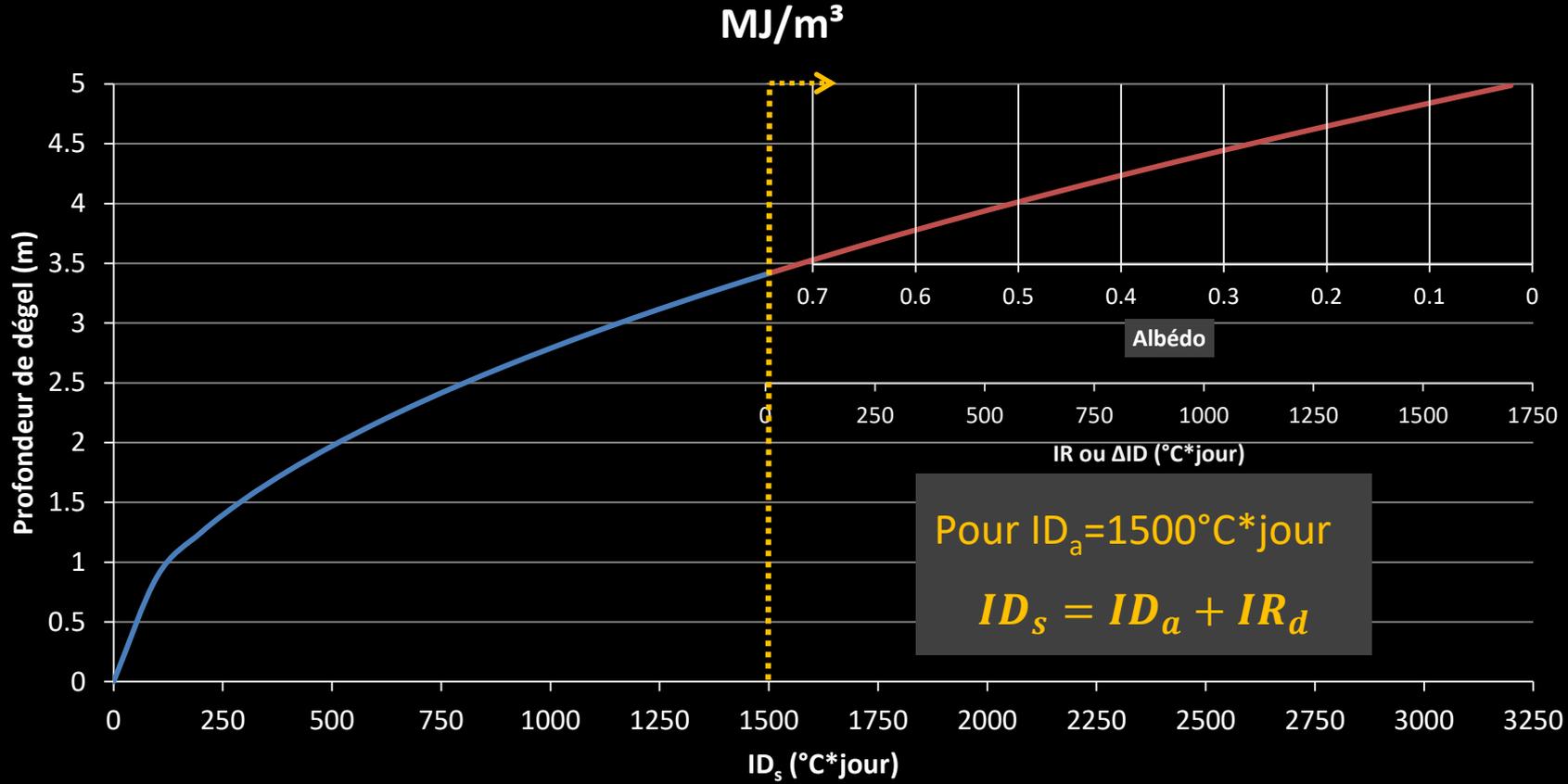
DUMAIS, S. ET DORÉ, G. (2016) AN ALBEDO BASED MODEL FOR THE CALCULATION OF PAVEMENT SURFACE TEMPERATURES IN PERMAFROST REGIONS. COLD REGIONS SCIENCE AND TECHNOLOGY, VOL. 123, MARS 2016: PP. 44-52.



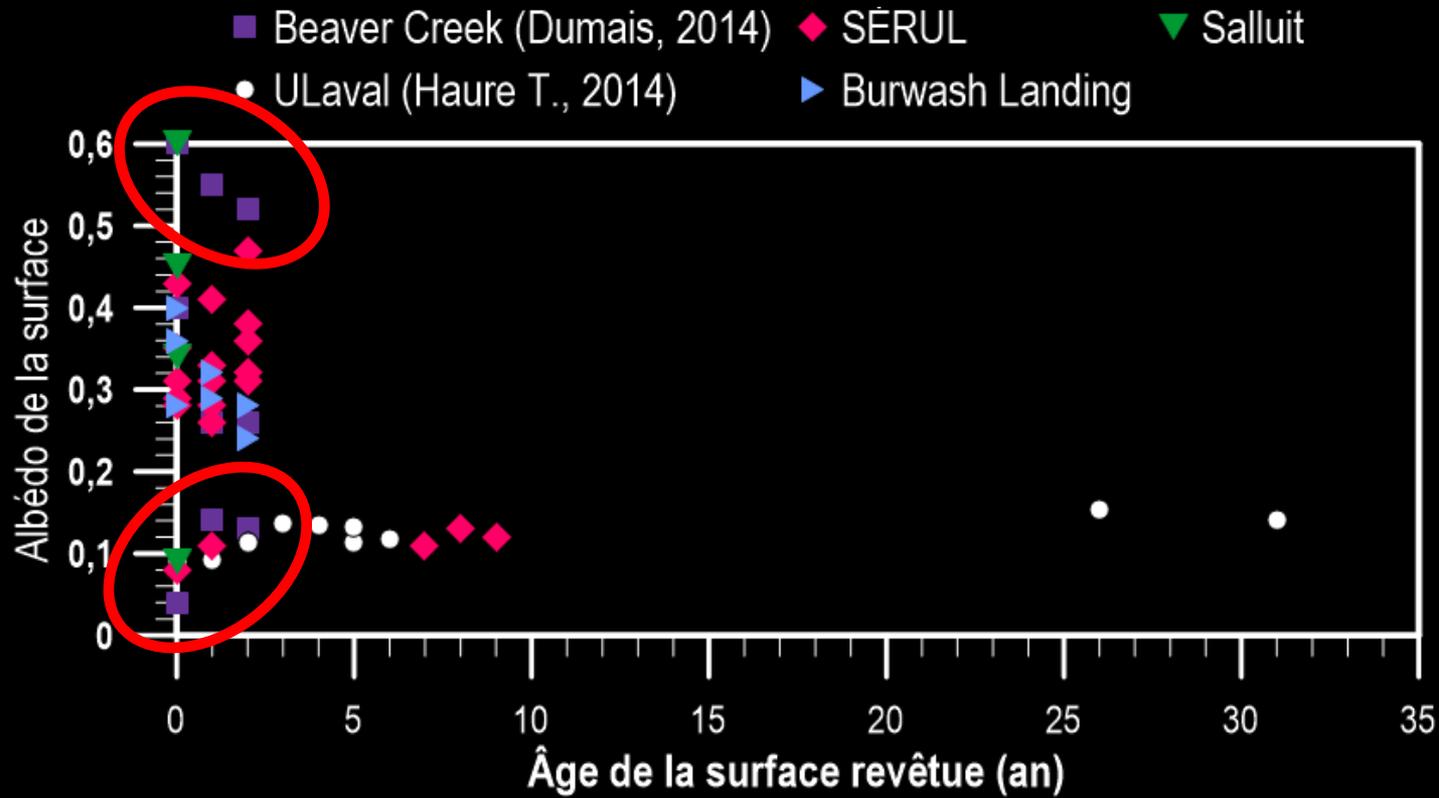
$$ID_s = ID_a + IR_d$$

PROFONDEUR DE DÉGEL - EXEMPLE

Profondeur de dégel selon Stefan avec $k_u = 1,8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ et $L_s = 40 \text{ MJ/m}^3$



ÉVOLUTION DE L'ALBÉDO



MODÈLE THERMIQUE

Températures moyennes annuelles utilisées:

- surface (utilitaire de calcul – bilan d'énergie simplifié)
- interface remblai/sol (simulation numérique)
- à la profondeur d'amplitude nulle, donc température du pergélisol (mesurée ou estimation à partir d'études ou relevés disponibles pour un site spécifique)

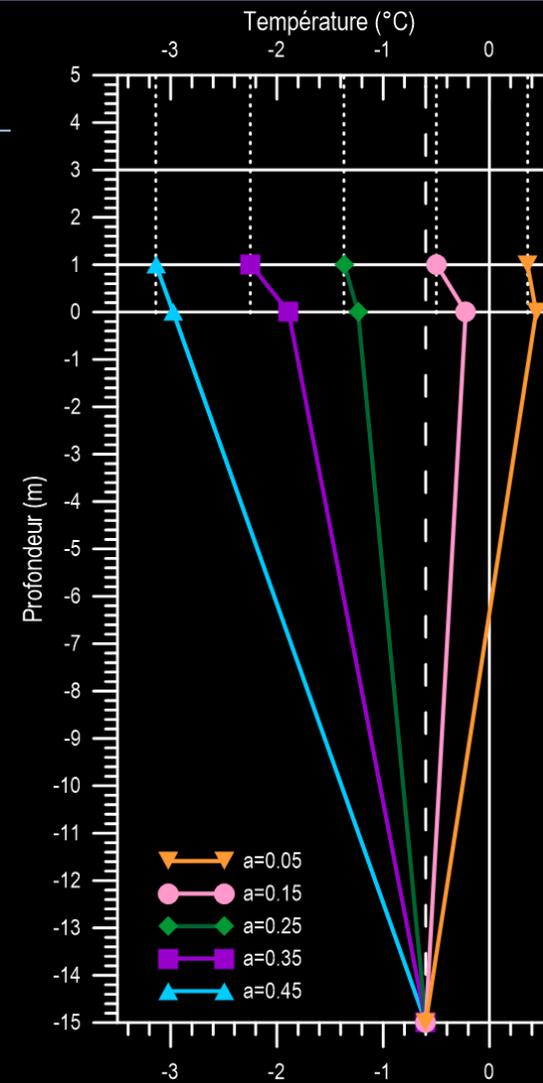
Données climatiques simplifiées:

- condition limite supérieure imposée au modèle et dictée par le bilan d'énergie simplifié

DÉVELOPPEMENT D'UNE ABAQUE

Simulations montrant l'influence de l'albédo et de la hauteur du remblai sur la température à l'interface remblai/sol (0 m)

- hauteur remblai : 1 m - 3 m - 5 m
- albédo de surface : 0,05 – 0,15 – 0,25 – 0,35 - 0,45



DÉVELOPPEMENT D'UNE ABAQUE

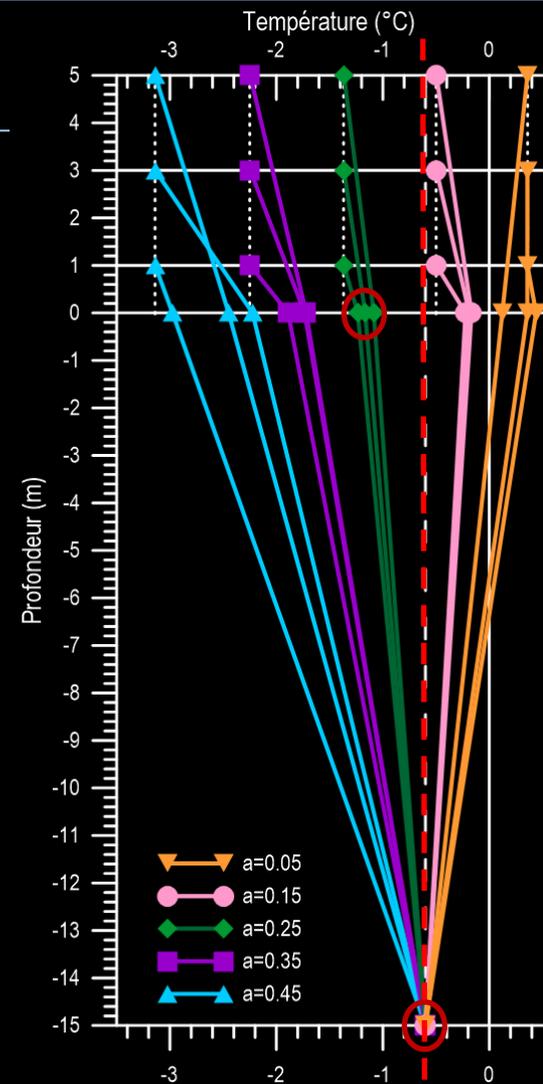
Simulations montrant l'influence de l'albédo et de la hauteur du remblai sur la température à l'interface remblai/sol (0 m)

- hauteur remblai : 1 m - 3 m - 5 m
- albédo de surface : 0,05 – 0,15 – 0,25 – 0,35 - 0,45

albédo faible (0,05) → remblai plus épais = influence positive

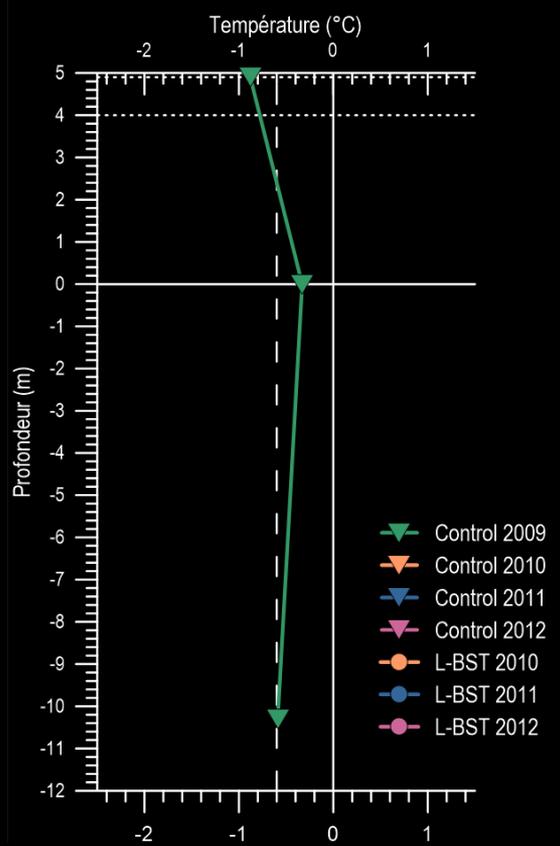
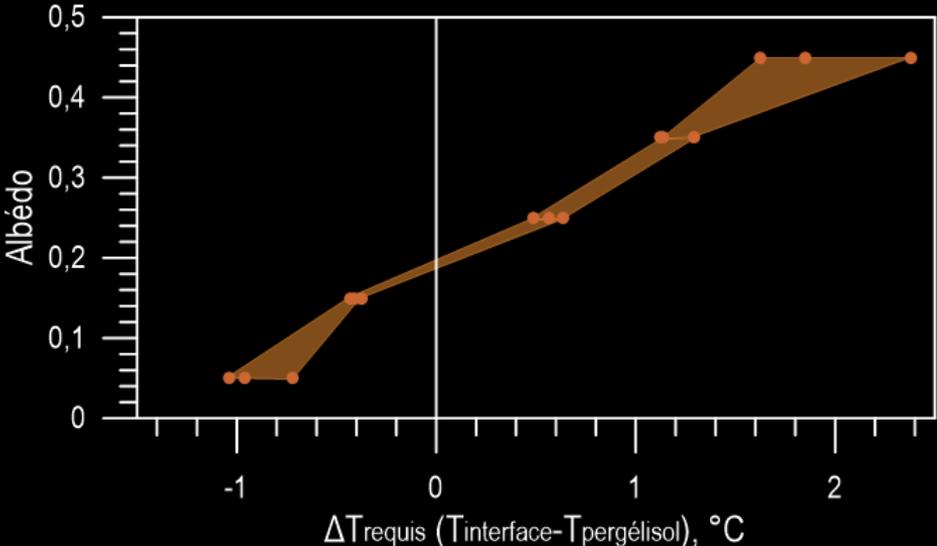
albédo élevé (0,45) → remblai mince (1 m) recommandé

pour ce cas, albédo de 0,25 est suffisant pour atteindre une stabilisation thermique car, température interface plus froide que température pergélisol



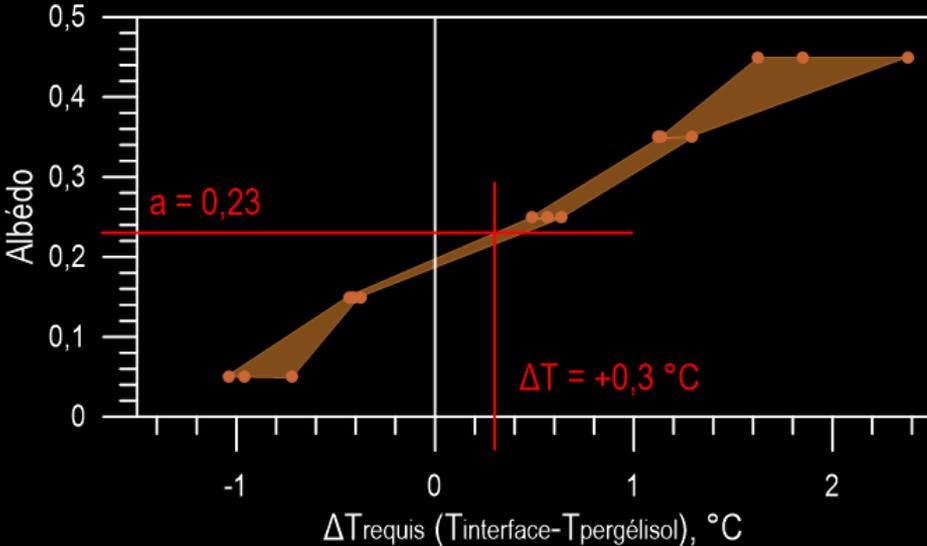
DÉVELOPPEMENT D'UNE ABAQUE

Relation entre la différence de température requise ($T_{interface} - T_{pergélisol}$) pour limiter l'apport de chaleur et stabiliser thermiquement le pergélisol

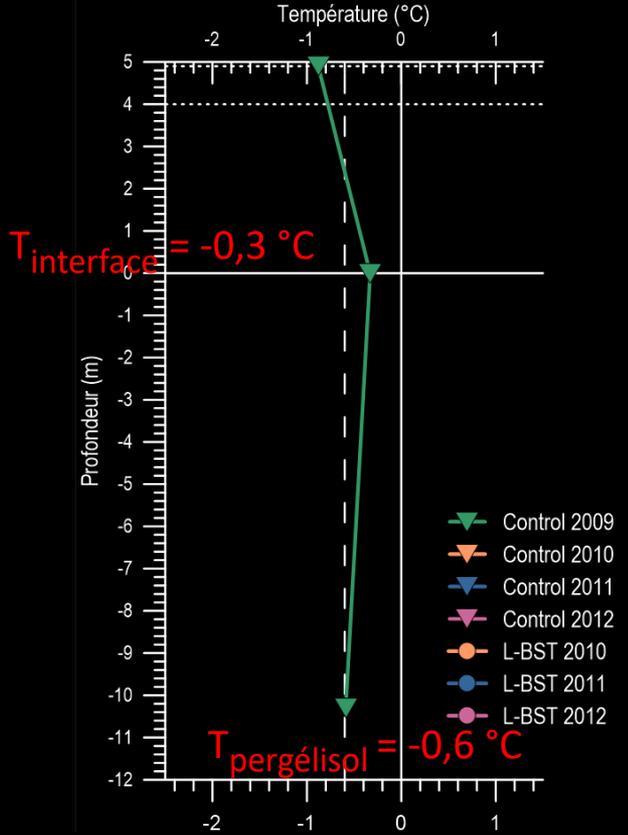


DÉVELOPPEMENT D'UNE ABAQUE

Relation entre la différence de température requise ($T_{interface} - T_{pergélisol}$) pour limiter l'apport de chaleur et stabiliser thermiquement le pergélisol



$\Delta T_{requis} = -0,3 + 0,6 = 0,3 \text{ °C}$



CONCLUSION

- Il existe une relation entre la température superficielle d'un revêtement routier et son albédo
- Un modèle simple de calcul des températures superficielles par le bilan d'énergie simplifié a été développé et validé pour plusieurs sites
(plusieurs outils de calcul proposés)
- Un cadre d'évaluation des surfaces à albédo élevé en laboratoire et in-situ a été proposé
(propriétés importantes et méthodes d'essai)
- Le modèle thermique développé est validé pour le cas de Beaver Creek
- À VENIR : simulations pour différents cas
(variation des températures de l'air et du pergélisol)

MERCI
À NOS PARTENAIRES
ET COLLABORATEURS

