



Projet Honor

Karine Rioux

Sous la supervision de M. Daniel Fortier

Utilisation d'abris thermo-réfléctifs pour prévenir
la dégradation du pergélisol

**CAS DE L'ALASKA HIGHWAY
BEAVER CREEK, YUKON**



MISE EN CONTEXTE

Réchauffement global



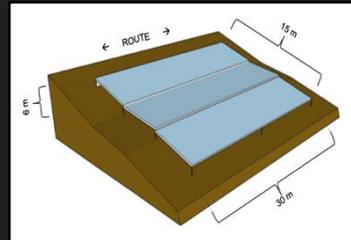
Instabilité du pergélisol

Instabilité des infrastructures



Techniques de mitigation

Abris thermo-réfectifs



Pertinence

- Ralentissement de la dégradation du pergélisol
- Sécurité
- Réduction des coûts d'entretien
- Peu d'études détaillées sur cette technique

OBJECTIFS ET HYPOTHÈSE

Question de recherche

Est-ce que l'utilisation d'abris thermo-réfléchifs sur la section « test » de l'Alaska Highway, près de Beaver Creek, Yukon, est une technique de mitigation qui permet de réduire la température moyenne annuelle du sol?

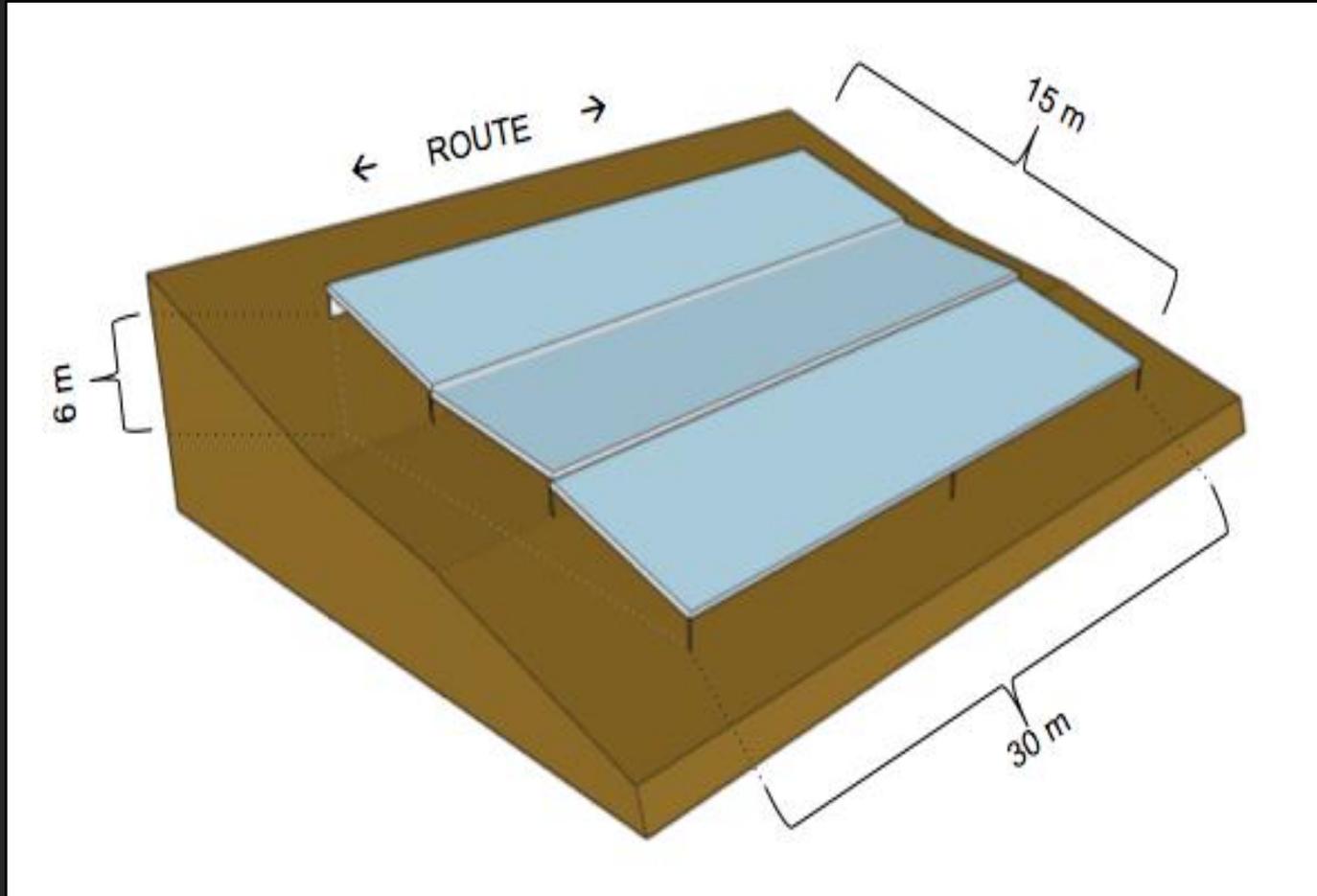
Hypothèse

L'utilisation de cette technique spécifique permet de réduire la température de surface

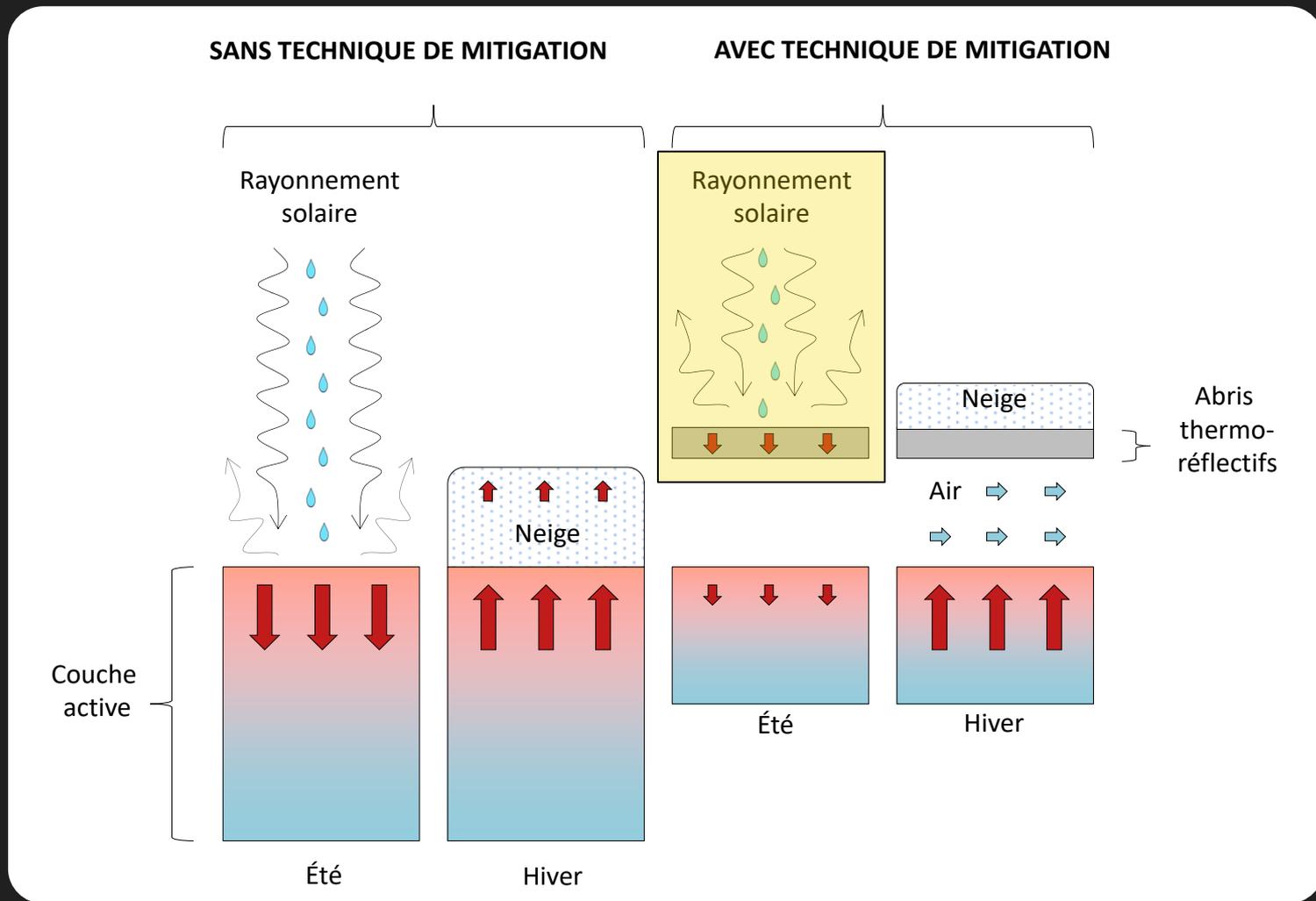
Objectifs

1. Déterminer le régime thermique estival et hivernal sous les deux abris thermo-réfléchifs
2. Comparer le régime thermique des abris thermo-réfléchifs et de la section de référence
3. Évaluer la performance thermique des abris thermo-réfléchifs

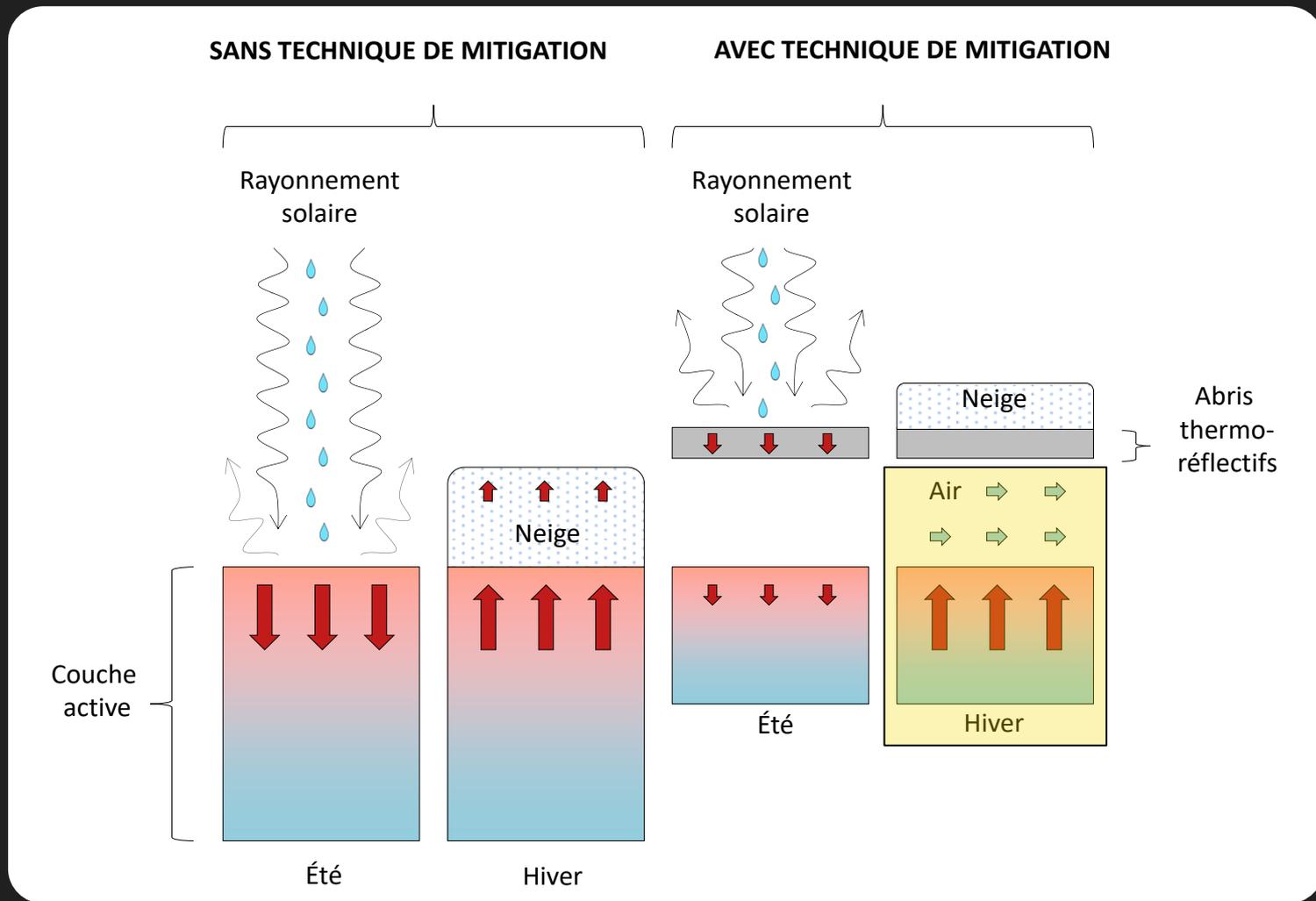
CADRE CONCEPTUEL



CADRE CONCEPTUEL



CADRE CONCEPTUEL



SITE D'ÉTUDE



Alaska Highway, YU

62°20' N
140°50' W

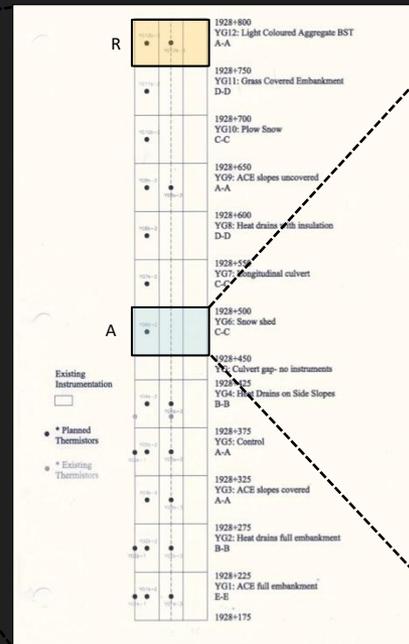
Entre Beaver Creek
et Haines Junction



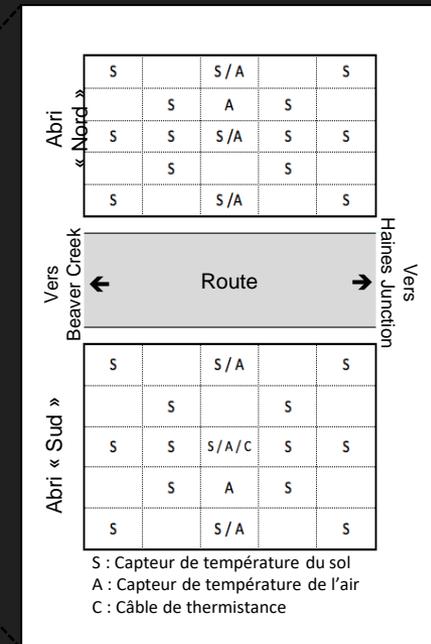
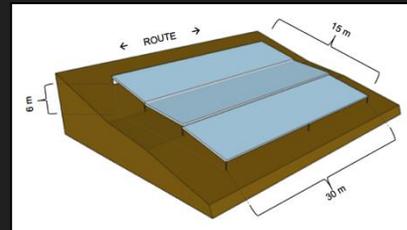
12 sections de 50 m

11 techniques
1 référence

Implantées en 2008
Abris T-R : 2010



Dimensions: 15 x 30m



Instrumentation:

15 capteurs (SOL)
4 capteurs (AIR)

1 câble thermistance
2 stations météorologiques

MÉTHODOLOGIE

Évaluation de la
qualité des données

Statistiques
descriptives

DDF-DDT

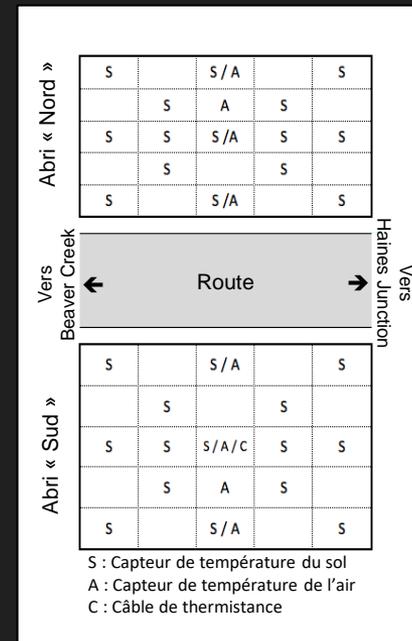
Gradient thermique
Air
Bas et haut de pente

Test de comparaison
de moyennes
Anova

Représentation
graphique

Objectif 1

Déterminer le régime thermique
estival et hivernal sous les deux abris
thermo-réfléctifs



MÉTHODOLOGIE

Évaluation de la
qualité des données

Statistiques
descriptives

DDF-DDT

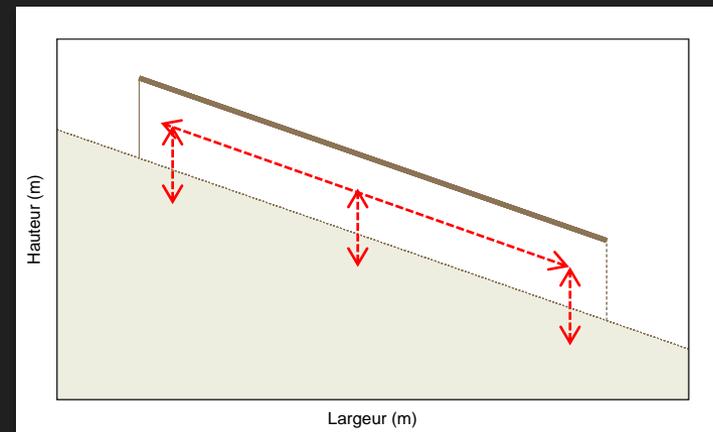
Gradient thermique
Air
Bas et haut de pente

Test de comparaison
de moyennes
Anova

Représentation
graphique

Objectif 1

Déterminer le régime thermique
estival et hivernal sous les deux abris
thermo-réfléctifs



MÉTHODOLOGIE

Évaluation de la
qualité des données

Statistiques
descriptives

DDF-DDT

Gradient thermique

Air

Bas et haut de pente

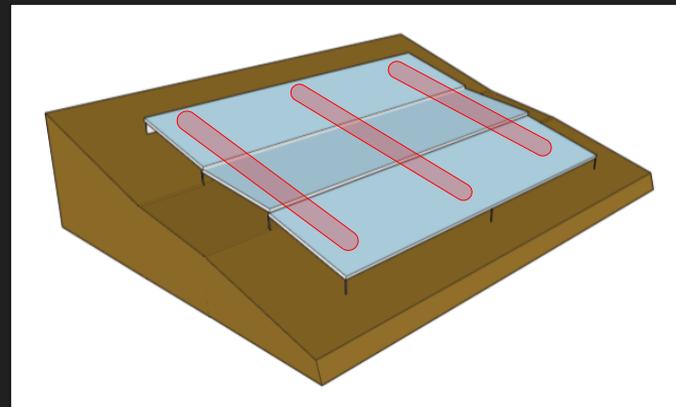
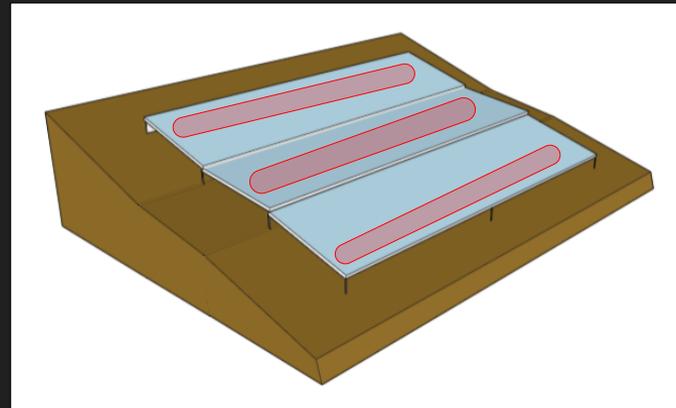
Test de comparaison
de moyennes

Anova

Représentation
graphique

Objectif 1

Déterminer le régime thermique
estival et hivernal sous les deux abris
thermo-réfléchissants



MÉTHODOLOGIE

Objectif 2

Comparer le régime thermique des
abris thermo-réfléctifs et de la
section de référence

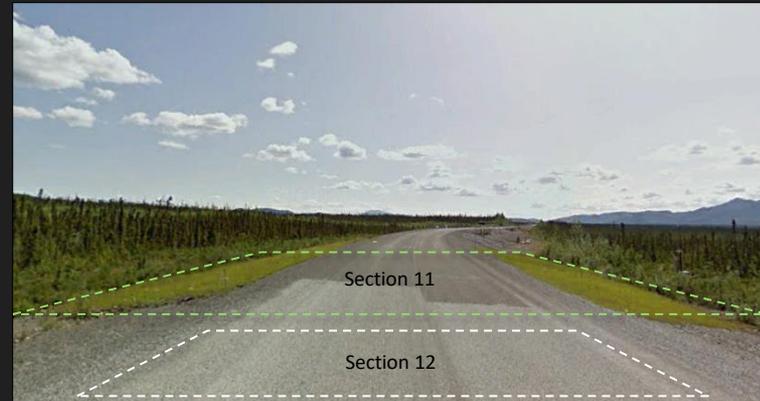
Choix d'une nouvelle
section de référence

Analyse de corrélation
croisée

DDF-DDT

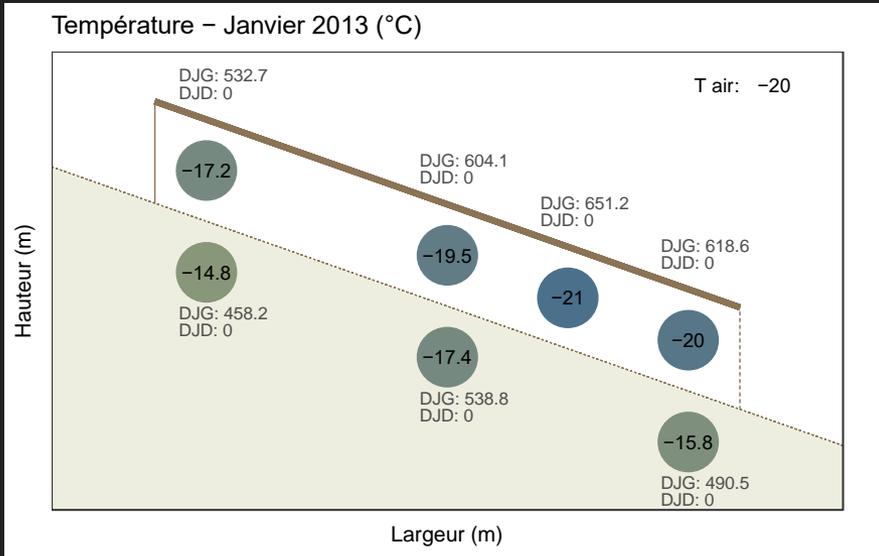
Représentation
graphique

Remblais végétalisés



Asphalte de couleur claire

RÉSULTATS: OBJECTIF 1



Bas de pente: **froid**
Haut de pente: **chaud**

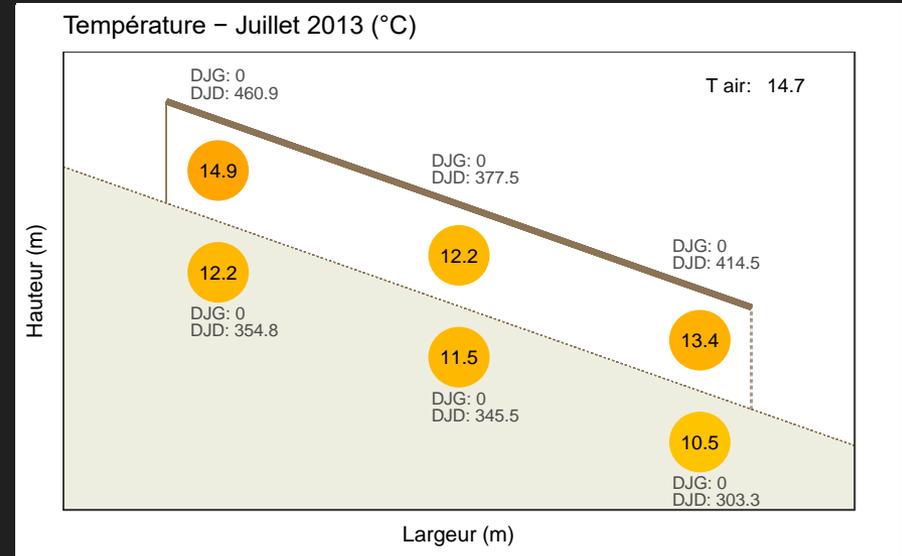
Gradients thermiques

Air: 0,20 °C/m

Bas de pente: 41,3 °C/m

Milieu de pente: 21,0 °C/m

Haut de pente: 24,0 °C/m



Bas de pente: **froid**
Haut de pente: **chaud**

Gradients thermiques

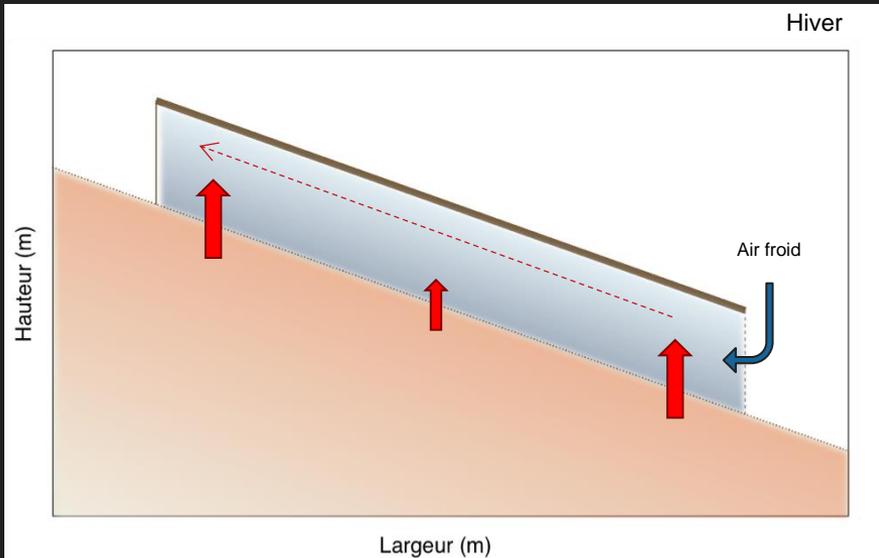
Air: 0,10 °C/m

Bas de pente: - 29,1 °C/m

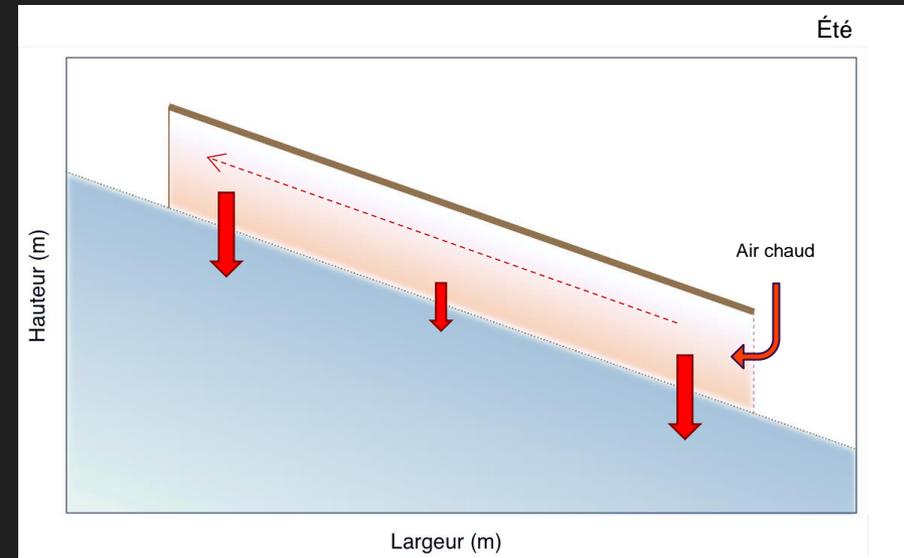
Milieu de pente: - 6,6 °C/m

Haut de pente: - 26,3°C/m

DISCUSSION: OBJECTIF 1



Septembre à mars: $T_{\text{sol}} > T_{\text{air}}$



Avril à août: $T_{\text{sol}} < T_{\text{air}}$

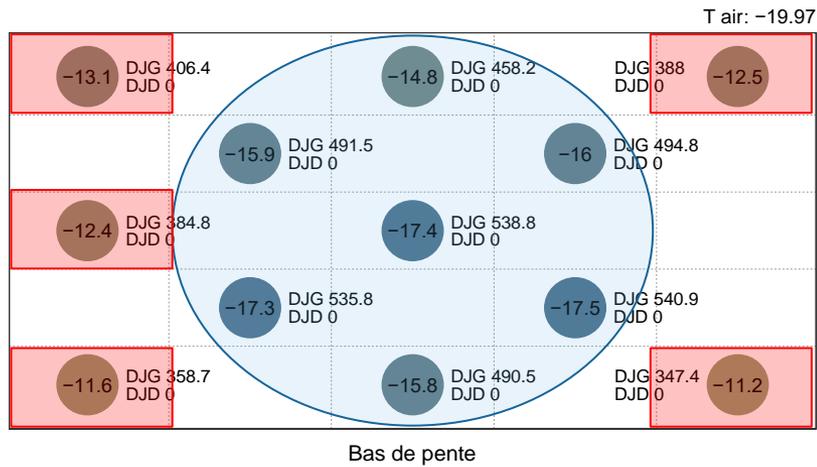
Gradients thermiques élevés dans les périodes de transition

Augmentation des températures = diminution des gradients thermiques

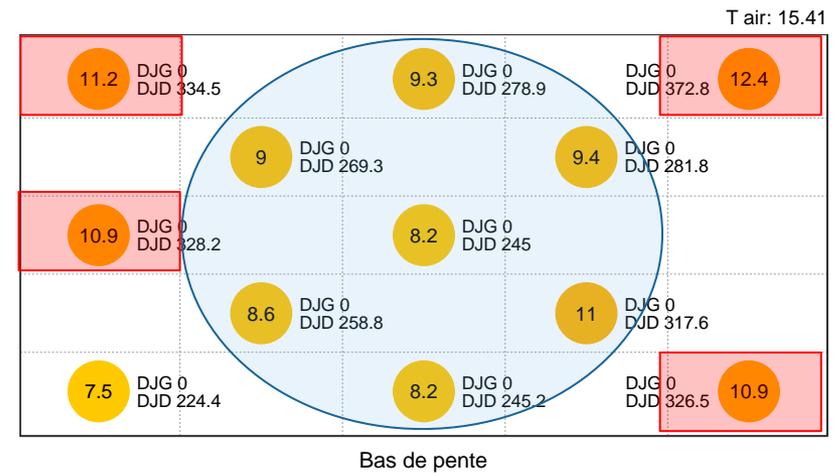
Diminution des températures = augmentation des gradients thermiques

RÉSULTATS: OBJECTIF 1 (SUITE)

Température – Janvier 2013 (°C)



Température – Juin 2013 (°C)



Zone centrale: **froid**
Périphérie : **chaud**

Zone centrale: **froid**
Périphérie : **chaud**

* Différence statistiquement significative
entre les différentes zones

Régimes thermiques
similaires pour les deux
abris thermo-réfléctifs

Test : ANOVA

	Oct. 2012	Nov. 2012	Déc. 2012	Jan. 2013	Fév. 2013	Mars 2013	Avr. 2013	Mai 2013	Juin 2013	Juil. 2013	Août 2013	Sept. 2013
p value	0,06	0,15	0,38	0,63	0,66	0,31	0,50	0,22	0,28	0,20	0,71	0,50

Notes : Hypothèse nulle : Les moyennes des deux échantillons sont significativement différentes

Hypothèse alternative : Les moyennes des deux échantillons ne sont pas significativement différentes

Conclusion : p value > 0,05 : rejet de l'hypothèse nulle

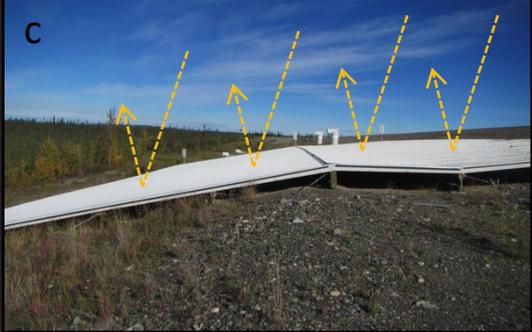
DISCUSSION: OBJECTIF 1 (SUITE)

Périphérie: Chaud

Zone centrale: froid

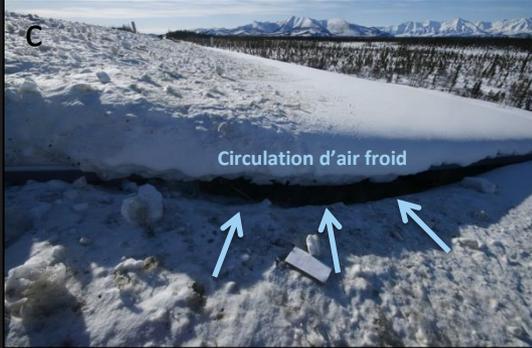
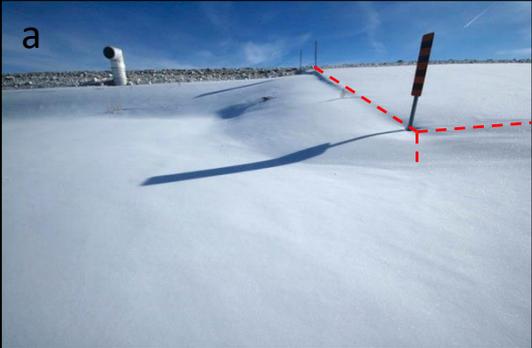
Été = Entrée d'air chaud

Été = Effet d'ombre



Hiver = Présence de neige

Hiver = Circulation d'air froid

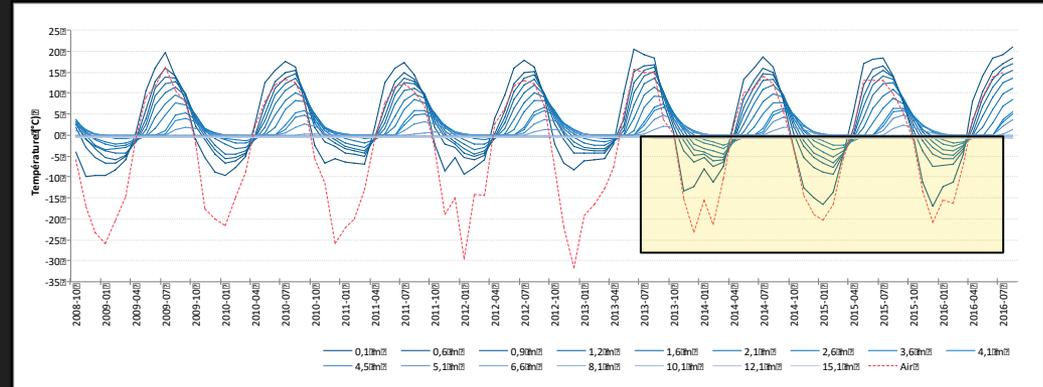
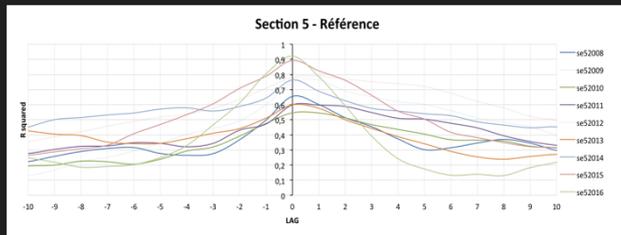


RÉSULTATS: OBJECTIF 2

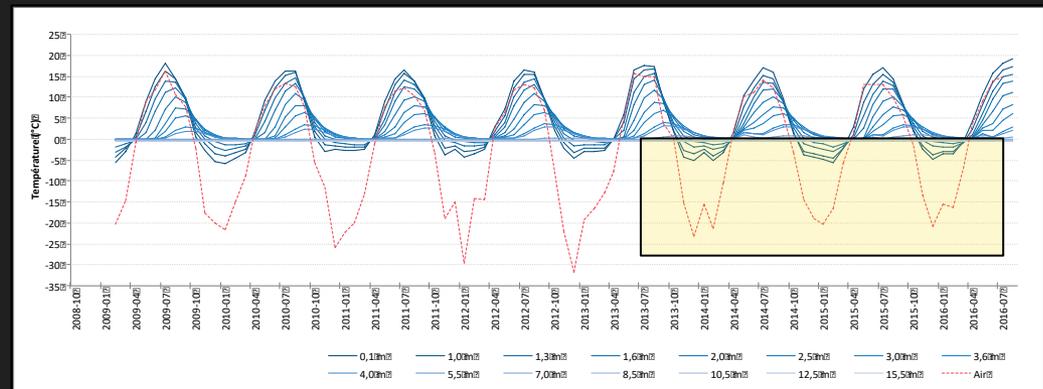
Rappel: Comparer le régime thermique des abris thermo-réfléctifs et de la section de référence

Section 5 – « Référence »

Changement à partir de 2014
Corrélation avec T air (hiver) ↑



Section 12 – Surface pâle



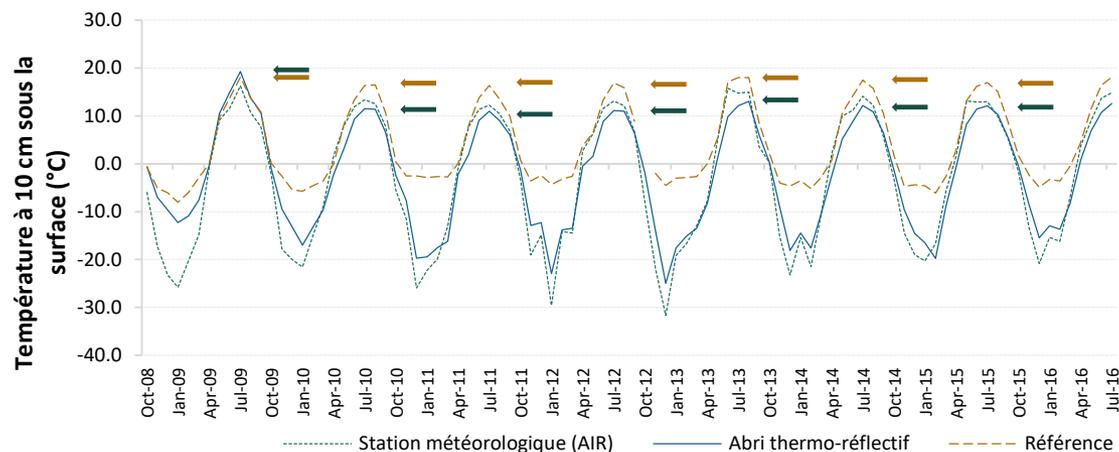
RÉSULTATS ET DISCUSSION: OBJECTIF 2

Section de référence

Été = $T_{\text{sol}} > T_{\text{air}}$
 Hiver = $T_{\text{sol}} < T_{\text{air}}$

Abris thermo-réfectifs

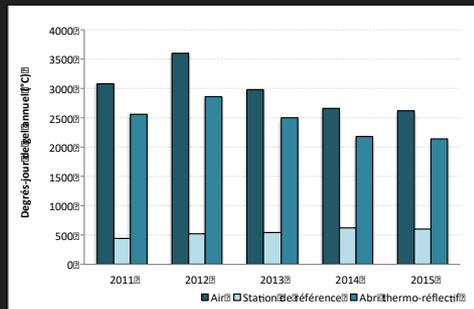
Été = $T_{\text{sol}} < T_{\text{air}}$
 Hiver = $T_{\text{sol}} \approx T_{\text{air}}$



Moyenne annuelle des températures

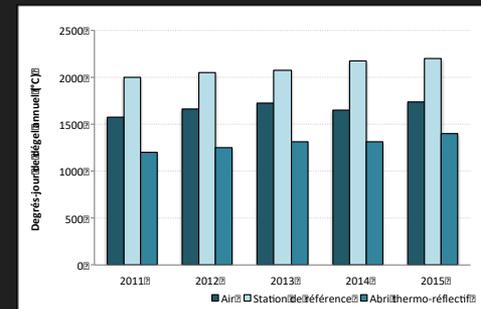
Abris thermo-réfectifs = $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Section de référence = $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Air = $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Différence annuelle de $\approx 7\text{ }^{\circ}\text{C}$



Année	Air	Station de référence	Abris thermo-réfectifs
2011	3090,0	451,9	2558,5
2012	3590,9	527,4	2867,5
2013	2979,2	551,0	2493,5
2014	2668,7	619,4	2176,1
2015	2616,7	597,6	2132,4

Notes : * Les données de température utilisées proviennent de la station météorologique implantée sur le site expérimental.
 ** Les analyses proviennent de données de températures prélevées à 10 cm sous la surface du sol.



Année	Air	Station de référence	Abris thermo-réfectifs
2011	1580,9	1997,6	1204,7
2012	1657,6	2051,7	1252,9
2013	1728,5	2080,6	1315,4
2014	1652,2	2169,3	1309,6
2015	1734,8	2194,1	1396,6

Notes : * Les données de température utilisées proviennent de la station météorologique implantée sur le site expérimental.
 ** Les analyses proviennent de données de températures prélevées à 10 cm sous la surface du sol.

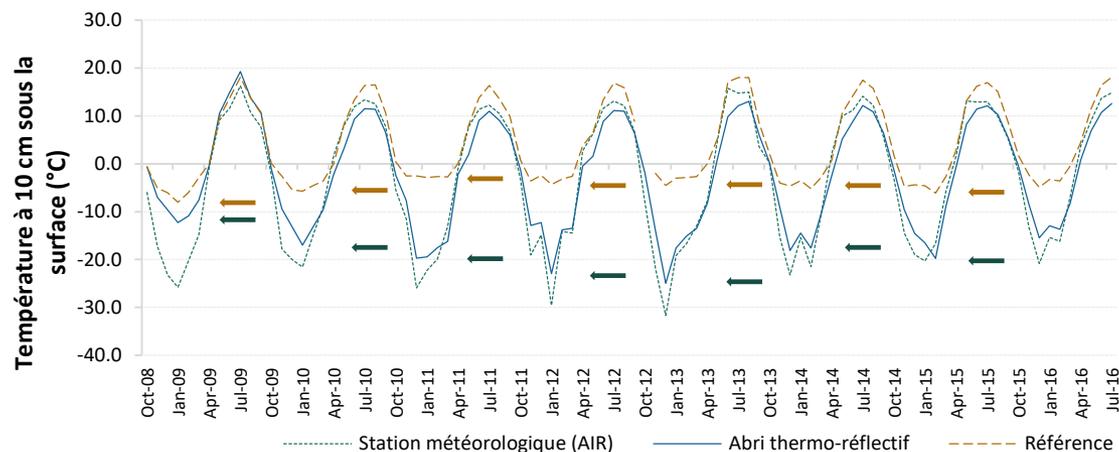
RÉSULTATS ET DISCUSSION: OBJECTIF 2

Section de référence

Été = $T_{\text{sol}} > T_{\text{air}}$
 Hiver = $T_{\text{sol}} < T_{\text{air}}$

Abris thermo-réfléctifs

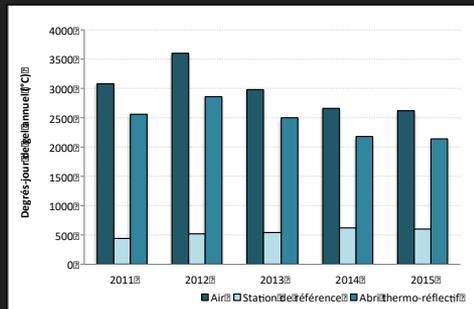
Été = $T_{\text{sol}} < T_{\text{air}}$
 Hiver = $T_{\text{sol}} \approx T_{\text{air}}$



Moyenne annuelle des températures

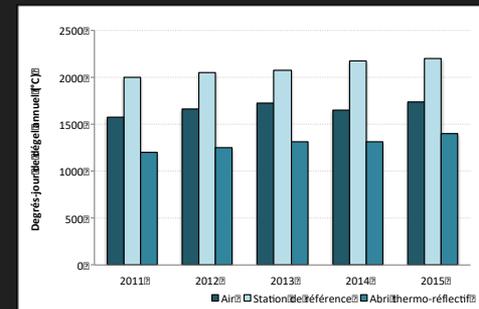
Abris thermo-réfléctifs = $-3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Section de référence = $4,2\text{ }^{\circ}\text{C}$
 Air = $-3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Différence annuelle de $\approx 7\text{ }^{\circ}\text{C}$



Année	Air	Station de référence	Abris thermo-réfléctifs
2011	3090,0	451,9	2558,5
2012	3590,9	527,4	2867,5
2013	2979,2	551,0	2493,5
2014	2668,7	619,4	2176,1
2015	2616,7	597,6	2132,4

Notes : * Les données de température utilisées proviennent de la station météorologique implantée sur le site expérimental.
 ** Les analyses proviennent de données de températures prélevées à 10 cm sous la surface du sol.



Année	Air	Station de référence	Abris thermo-réfléctifs
2011	1580,9	1997,6	1204,7
2012	1657,6	2051,7	1252,9
2013	1728,5	2080,6	1315,4
2014	1652,2	2169,3	1309,6
2015	1734,8	2194,1	1396,6

Notes : * Les données de température utilisées proviennent de la station météorologique implantée sur le site expérimental.
 ** Les analyses proviennent de données de températures prélevées à 10 cm sous la surface du sol.

CONCLUSION

Validation de l'hypothèse

L'utilisation de cette technique spécifique permet de réduire la température de surface.

Améliorations

Permettre l'évacuation de l'air dans le haut des remblais
Assurer une circulation de l'air en tout temps (hiver)

Portée

Compréhension fine des transferts de chaleur
Performance potentielle dans les zones critiques
Expérimentation de la technique à large échelle