

Investigation microstructurale de la métamorphose de la neige avec le *SnowMicroPenetrometer*



Bruno Poirier

Stage de fin d'étude en génie mécanique à l'École
de Technologie Supérieure de Montréal
(18 janvier au 18 mai 2018)

Encadrants : Isabel Peinke et Pascal Hagenmuller

Résumé

- Le SMP capte-t-il des changements dans la microstructure ?
- 2 échantillons → 2 types de gradients
- différentes manières de traiter le signal pour mieux le comprendre

Plan de présentation

1. Le SMP

- a. Description
- b. Méthode d'interprétation du signal
- c. Améliorations

2. Méthode expérimentale

- a. But
- b. Appareils
- c. Résultats

3. Analyse des résultats

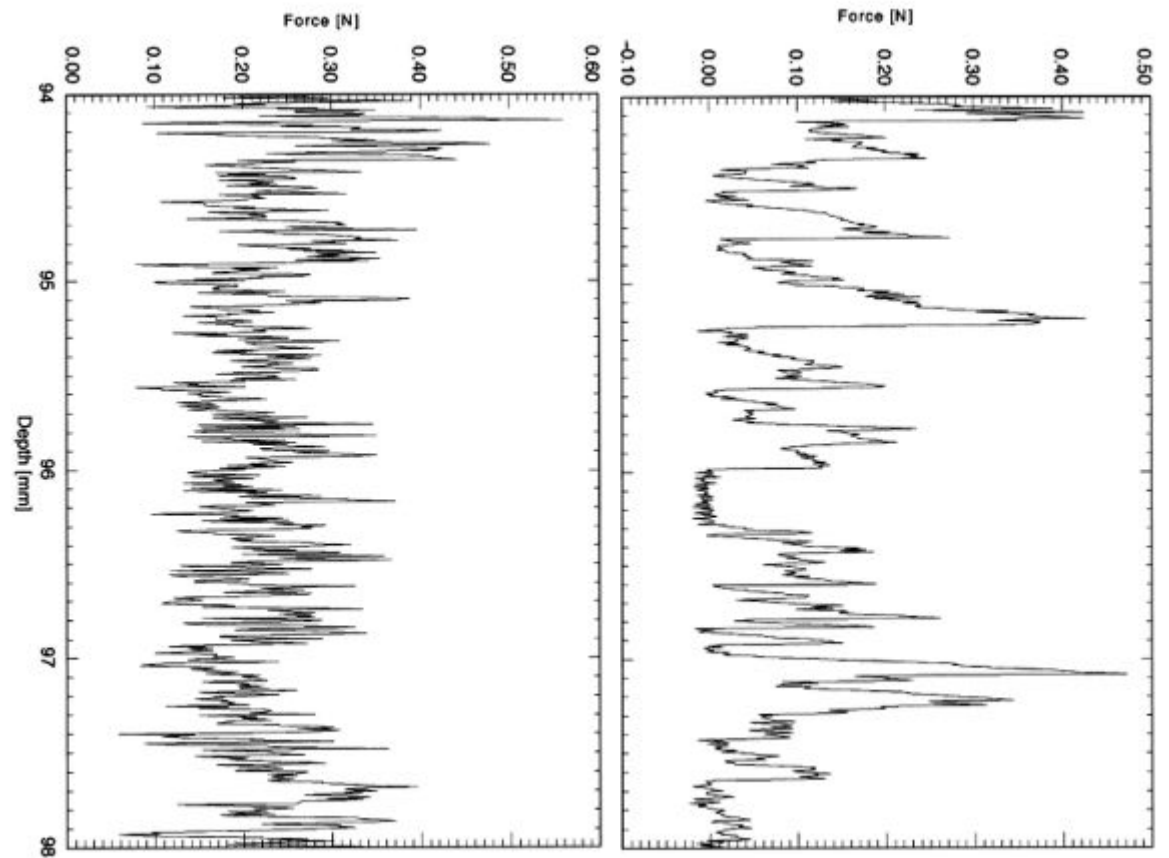
Le *SMP*

- Potentiel successeur de la sonde de battage
- Fonctionnement
- Mesures rapides et objectives
- Haute résolution



Le SMP

- Exemples de signaux, force fonction de la profondeur



À gauche : grains fins. À droite : givre de profondeur. (Schneebeli et al. 1999)

Interprétation du signal

Développements passés

- Approche microstructurale statistique et décomposition en 3 paramètres microstructuraux (Figure 1): modèle du **Poisson shot noise**

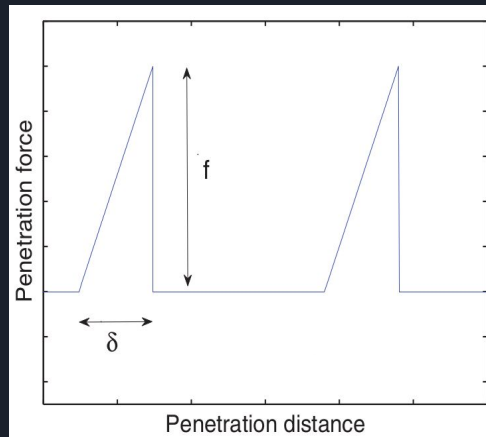


Fig. 1: Paramètres microstructuraux

- Modèle macroscopique purement mécanique (Figure 2) : **Continuum cavity expansion model** (CEM)

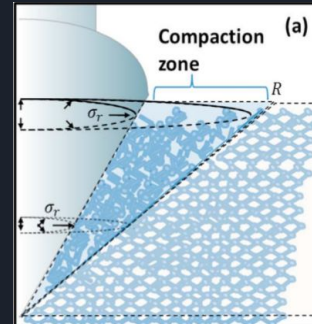


Fig. 2: Modèle macroscopique

- Modèle prédisant la densité à partir du signal: Modèle de **Proksch**

Interprétation du signal

- Modèle **Poisson shot noise**
 - f_0 : force de rupture individuelle
 - **delta** : déflexion à la rupture
 - **lambda**: quantité de ruptures (ou intensité)

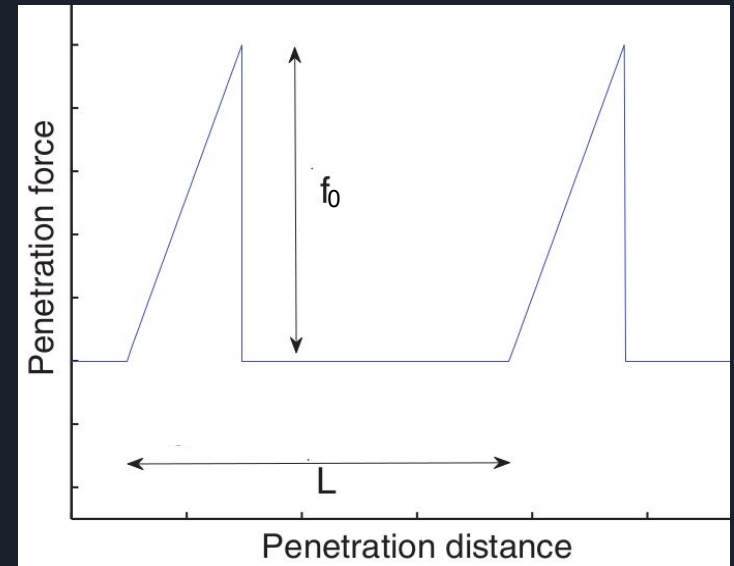
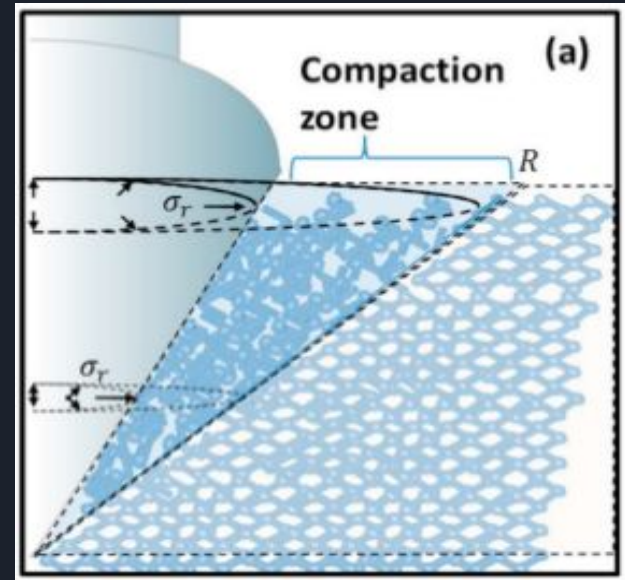


Fig. 1: Paramètres microstructuraux

Interprétation du signal


- Modèle **CEM** (Ruiz 2017)
 - Modélise radialement la décroissance de la contrainte
 - Paramètres macroscopiques mécaniques :
 - Module d'élasticité
 - Contrainte à la rupture



$$\frac{\partial \sigma_r}{\partial r} = -\frac{\sigma_r - \sigma_\theta}{r} \quad (1)$$

$$\sigma_r(r) = \frac{\sigma_{mac}}{\sqrt{3}} \left(1 + \ln \left(\frac{\sqrt{3} E_{mac}}{2(1 + \nu) \sigma_{mac}} \right) - 2 \ln \left(\frac{r}{r_c} \right) \right) \quad (2)$$

$$F = f(E_{mac}, \sigma_{mac}) \quad (3)$$



Interprétation du signal

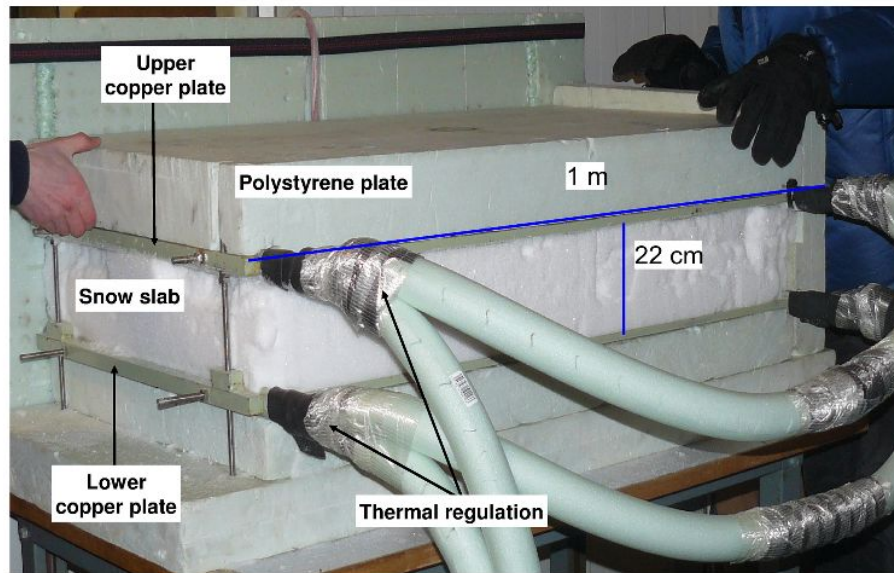
- Modèle de Proksch de densité
 - calcul de la densité à partir du signal SMP
 - calibration

$$\rho_{Pr} = a_1 + a_2 \ln \bar{F} + a_3 \ln(\bar{F})L + a_4 L$$

Méthode Expérimentale

Appareil à gradient de température

- Paramètres du gradient
 - gradient : 30C/m
 - plaques : -1C et -7C
 - air ambiant : -4C

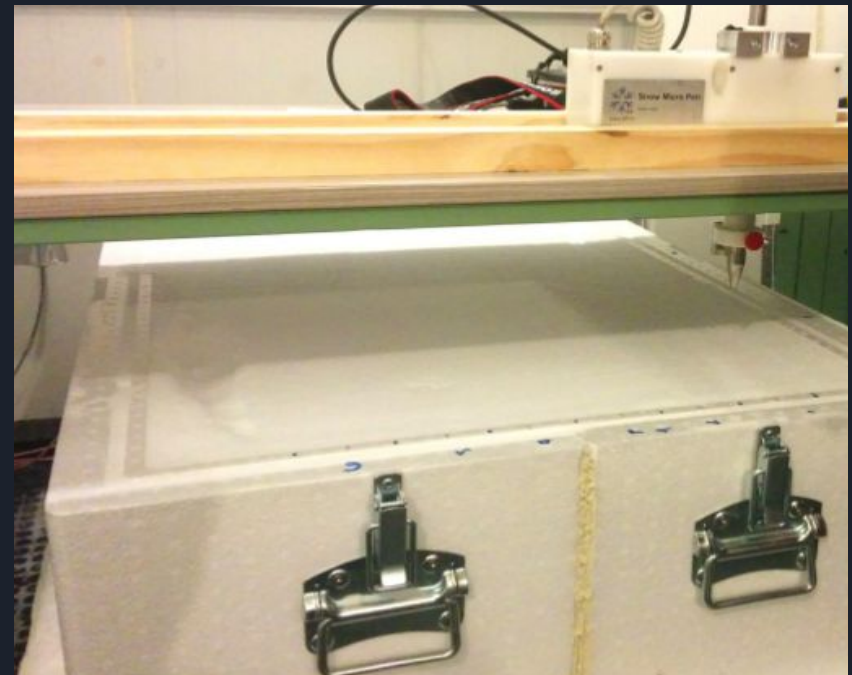


(a) With polystyrene side walls removed to show snow sample and copper plates. (b) Seen from above with upper plate removed to perform SMP measurement.

Figure 2: In-house manufactured temperature gradient apparatus.

Méthode expérimentale

- Collecte de neige
 - Col d'Ornon (1367m)
 - Neige fraîche (PP/DF)
 - Densité 100 kg/m^3 , $T = -4\text{C}$
- Échantillonnage
 - Stockage à -20C
 - Tamisage à -10C
 - Début des mesures 1h après
 - Mêmes conditions initiales



Mesure SMP sur l'échantillon en isothermie.

Protocole de mesure



Panneau latérale enlevé pour mesurer densité et SSA

Pour chaque échantillon, à chaque jour:

- 3 mesures SMP
- 4 mesures de densité superposées
- 3 mesures de SSA superposées



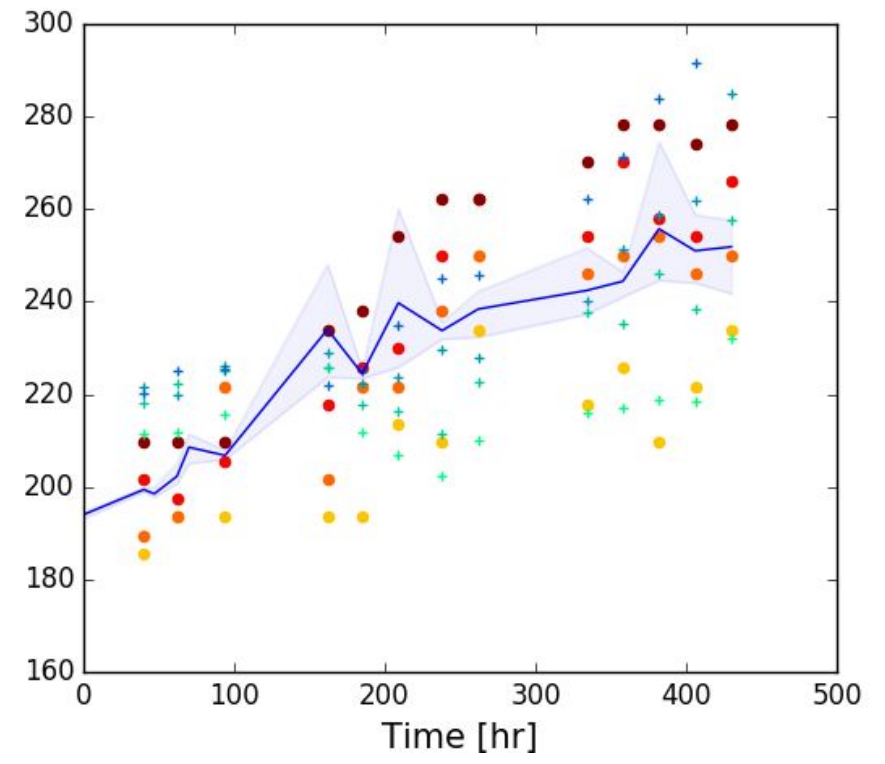
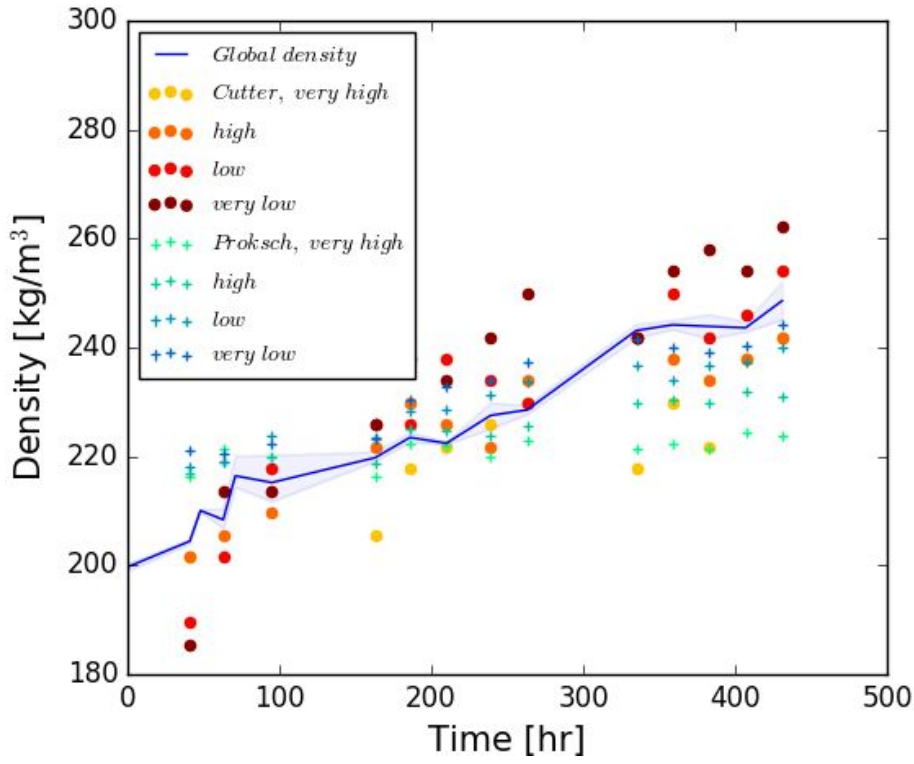
Résultats

1. Densité
2. SSA
3. Signaux SMP brutes
4. Paramètres microstructuraux du Poisson shot noise
5. Paramètres macroscopiques du CEM

Résultats

Densité

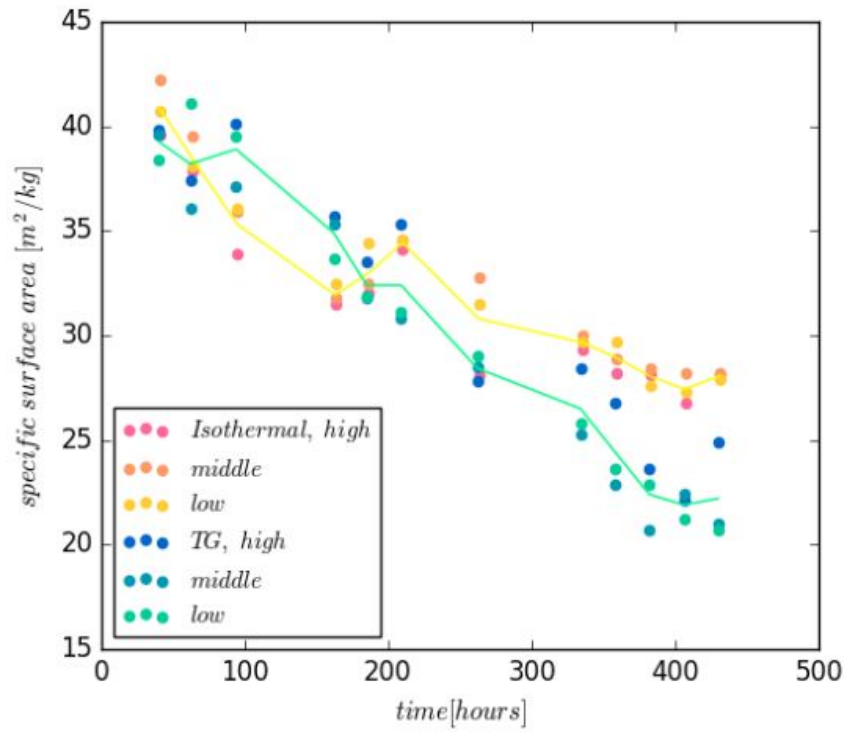
- Même comportement
- Stratification pour gradient
- Proksch prédit mal



Résultats

Densité, SSA

- Gradient décroît davantage
- Pas de stratification



(c) Specific surface area for both samples.

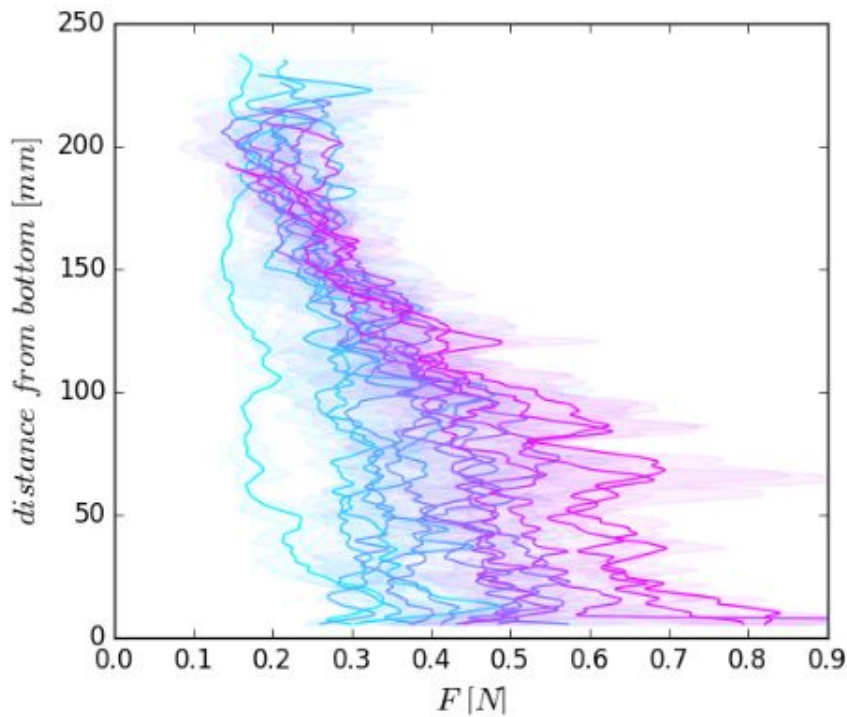


Résultats

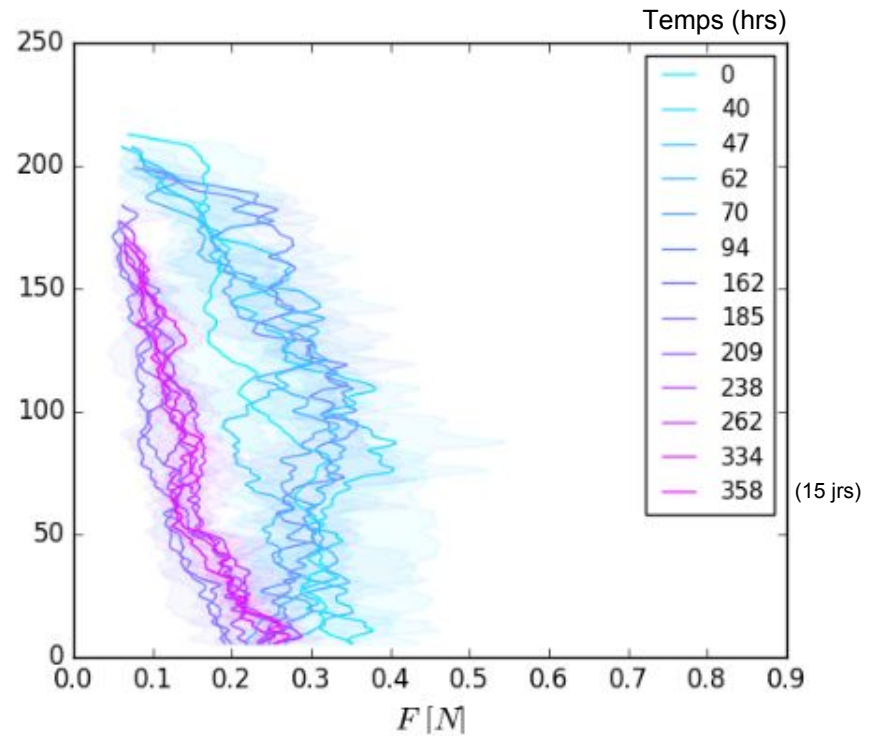
1. Densité
2. SSA
- 3. Signaux SMP brutes**
4. Paramètres microstructuraux du Poisson shot noise
5. Paramètres macroscopiques du CEM

Résultats

signal de force



(a) isothermal, penetration resistance force

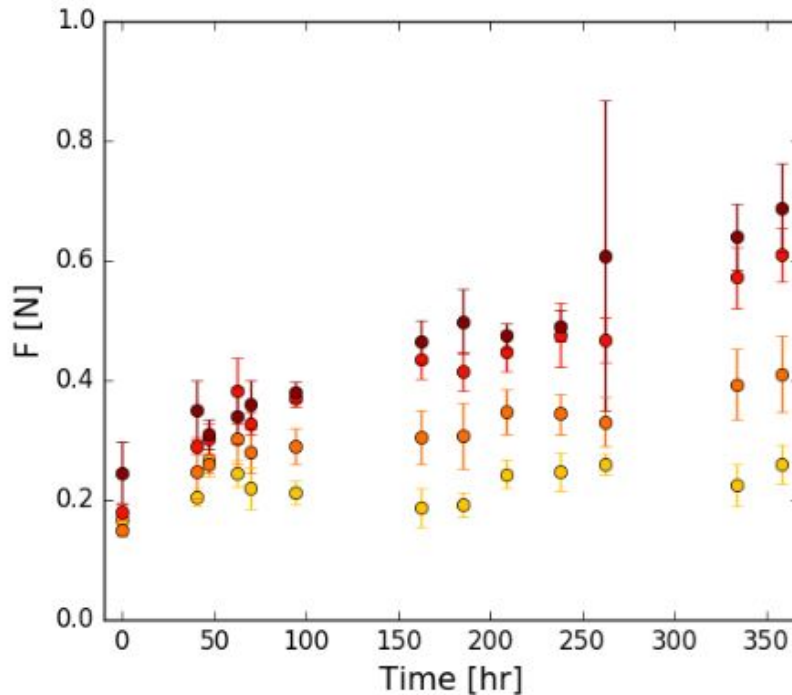


(b) temperature gradient, penetration resistance force

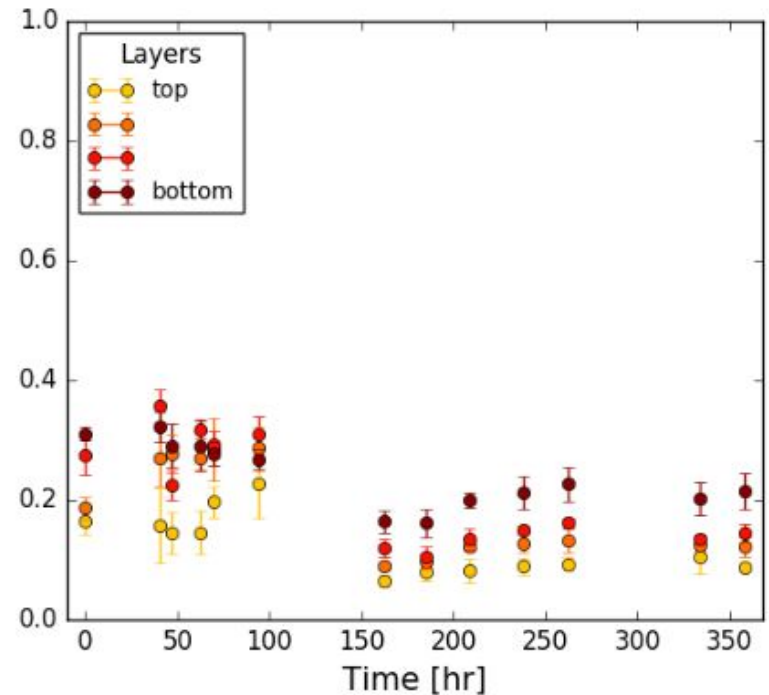
Résultats

signal de force

- Iso : croissance de F dans le bas
- Gradient : décroissance de F
- Weekend sans mesures
- Apparition de faces planes



(c) isothermal, penetration resistance force



(d) temperature gradient, penetration resistance force



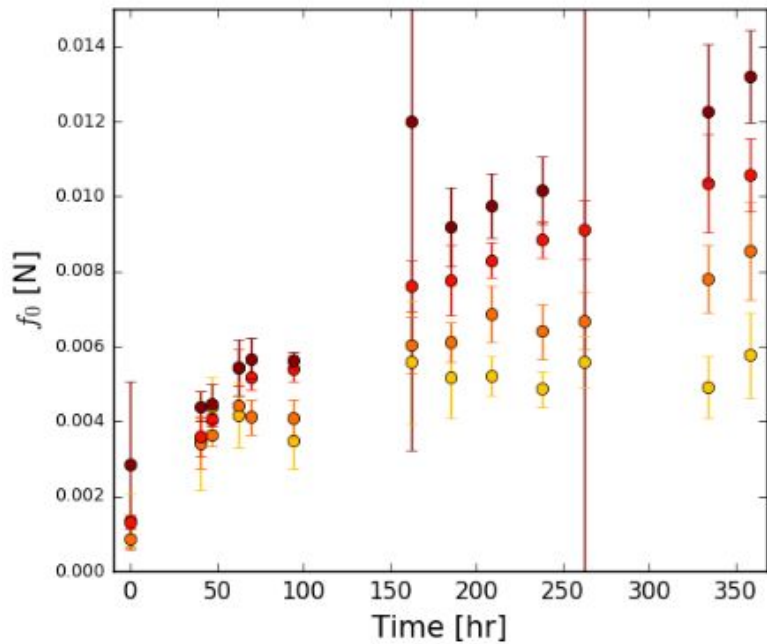
Résultats

1. Densité
2. SSA
3. Signaux SMP brutes
- 4. Paramètres microstructuraux du Poisson shot noise**
5. Paramètres macroscopiques du CEM

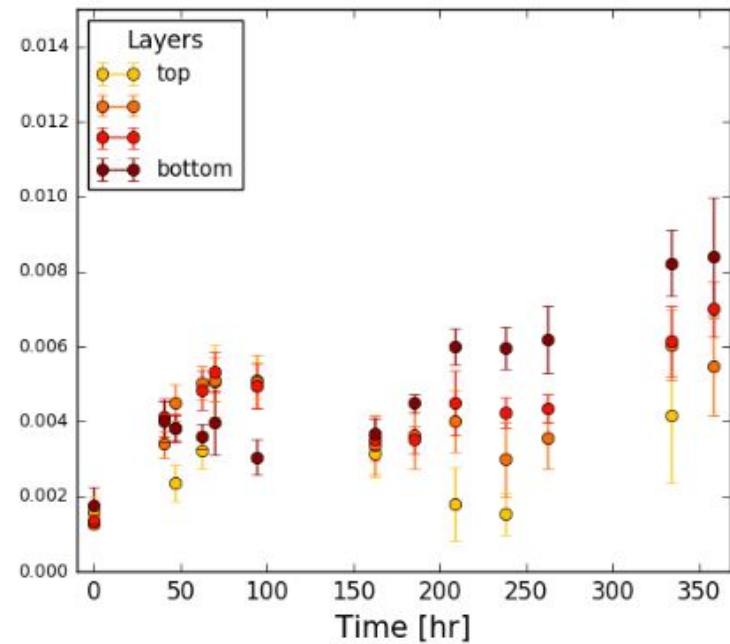
Résultats

f_0 : force de rupture individuelle

- Iso *comme* Gradient : croissance
- Iso : croissance marquée dans le bas



(c) isothermal, individual rupture force

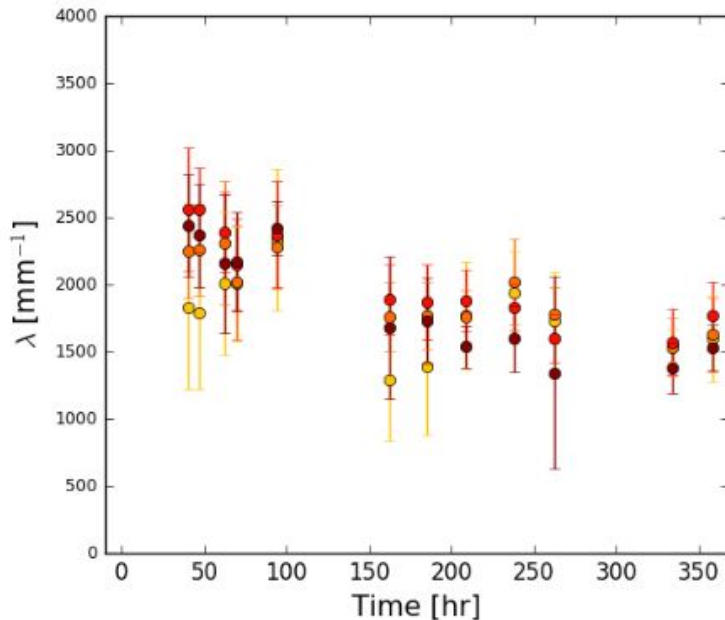


(d) temperature gradient, individual rupture force

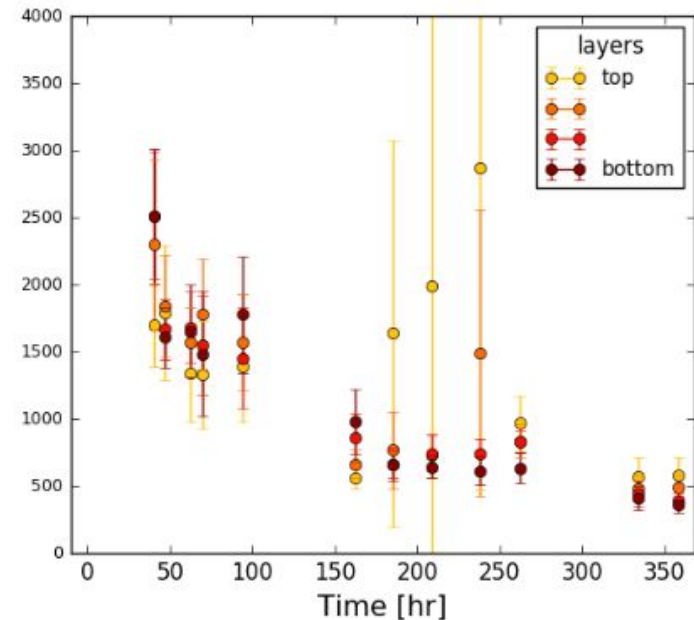
Résultats

lambda : intensité

- Gradient : diminution plus marquée du nombre de ruptures



(e) isothermal, amount of occurring ruptures (or intensity)

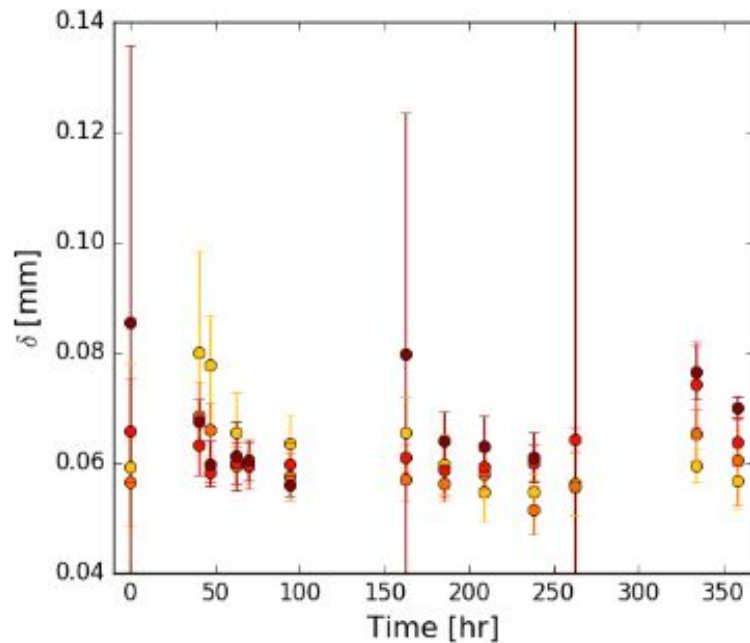


(f) temperature gradient, amount of occurring ruptures (or intensity)

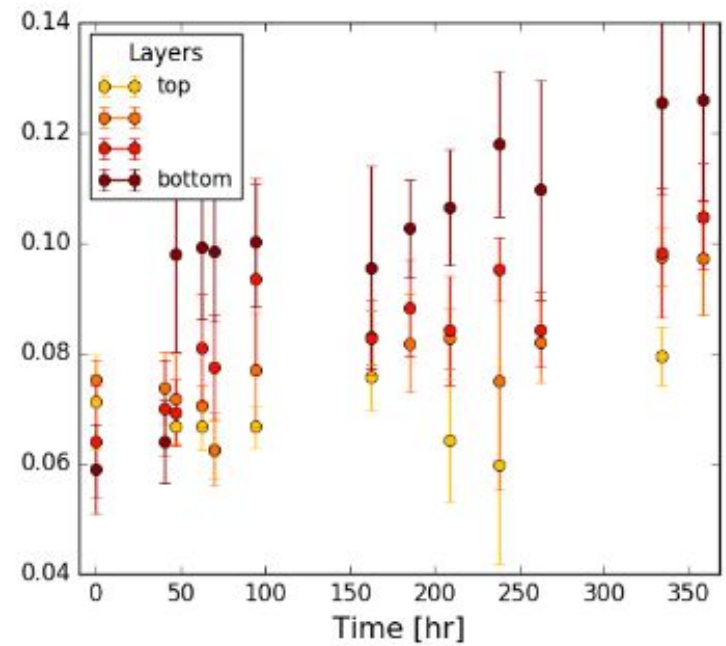
Résultats

delta : déflexion à la rupture

- Gradient : croissance



(a) isothermal, deflection at rupture



(b) temperature gradient, deflection at rupture



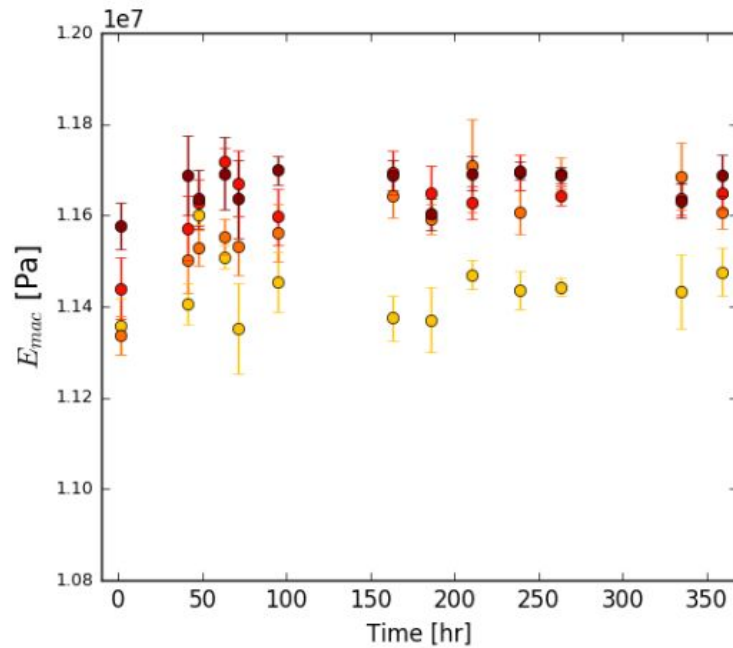
Résultats

1. Densité
2. SSA
3. Signaux SMP brutes
4. Paramètres microstructuraux du Poisson shot noise
5. **Paramètres macroscopiques du CEM**

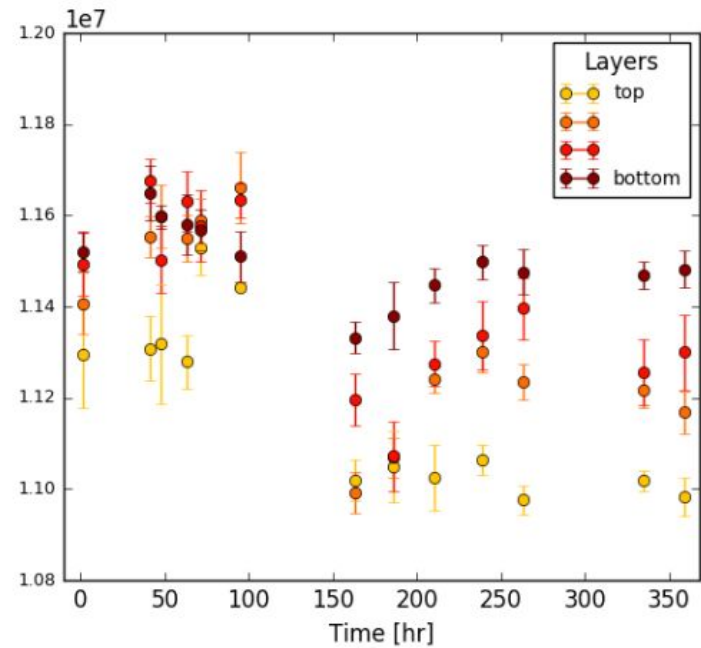
Résultats

module d'élasticité macroscopique

- SMP radial
- Phénomène de colonnes



(a) Isothermal

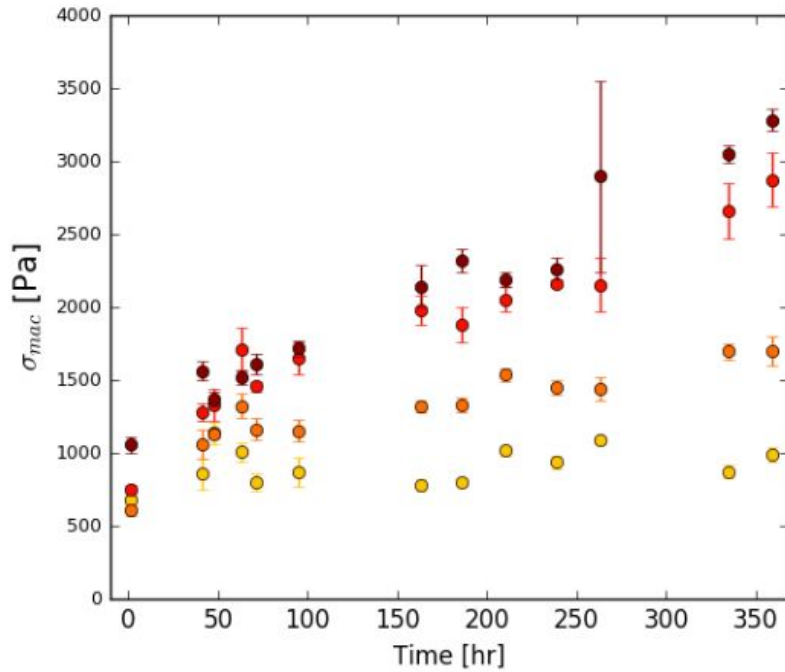


(b) Temperature Gradient

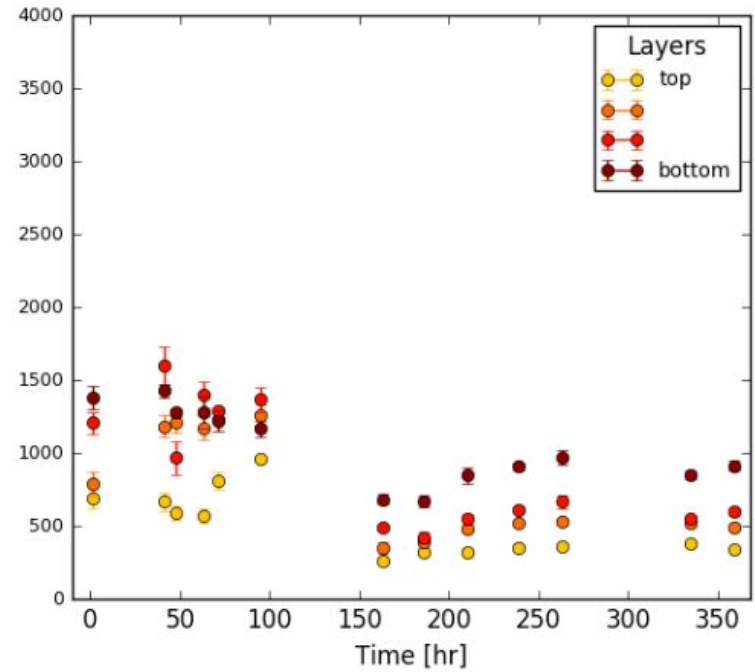
Résultats

contrainte à la rupture macroscopique

- Peu concluant



(c) Isothermal



(d) Temperature Gradient



Conclusion

- Objectifs
- Approche microstructurale concluante
- CEM peu concluant

Période de questions