

DÉVELOPPEMENT D'UN CAROTTIER POUR LA CARACTÉRISATION IN-SITU DU PERGÉLISOL



CÉDRIC FLÉCHEUX MSc., INGÉNIEUR EN CONCEPTION DE
PROJETS, TOYOTA BOSHOKU EUROPE NV, BELGIQUE

GUY DORÉ ing. PhD, PROFESSEUR, CEN, UNIVERSITÉ LAVAL

LOUIS GOSSELIN ing. PhD., UNIVERSITÉ LAVAL

Collaboration

Jean Ruel et son équipe, Atelier du
département de Génie mécanique, Université
Laval



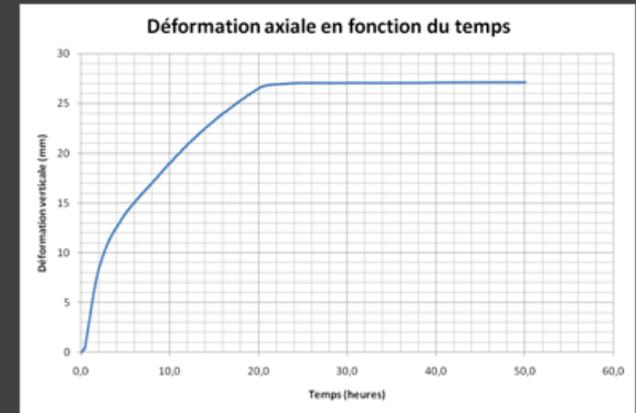
Problèmes majeur en régions de pergélisol:

- Tassement au dégel
- Comportement mécanique du sol lors du dégel



Pour la caractérisation géotechnique des pergélisols:

- Carottage de sols gelés
- Essais de consolidation au dégel en laboratoire



Transport des échantillons gelés du site au laboratoire



Transport des échantillons gelés du site au laboratoire



1) Echantillonnage de sol gelé

+

2) Maintien des échantillons gelés pendant le transport



Transport des échantillons gelés du site au laboratoire



1) Echantillonnage de sol gelé

+

2) Maintien des échantillons gelés pendant le transport



→ Complexe

→ Couteux

→ Long

Améliorer la capacité à caractériser le pergélisol sensible au dégel en développant un carottier capable de réaliser des essais in situ de consolidation de dégel.

Essai de
consolidation

- Tassement de dégel sous une charge donnée
- Vitesse de consolidation (rapidité)

Essai de
consolidation

- Tassement de dégel sous une charge donnée
- Vitesse de consolidation (rapidité)

Equipement de
forage

- Foreuse légère et portable
- Forage à sec

Essai de
consolidation

- Tassement de dégel sous une charge donnée
- Vitesse de consolidation (rapidité)

Équipement de
forage

- Foreuse légère et portable
- Forage à sec

Forages

- Sols riches en glace
- Profondeur de travail (pergélisol) atteinte par tubage (max 2m)

Essai de consolidation

- Tassement de dégel sous une charge donnée
- Vitesse de consolidation (rapidité)

Équipement de forage

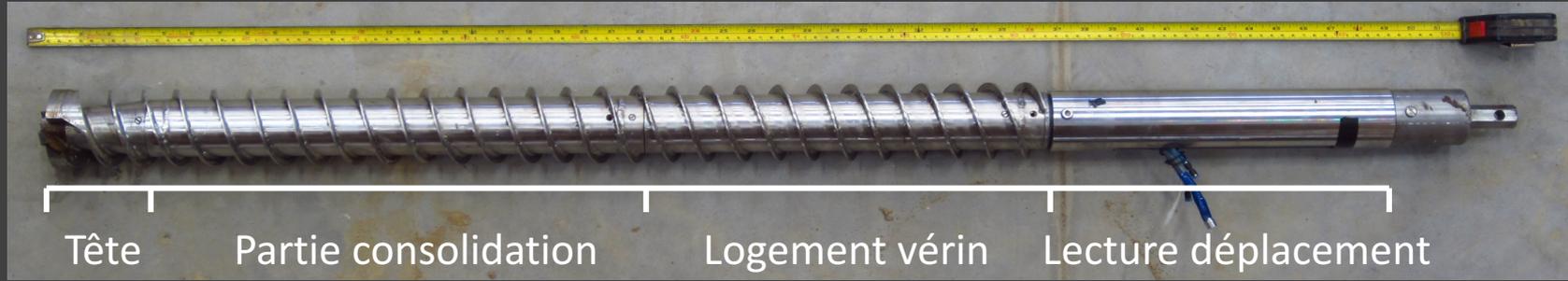
- Foreuse légère et portable
- Forage à sec

Forages

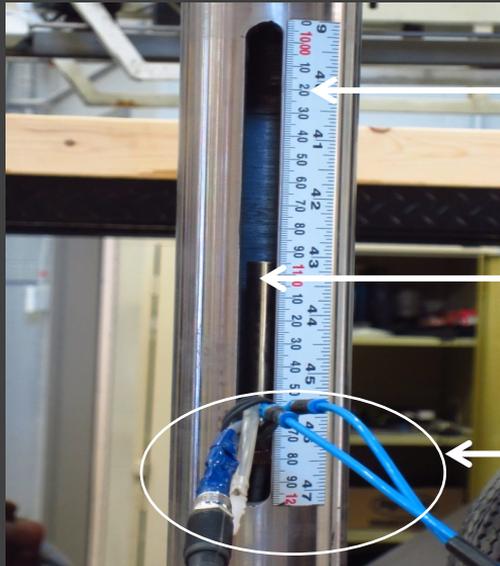
- Sols riches en glace
- Profondeur de travail (pergélisol) atteinte par tubage (max 2m)

Aspect pratique

- Facilité d'entretien



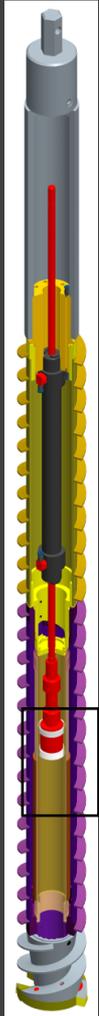
Siage et découpe par copeaux



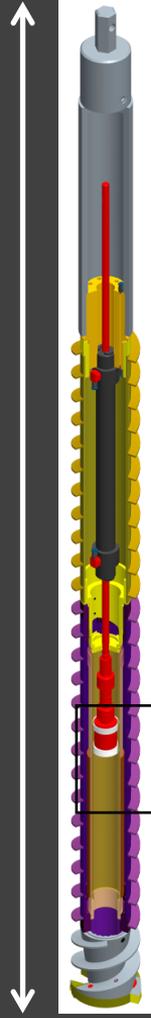
Vernier

Tige du vérin

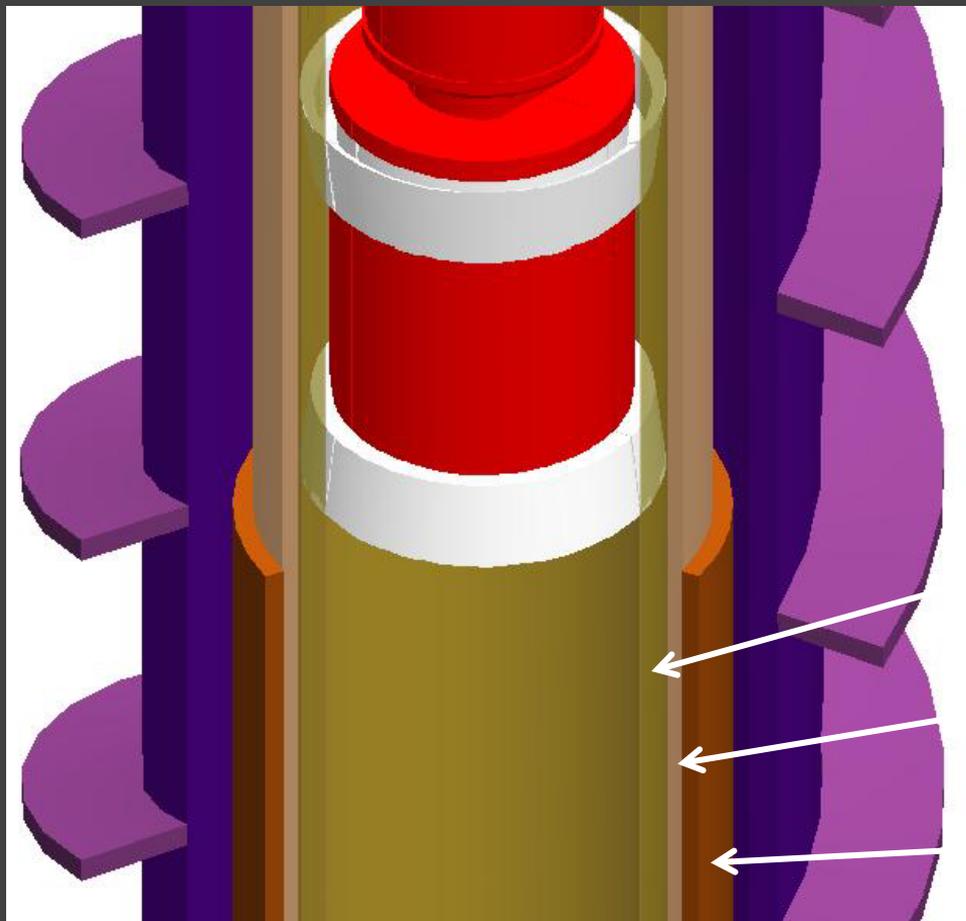
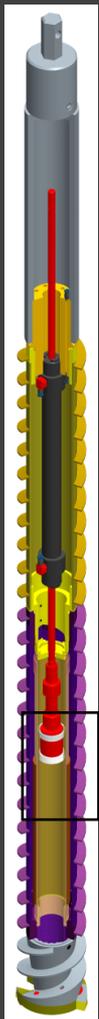
Connexions électriques,
pneumatique et évacuation
eau drainée



1,3 m



1,3 m

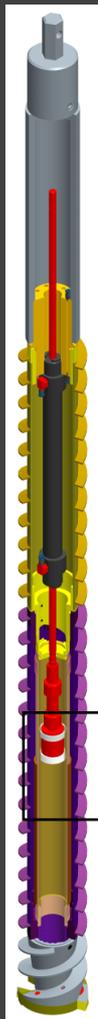


Filtre en inox poreux

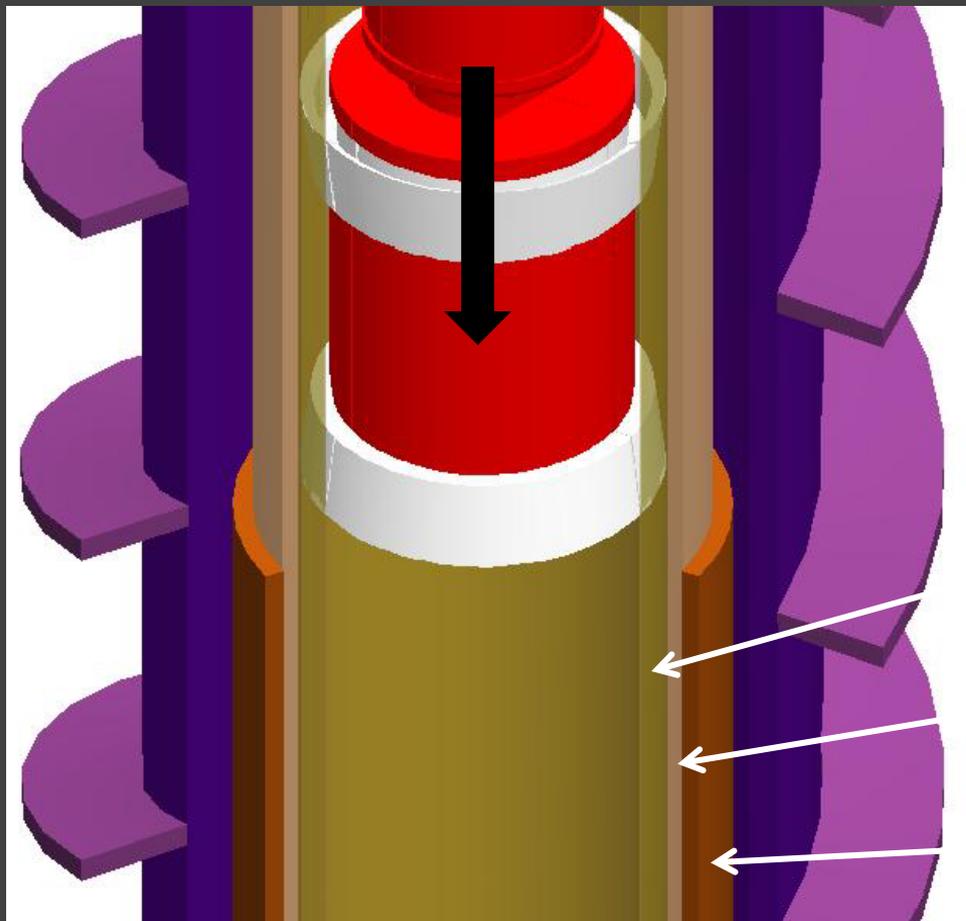
Tube d'étanchéité

Élément chauffant électrique

1,3 m



Chargement

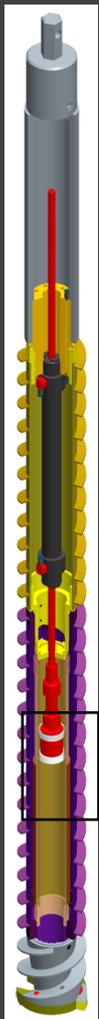


Filtre en inox poreux

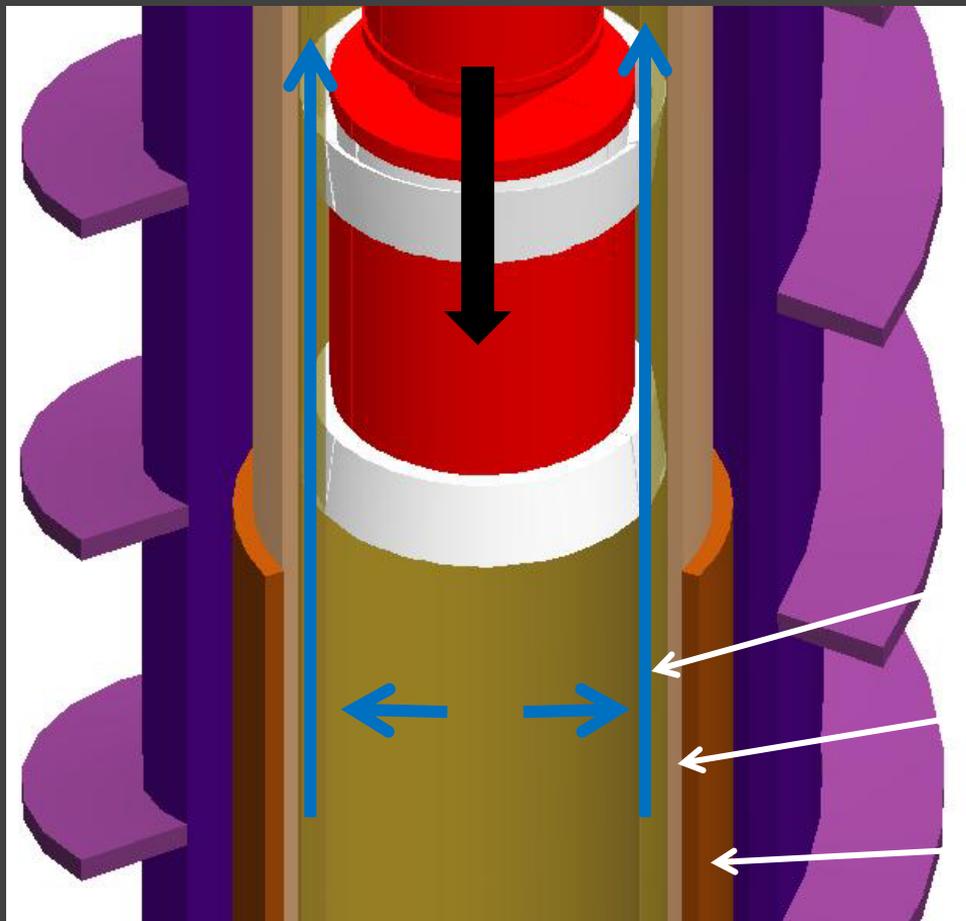
Tube d'étanchéité

Élément chauffant électrique

1,3 m



Chargement

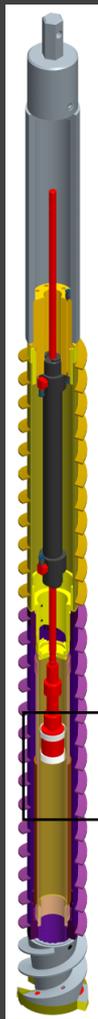


Filtre en inox poreux

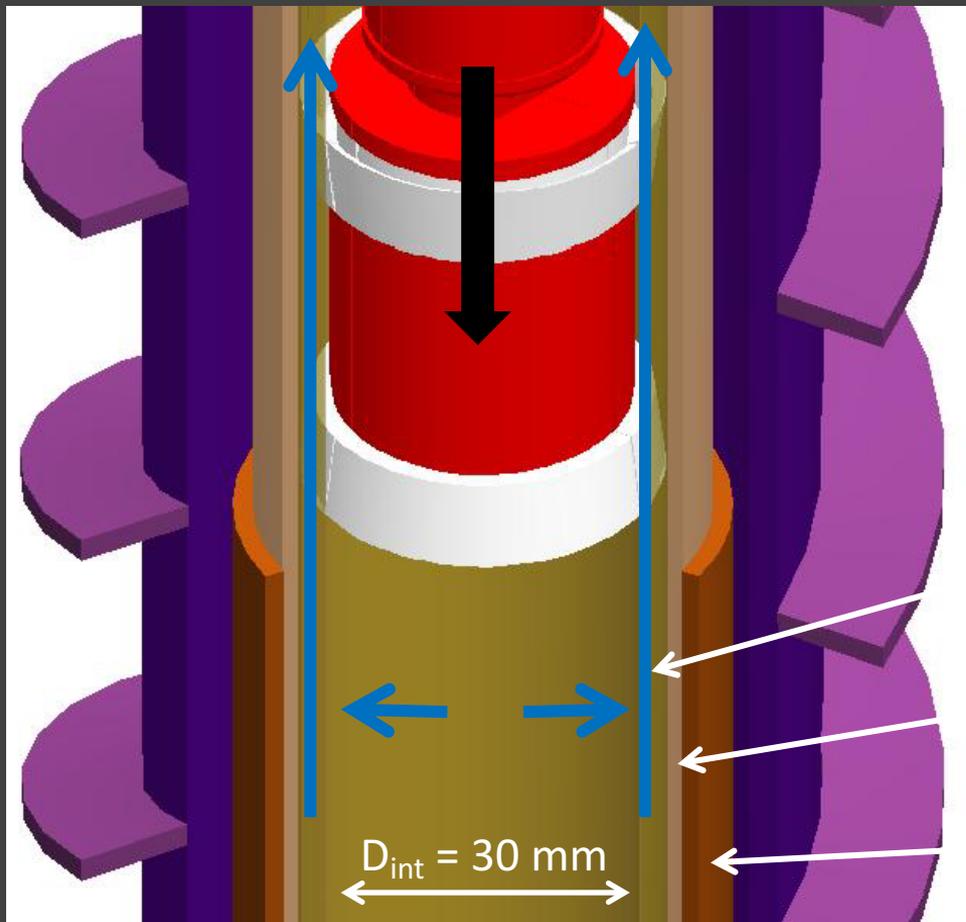
Tube d'étanchéité

Élément chauffant électrique

1,3 m



Chargement



Filtre en inox
poreux

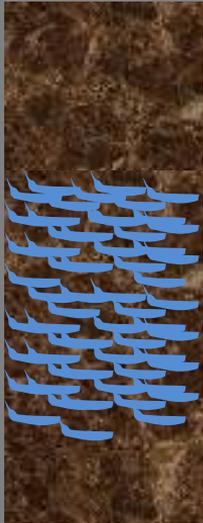
Tube d'étanchéité

Élément chauffant
électrique

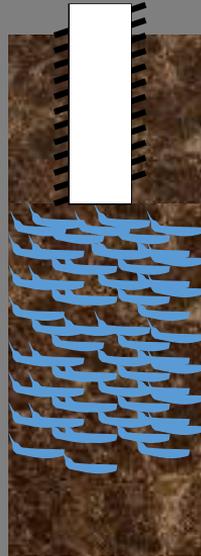
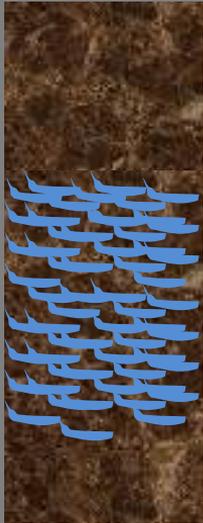
$D_{int} = 30 \text{ mm}$

$D_{ext} = 76 \text{ mm}$

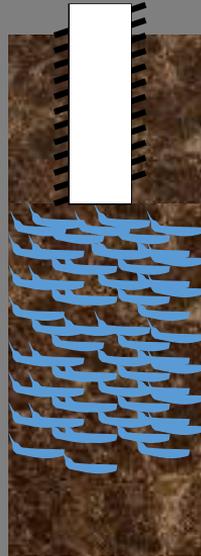
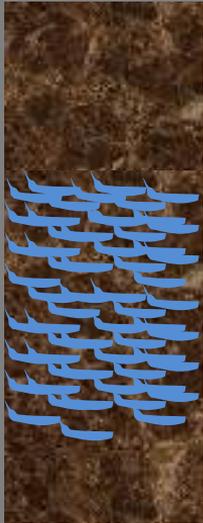
PROTOTYPE – PRINCIPE D'UTILISATION



Tubage

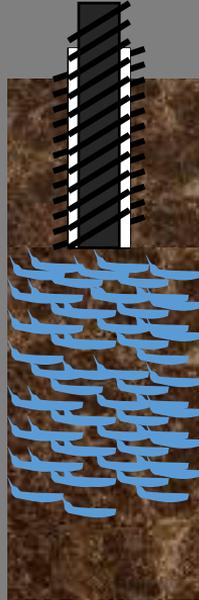
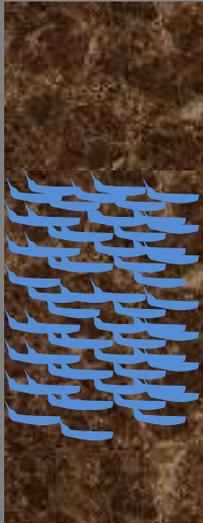


Tubage

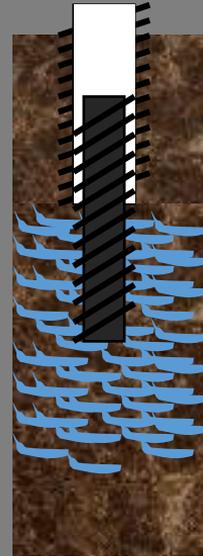


PROTOTYPE – PRINCIPE D'UTILISATION

Tubage

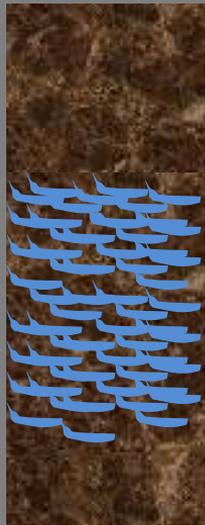


Carottage
Essai

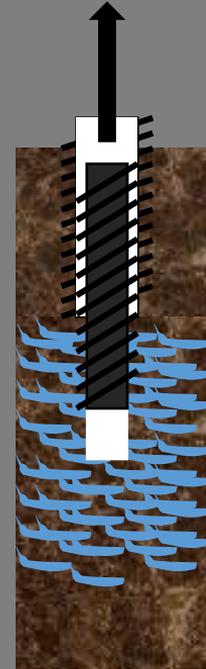
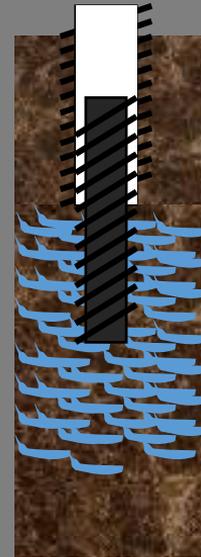


PROTOTYPE – PRINCIPE D'UTILISATION

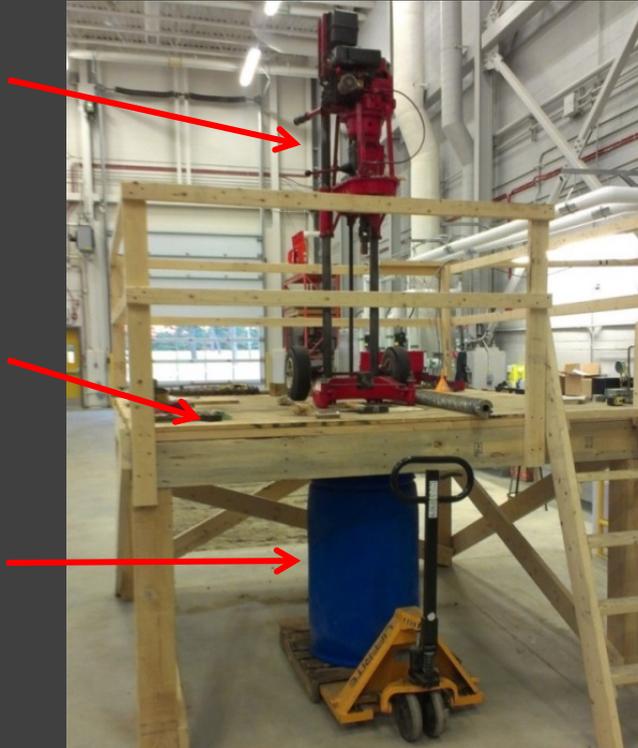
Tubage



Carottage
Essai



Foreuse
Minuteman



Plateforme

Baril de sol

Tests en laboratoire sur des sols fins (silt) et grossiers (sable) avec lentilles de glace reconstituées.

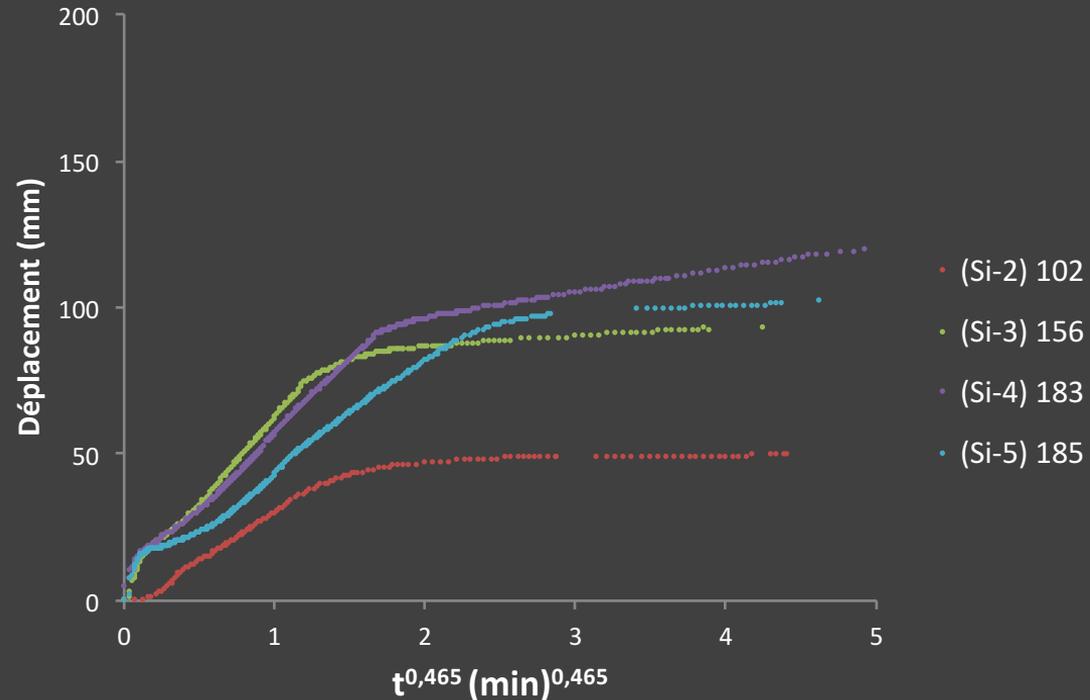
Constitution des barils

	Silt	Sable
Epaisseur moyenne lentilles glace	4,6 cm	2,2 cm
Epaisseur moyenne couches de sol	7,4 cm	4,3 cm
% glace en excès	40%	33 %

Pour drainage radial : déplacement en fonction du temps^{0,465} (McKinley,1961)



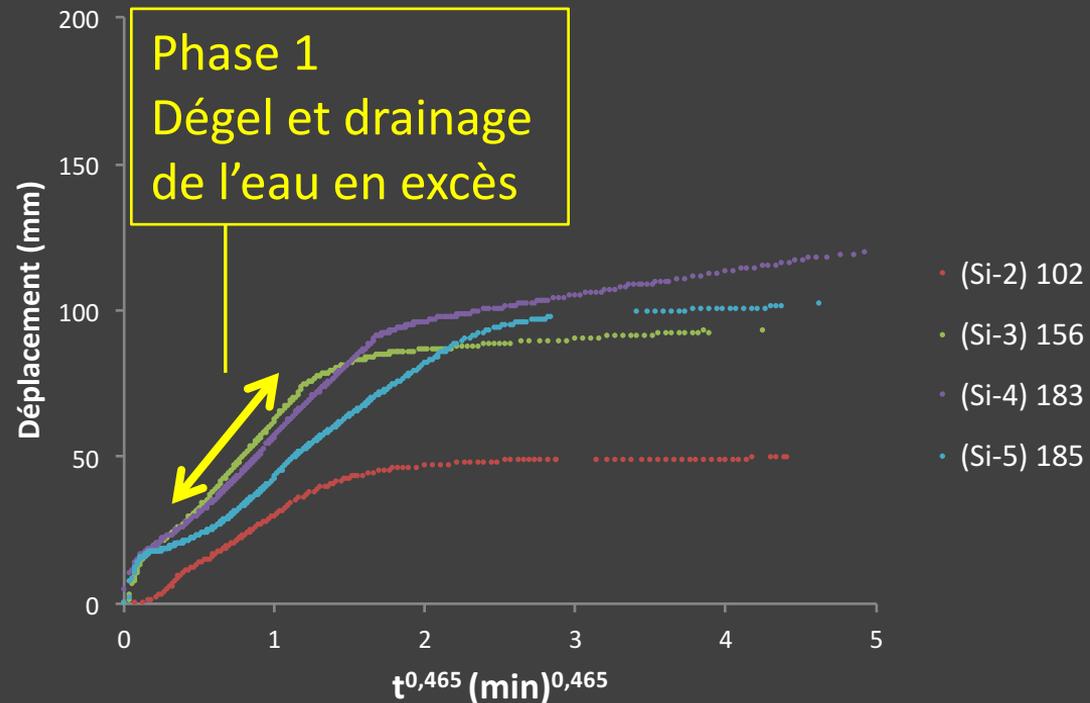
Chargement de 168 kPa après fonte



Pour drainage radial : déplacement en fonction du temps^{0,465} (McKinley,1961)



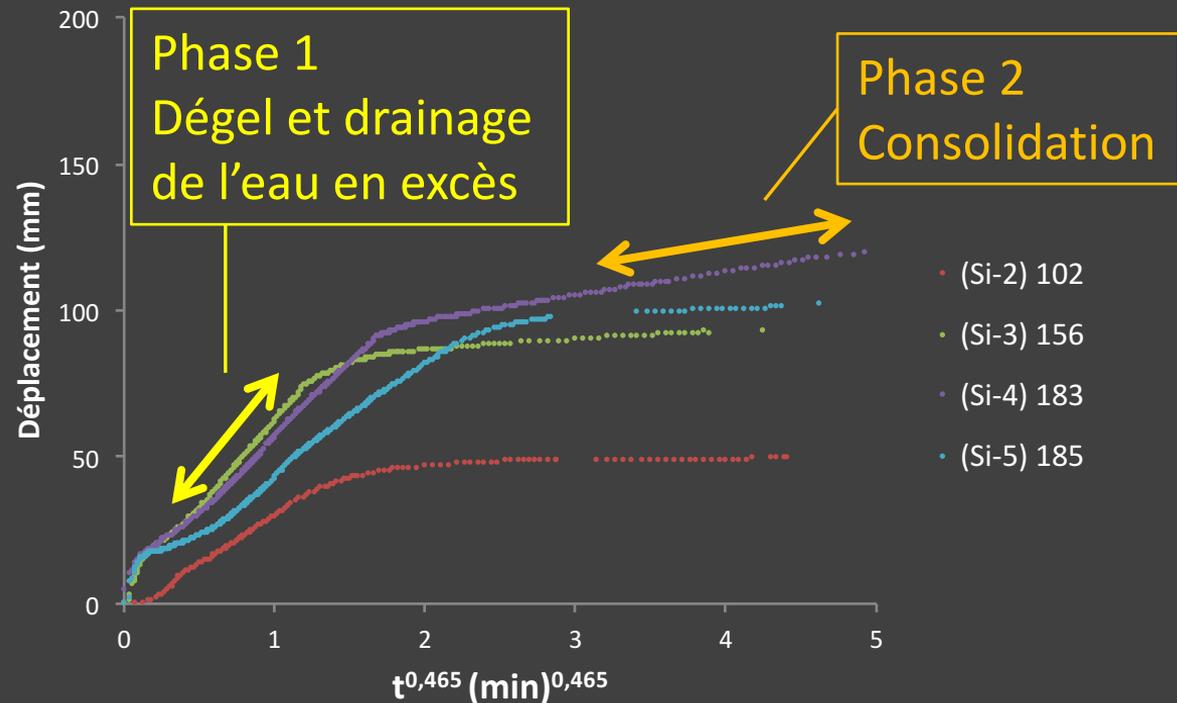
Chargement de 168 kPa après fonte



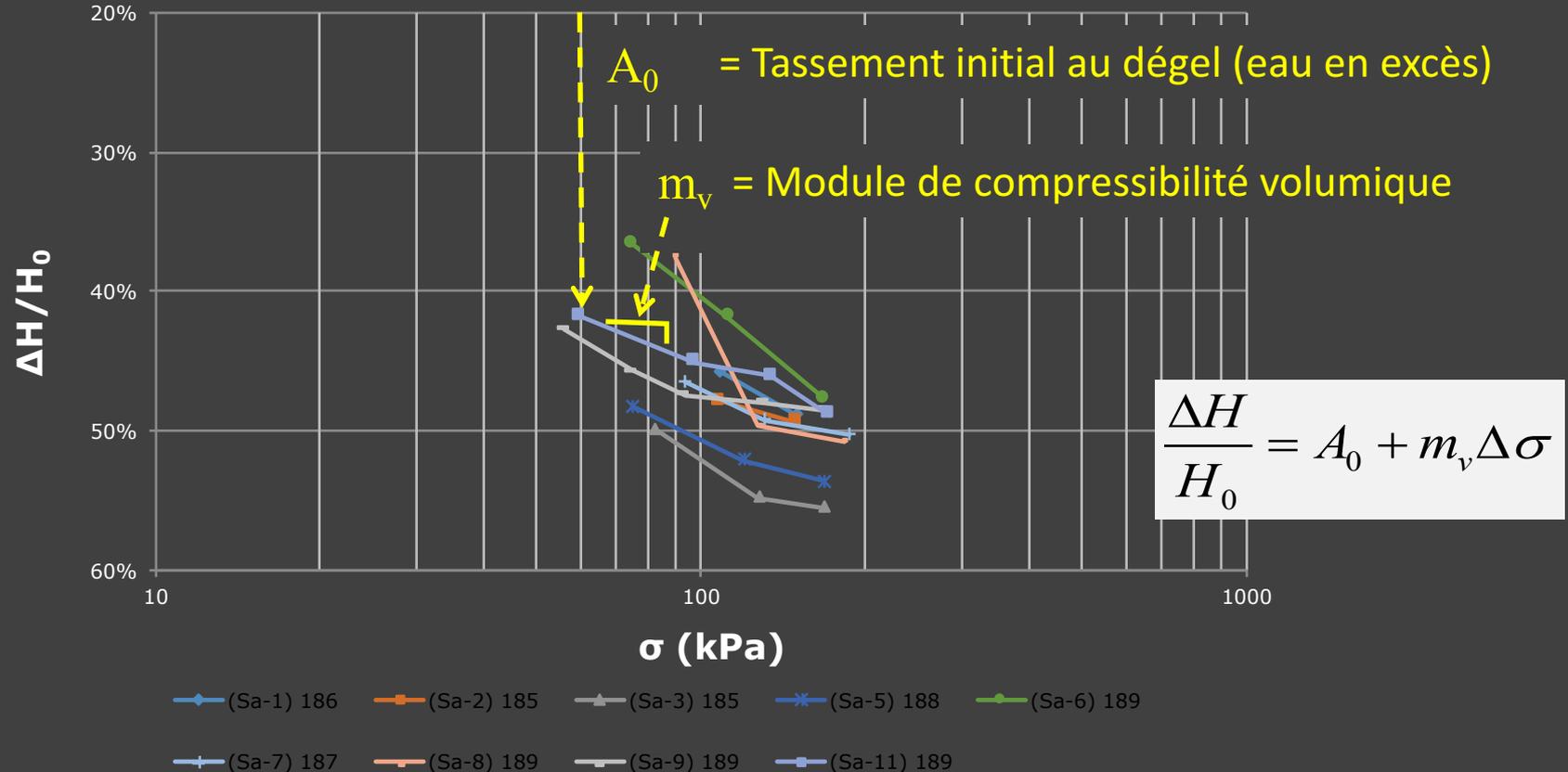
Pour drainage radial : déplacement en fonction du temps^{0,465} (McKinley,1961)



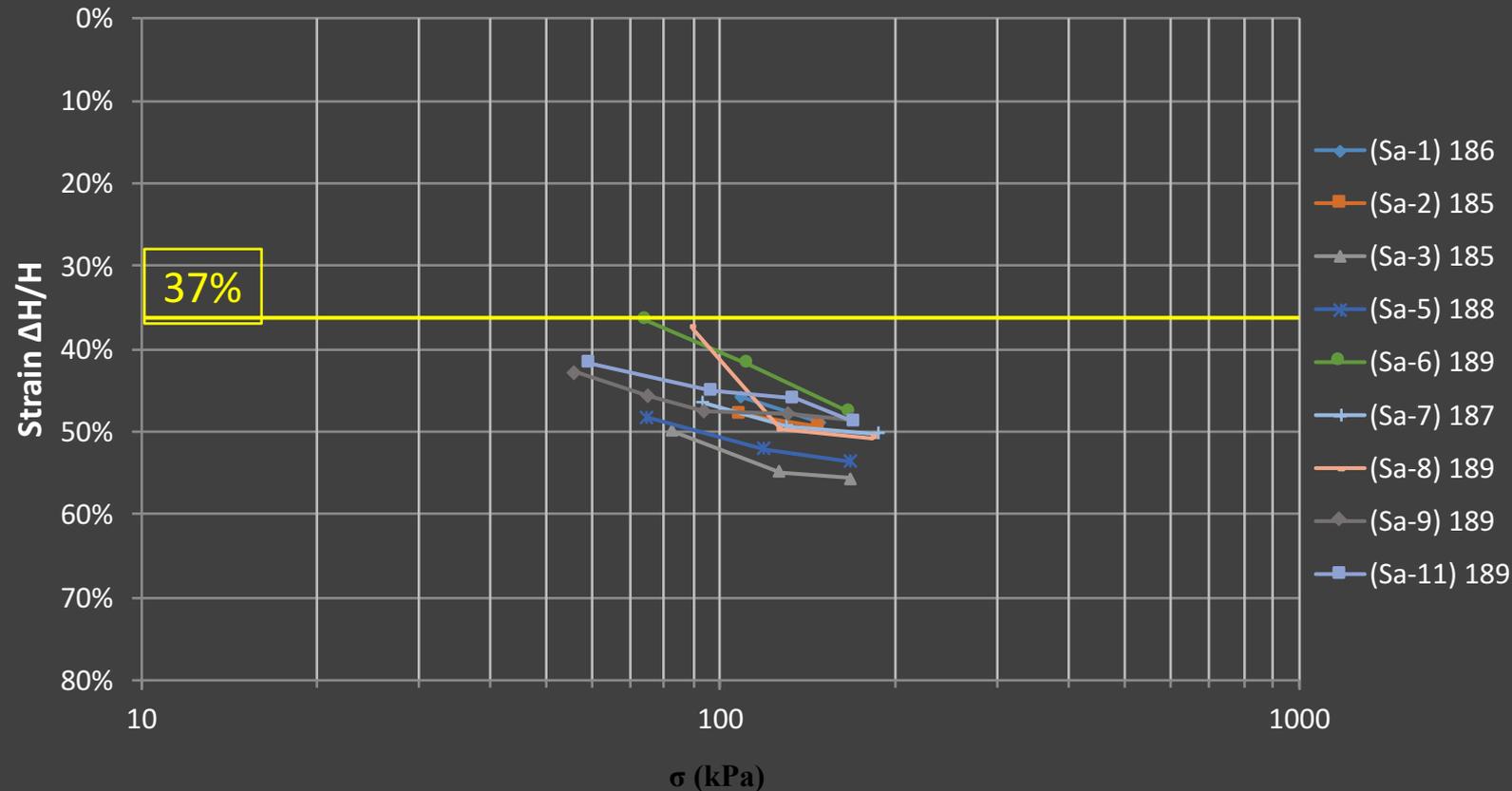
Chargement de 168 kPa après fonte



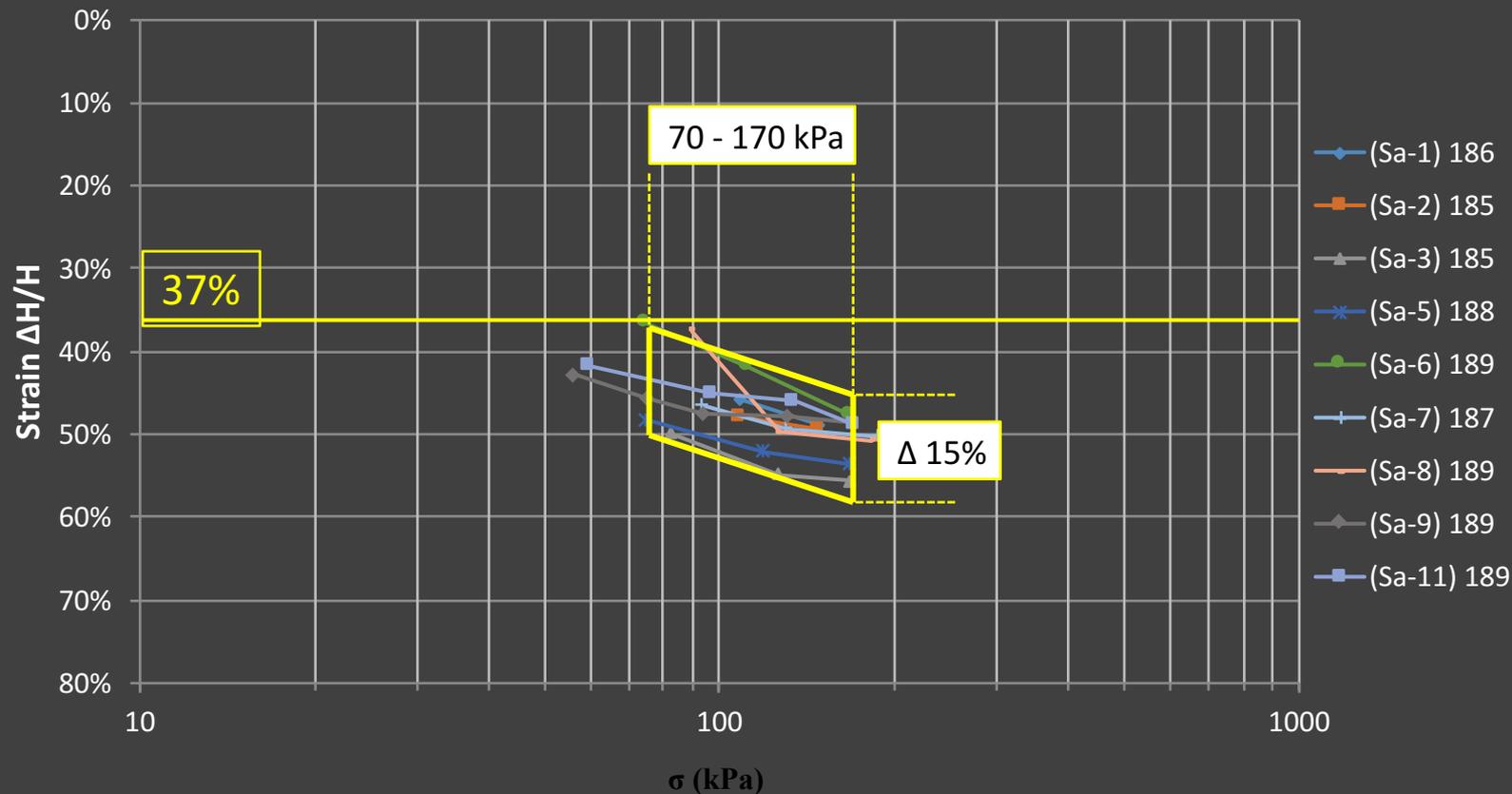
Déplacement relatif en fonction de la charge appliquée sur un échantillon de sable avec lentilles de glace.



Chargement par paliers – Seuils à $\sigma_{\text{frottements}}$



Chargement par paliers – Seuils à $\sigma_{\text{frottements}}$



Tassement dû au drainage de l'eau en excès

- +/- 10% d'erreur relative

Vitesse de consolidation

- Problèmes d'enregistrement des données (manuel)

Indice de compression modifié $C_{c\varepsilon}$ (série 2)

- Semble surestimé : validation des résultats par essais œdométrique standard
- Influence des frottements : limite la plage de chargement obtenue

Le prototype développé permet des essais in situ de consolidation au dégel :

- rapides et selon des chargements verticaux donnés
- estimation des propriétés du sol tels A_0 , m_v and C_{ce}

Performances du carottier : essais de consolidation

- Évaluation du tassement au dégel pour un chargement donné
- Estimation du C_{ce}
- Vitesse de consolidation : envisageable

Améliorations

- Gestion du frottement
- Lecture du déplacement
- Routine de nettoyage

Prochaine étape: Validation sur le terrain

Le carottier oedométrique a été qualifié de “**percée majeure dans l'ingénierie du pergélisol**” à la Conférence internationale sur l'ingénierie des régions froides en 2015.

Collaboration entre l'université Laval (génie mécanique) et des partenaires Arquluk permettra d'apporter les **ajustements** finaux au prototype et de faire des **essais sur le terrain**.

La technologie est protégée par un **brevet** canadien et le produit finale sera **manufacturé** et **commercialisé**.

MERCI
À NOS PARTENAIRES
ET COLLABORATEURS

