

3^{ème} Ecole d'automne du GDR
Durabilité des matériaux de construction biosourcés



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS

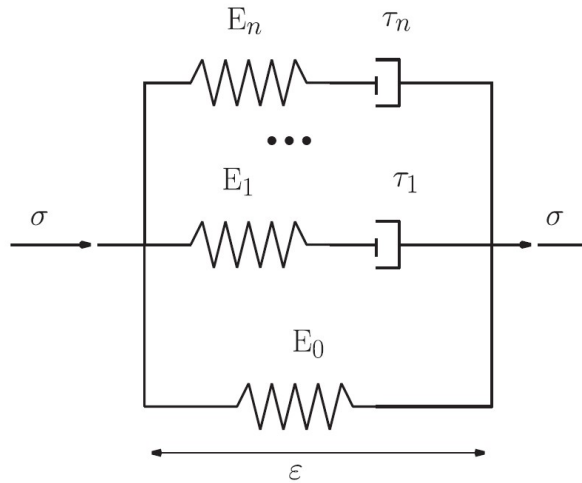


Comportement mécanique à long terme de matériaux biosourcés

Thibaut Lecompte (IRD, Univ. Bretagne-Sud, Lorient)



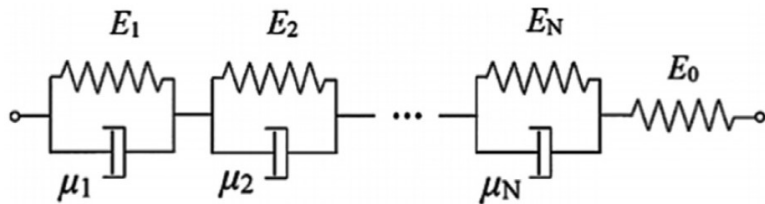
I. Introduction: fluage et relaxation



Maxwell généralisé:

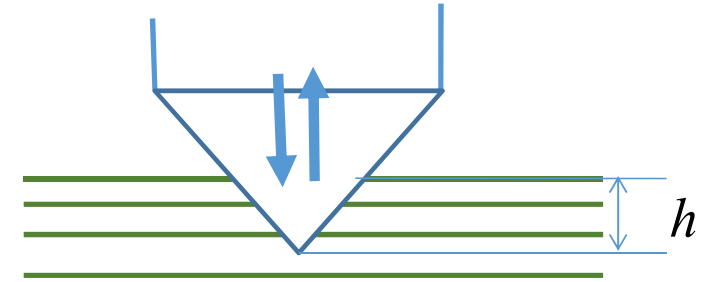
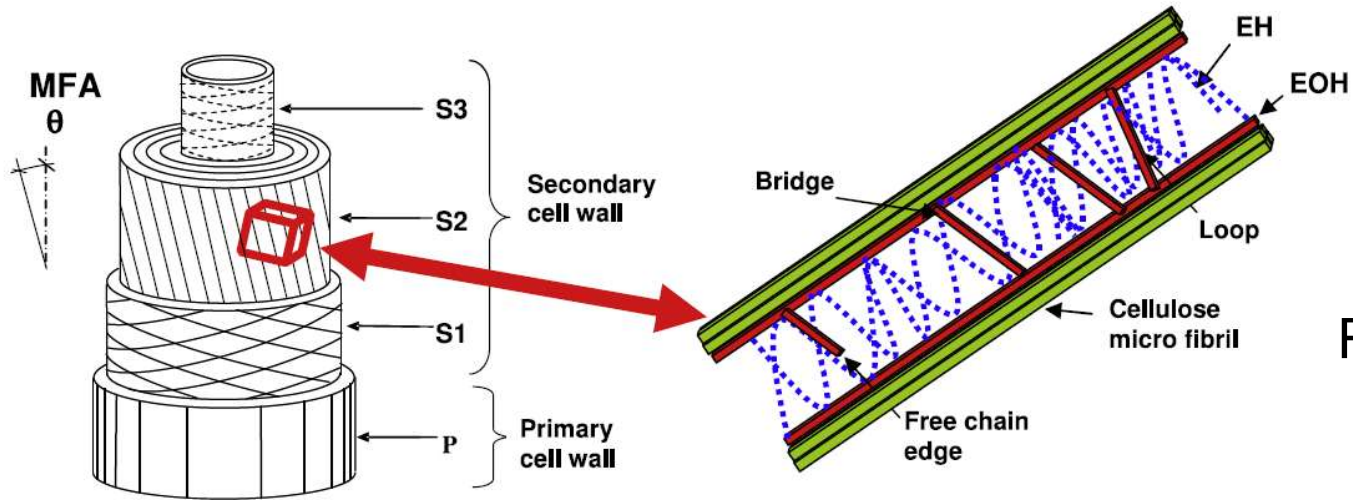
$$\sigma = E_0 \varepsilon + \sum_{i=1}^n E_i (\varepsilon - \alpha_i); \quad \dot{\alpha}_i = \frac{\varepsilon - \alpha_i}{\tau_i}$$

Kelvin-Voigt généralisé:



$$\epsilon_c = \sum_{k=1}^n \left[\epsilon_k (1 - e^{-t/\tau_k}) \right]$$

II. Exemple sur la traction et l'indentation d'une fibre de lin



Recouvrement:

$n=4$

$$\frac{h(t)}{h_c} = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i \exp(-t/\tau_i)$$

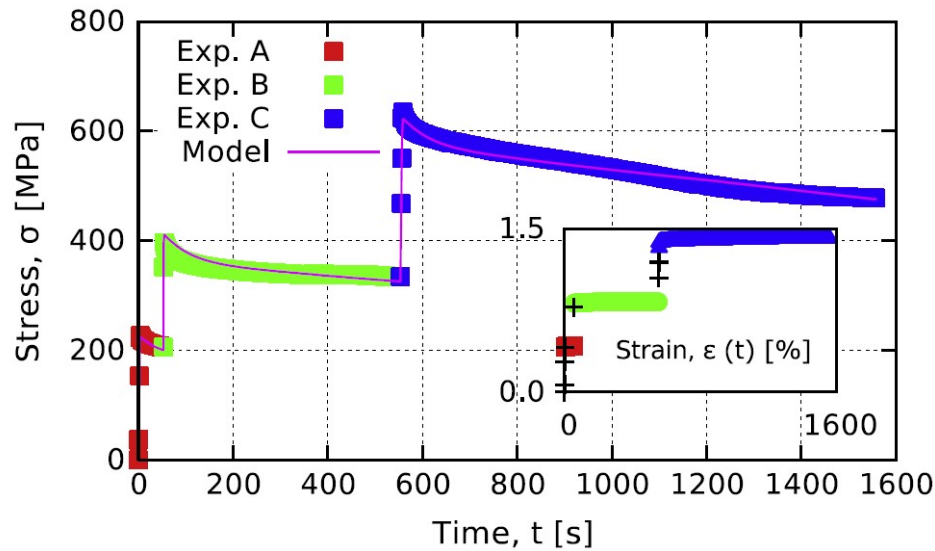
4 “phases” : hemicelluloses, pectines, cellulose amorphe et cellulose cristalline

[Keryvin et al., Analysis of flax fibres viscoelastic behaviour at micro and nano scales, Composites: Part A, 2014]

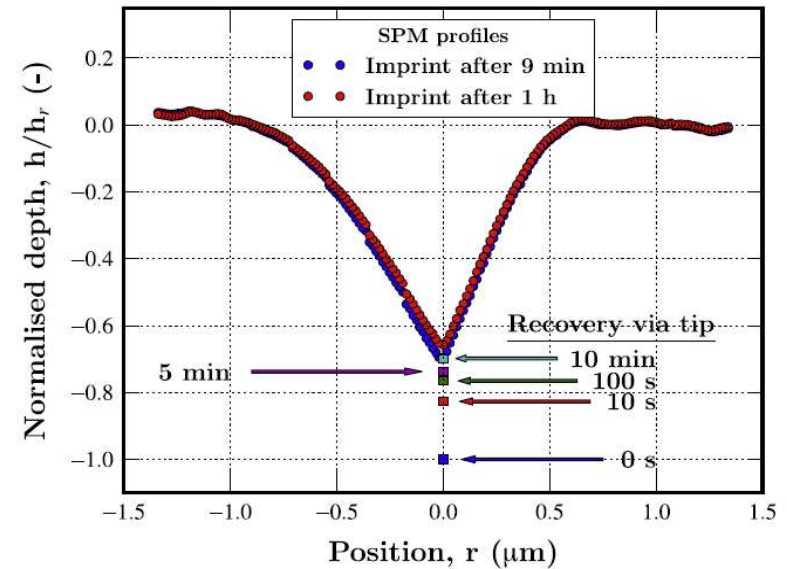
II. Exemple sur la traction et l'indentation d'une fibre de lin



Maintien en traction-Relaxation



Indentation-Recouvrement



τ_1 (s)

τ_2 (s)

τ_3 (s)

τ_4 (s)

Recouvrement:

0.30 ± 0.01

1.4 ± 0.1

7.6 ± 0.5

46 ± 4

Maintien en traction

0.54 ± 0.37

2.3 ± 0.6

10 ± 5

54 ± 19

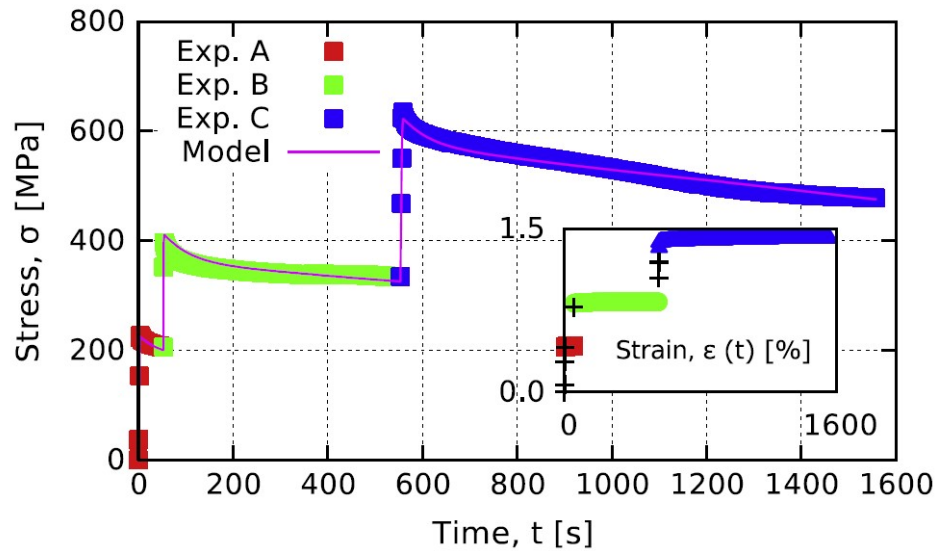
[Keryvin et al., Analysis of flax fibres viscoelastic behaviour at micro and nano scales, Composites: Part A, 2014]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

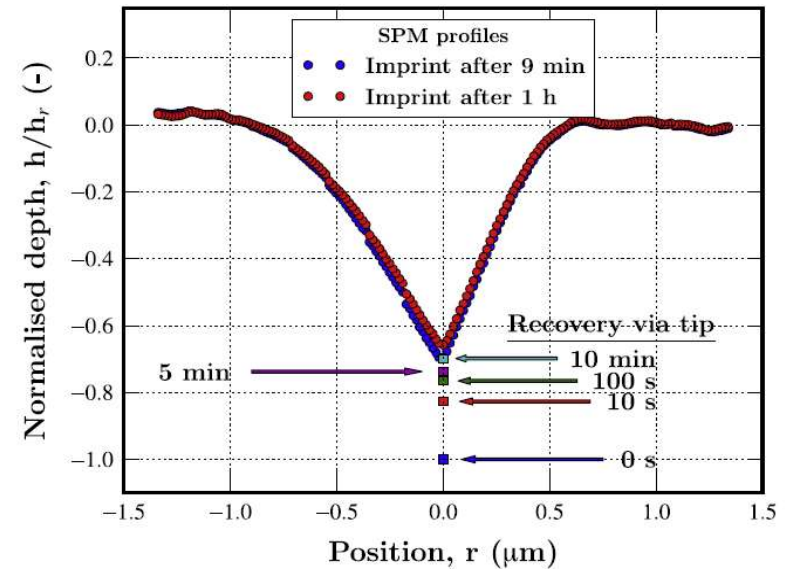
II. Exemple sur la traction et l'indentation d'une fibre de lin



Maintien en traction-Relaxation



Indentation-Recouvrement



τ_1 (s)

τ_2 (s)

τ_3 (s)

τ_4 (s)

Recouvrement:

0.30 ± 0.01

1.4 ± 0.1

7.6 ± 0.5

46 ± 4

Maintien en traction

0.54 ± 0.37

2.3 ± 0.6

10 ± 5

54 ± 19

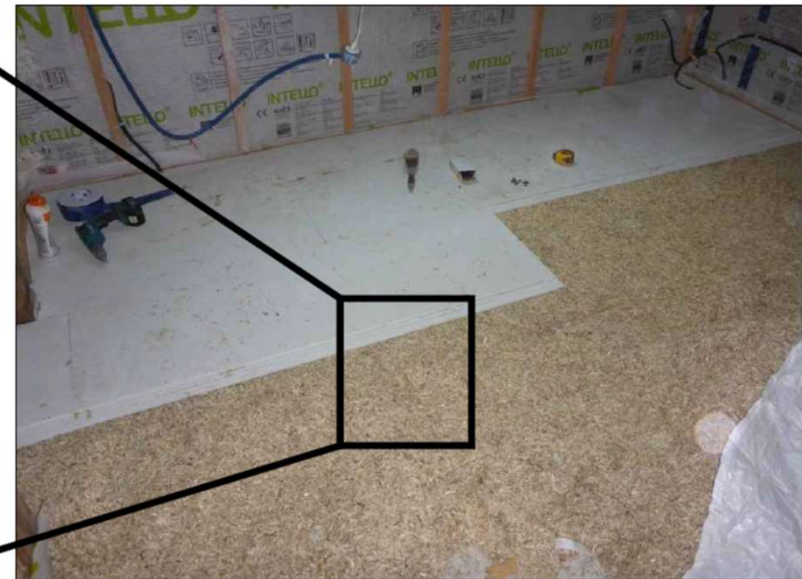
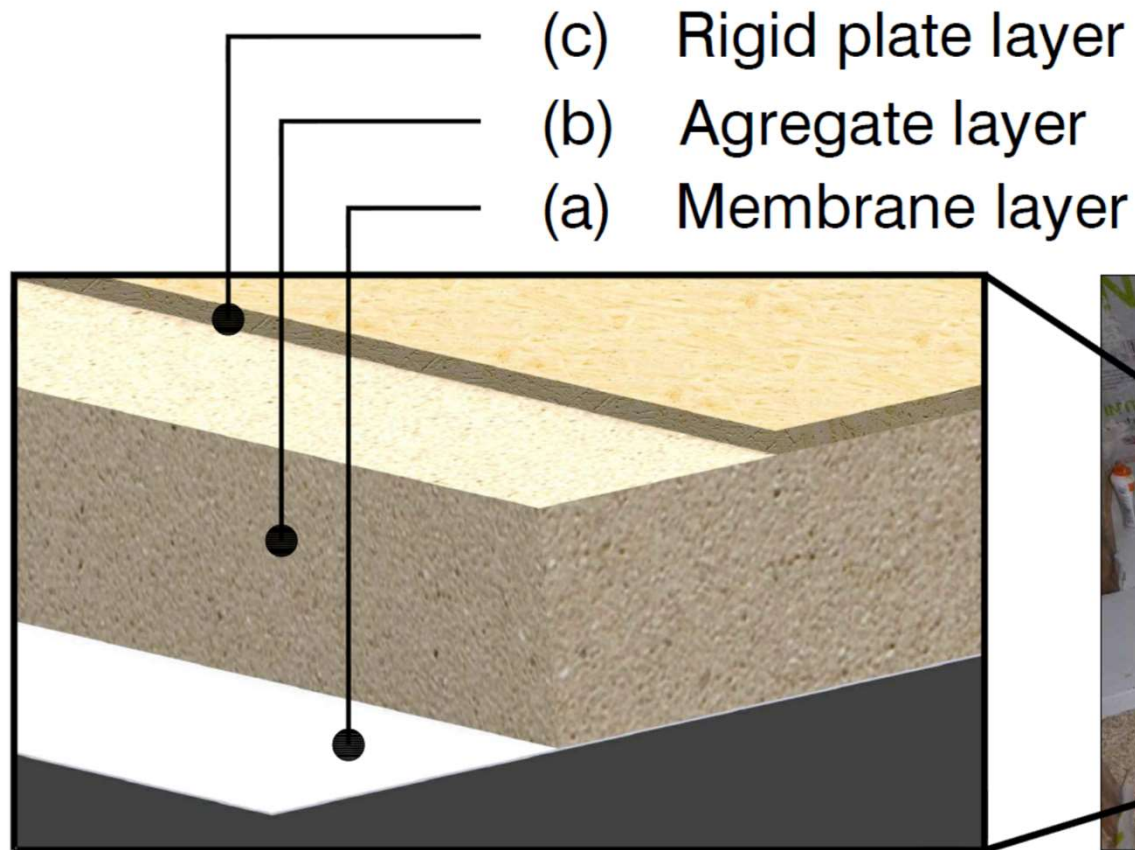
Hémicellulose ($E \sim 0,1 \text{ GPa}$) Pectine ($\sim 1 \text{ GPa}$) Cellulose amorphe ($\sim 10 \text{ GPa}$) Cellulose crist ($\sim 100 \text{ GPa}$).

[Keryvin et al., Analysis of flax fibres viscoelastic behaviour at micro and nano scales, Composites: Part A, 2014]

III. Application à un lit de chènevotte sous plancher flottant



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



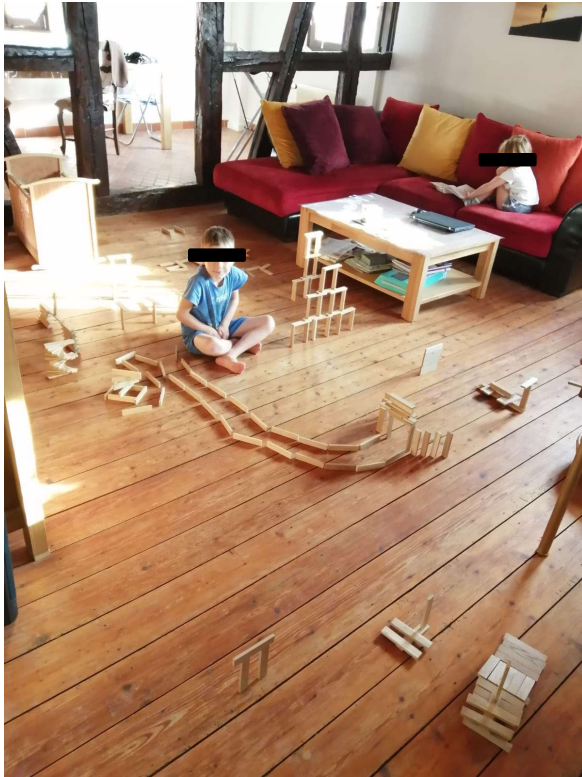
[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

III. Application à un lit de chènevotte sous plancher flottant



GdR MBS
MATÉRIAUX de CONSTRUCTION BIOSOURCÉS



Avant

Après



Crédit Photos: Philippe Glé ®

[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

IV. Matériaux et dispositif expérimental



Type	Average dimensions		Fiber mass proportion		Density		
	Length	Width	Short fiber	Long fiber	ρ_L	ρ_D	ρ_S
	(mm)		(%)		(kg/m ³)		
H1	8.6	2.0	1.1	0.2	90	138	91
H2	7.3	1.6	2.6	1.2	100	150	104
H3	6.3	1.6	6.3	0.4	110	160	100
H4	6.1	1.5	3.6	0.7	120	175	122
H5	5.2	1.5	3.6	0.0	140	215	156

Loose packing

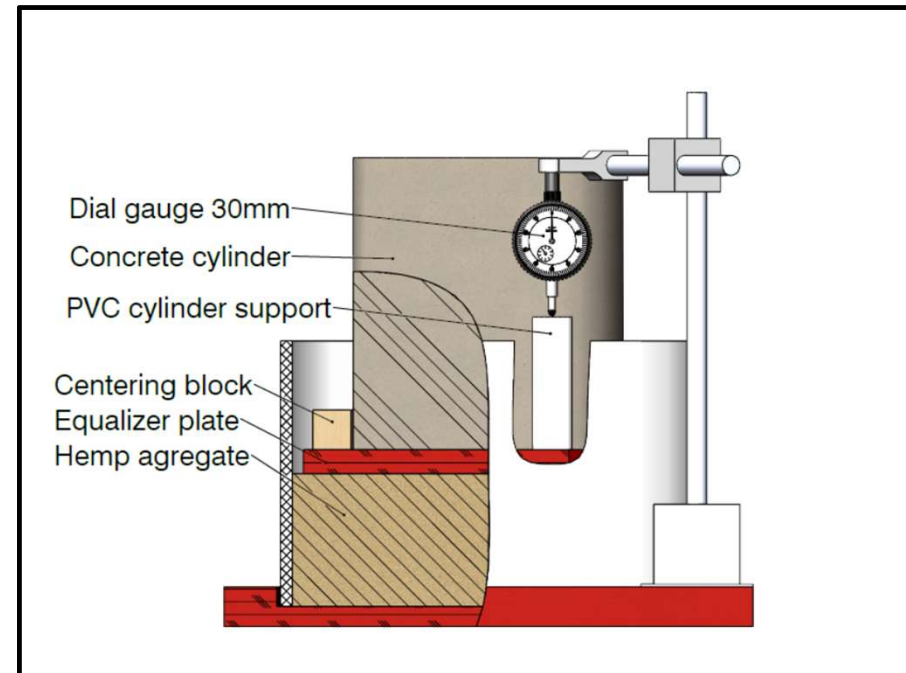
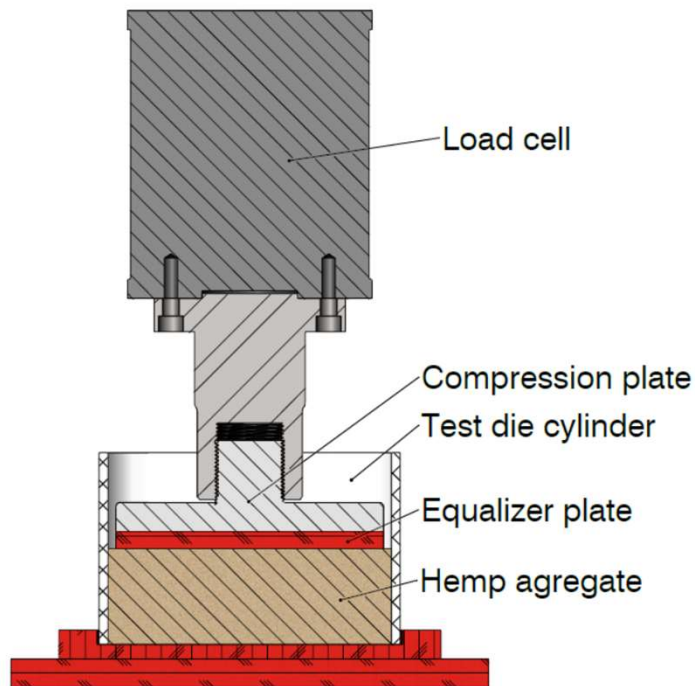
compaction manuelle

Protocol Rilem

[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

IV. Matériaux et dispositif expérimental



[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

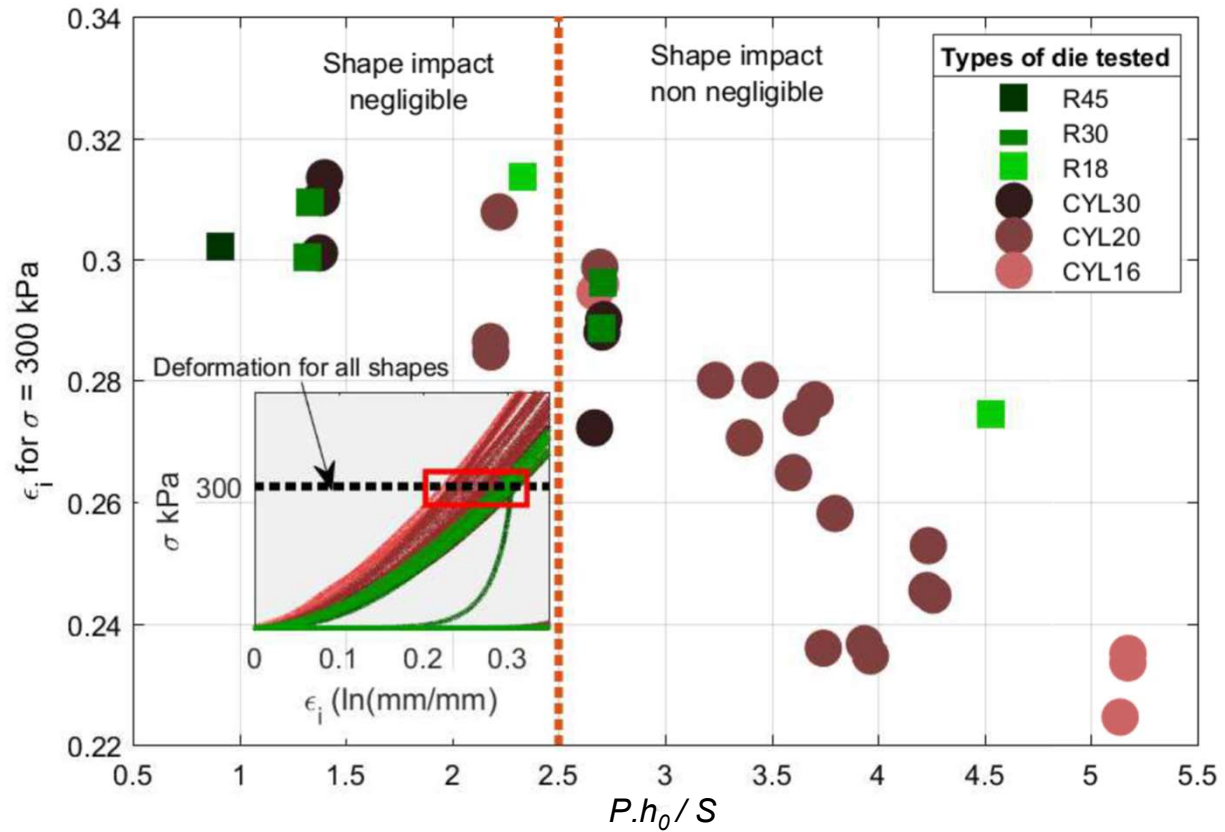
17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

IV. Matériaux et dispositif expérimental



Théorie de Jansen dans une cellule de compression

$$\sigma_z(z) = \sigma_{UP} e^{\mu K \frac{P}{S} (z-h)}$$



[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

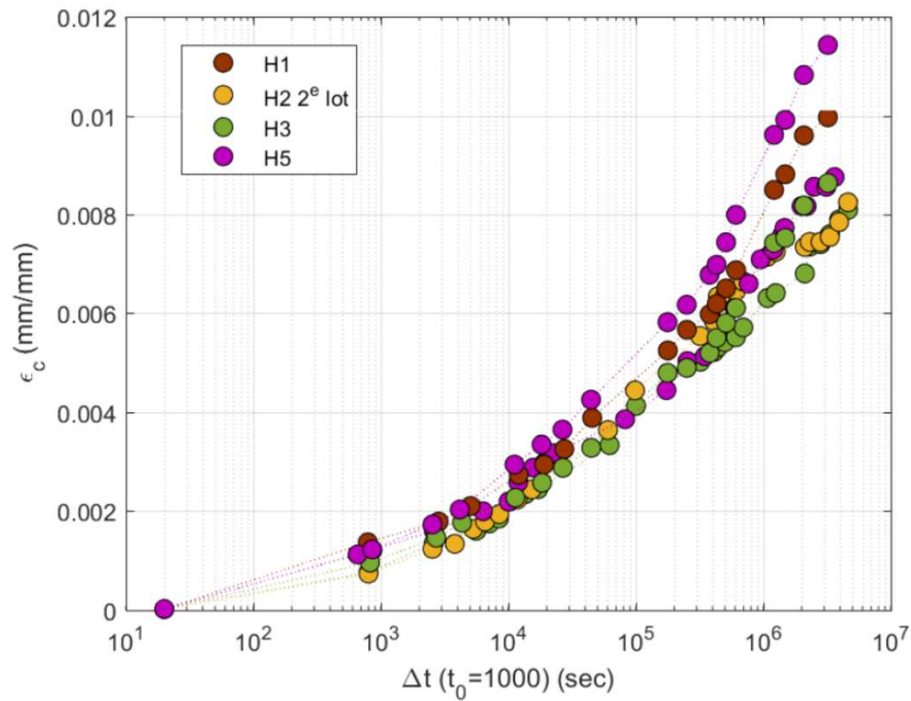
17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



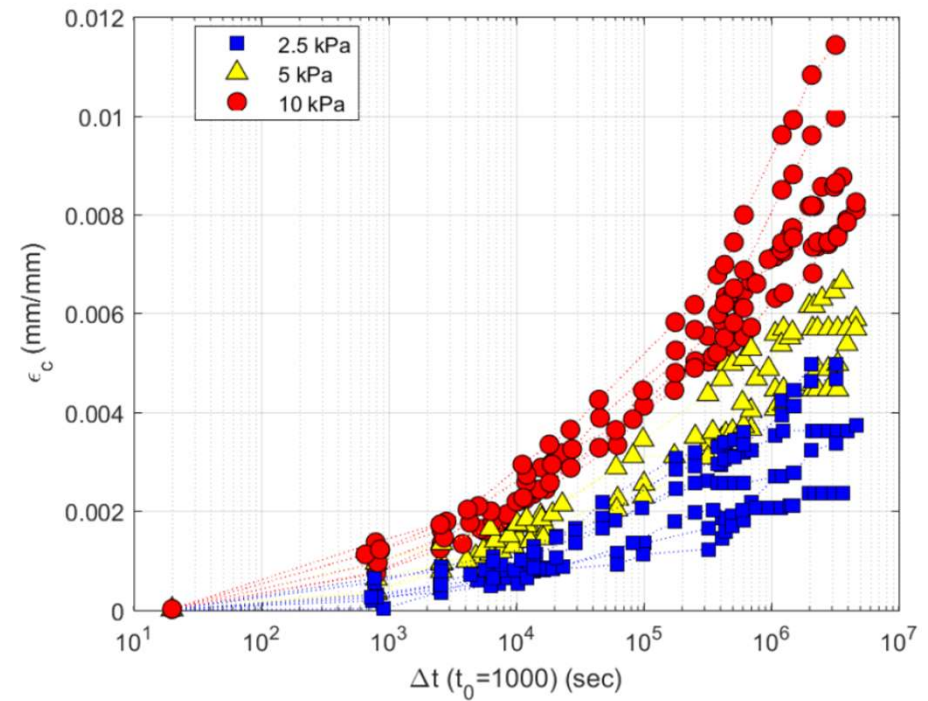
V. Résultats de compression à long terme



Taille des particules et charge appliquée



(c) Creep test at 10 kPa



(d) Creep test for the 3 stresses (All types)

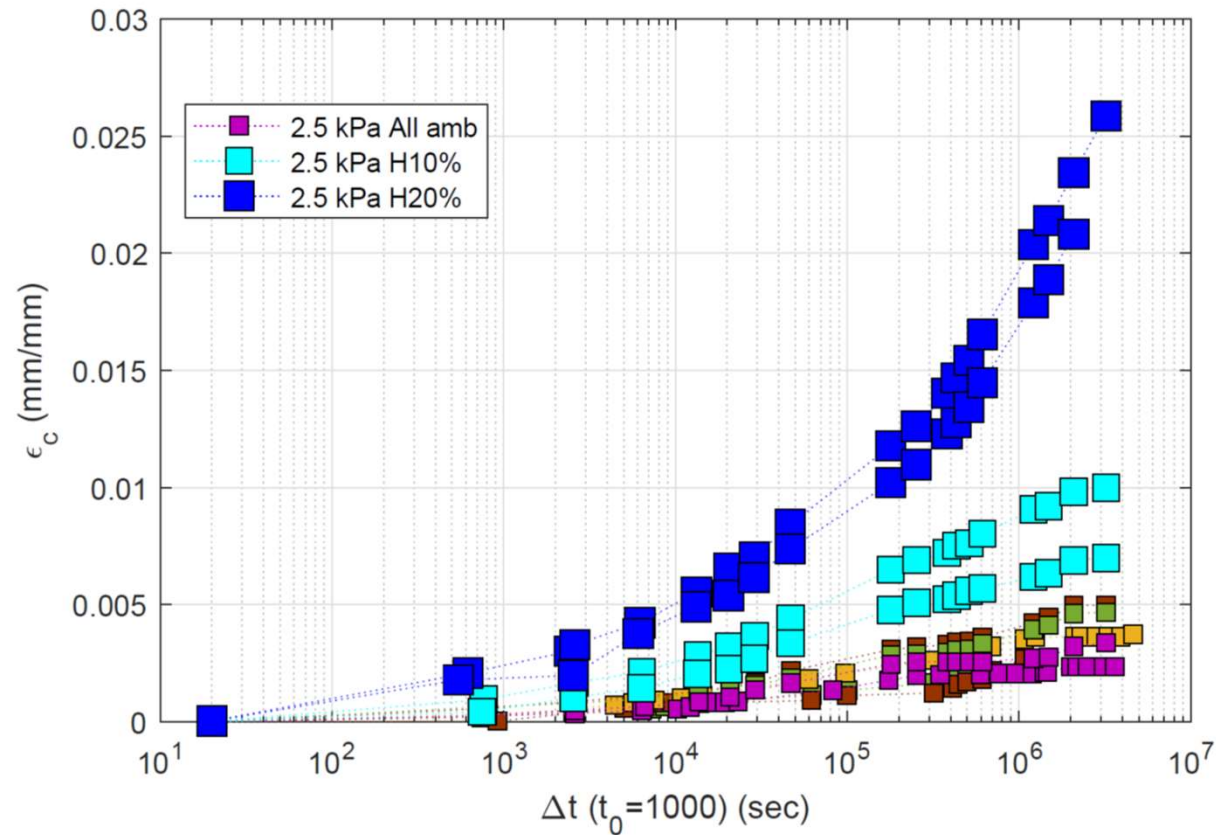
[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

V. Résultats de compression à long terme



Effet de la teneur en eau



[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

VI. Modélisation



$$\epsilon_{tot} = \epsilon_i + \epsilon_c$$

Court terme : Modèle de Cooper&Eaton

$$\frac{1-C/C_0}{1-C_0} = a_r e^{-\frac{P_r}{\sigma}} + a_d e^{-\frac{P_d}{\sigma}} + \dots$$

Long terme : Kelvin-Voigt généralisé:

$$\epsilon_c = \sum_{k=1}^n \left[\epsilon_k (1 - e^{-t/\tau_k}) \right]$$

Exponentielle « étalée »
(stretched exponential):

$$\epsilon_c = \epsilon_{\infty} (1 - e^{-(t/\tau)^{b_c}})$$

Modèle complet :

$$\epsilon_{tot} = (1 - C_0) \left(\underbrace{\sum_{i=1:3} a_i \times e^{-\frac{P_i}{\sigma}}}_{\epsilon_i} \right) f_{s,i}(\sigma, P_{hum\%}) + \underbrace{\left(\epsilon_{\infty} \times (1 - e^{-(\frac{t}{\tau})^b}) \right)}_{\epsilon_c} f_{s,c}(P_{hum\%})$$

[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

VI. Modélisation



« Stretched » exponential:

$$\epsilon_c = \epsilon_\infty (1 - e^{-(t/\tau)^{b_c}})$$

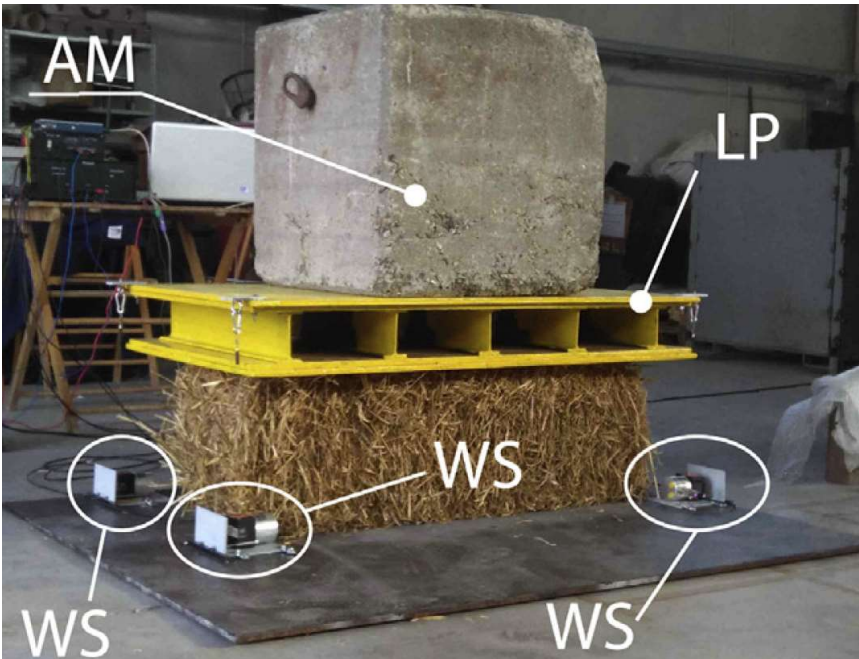
Déformation asymptotique

Temps caractéristique

« Paramètre d'étalement » $0 < b_c < 1$

Prise en compte d'un spectre continu de temps de relaxation
=> tient compte de la forte variabilité au sein de l'empilement granulaire

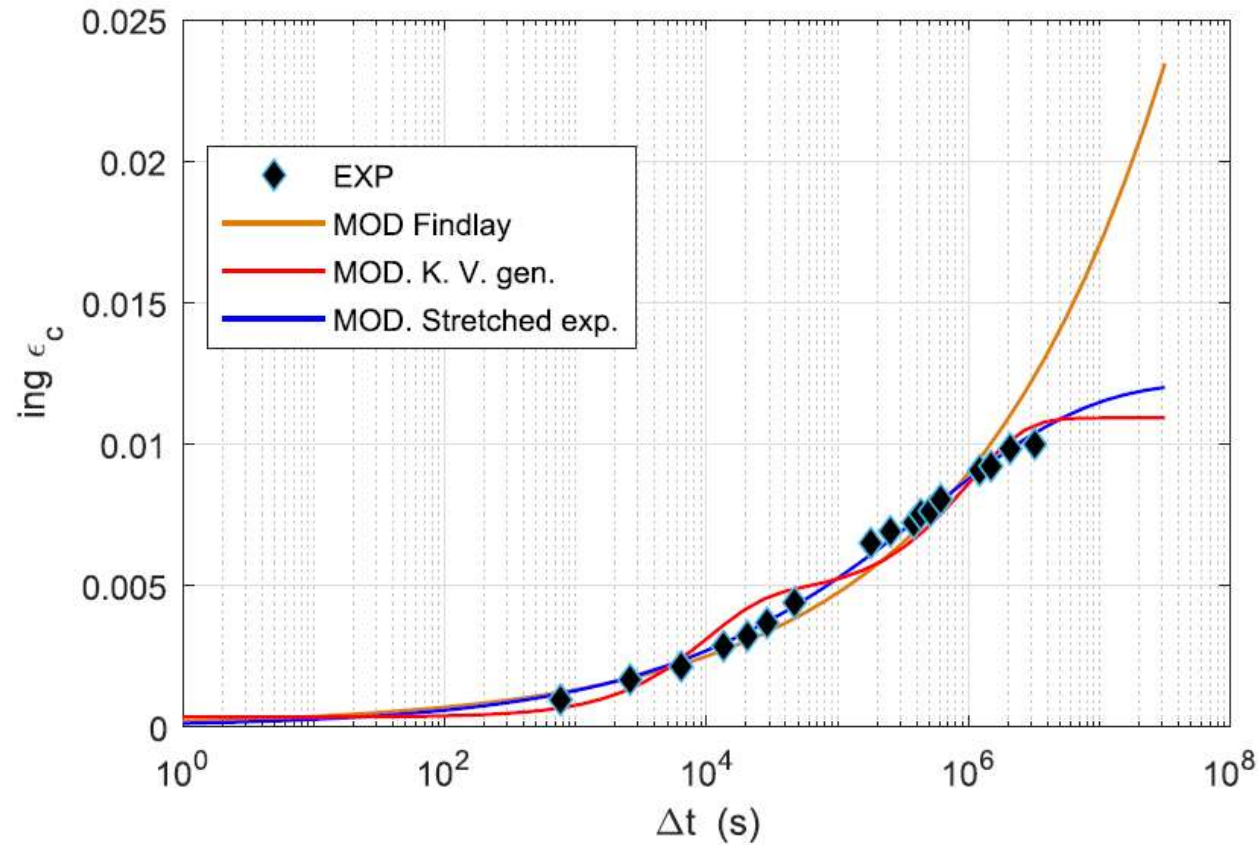
$$e^{-t^\beta} = \int_0^\infty e^{-f t} \Gamma(f) df.$$



[Malardi et al., Time-dependent mechanical properties of straw bales for use in construction, Biosystems Eng., 2018]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

VI. Modélisation



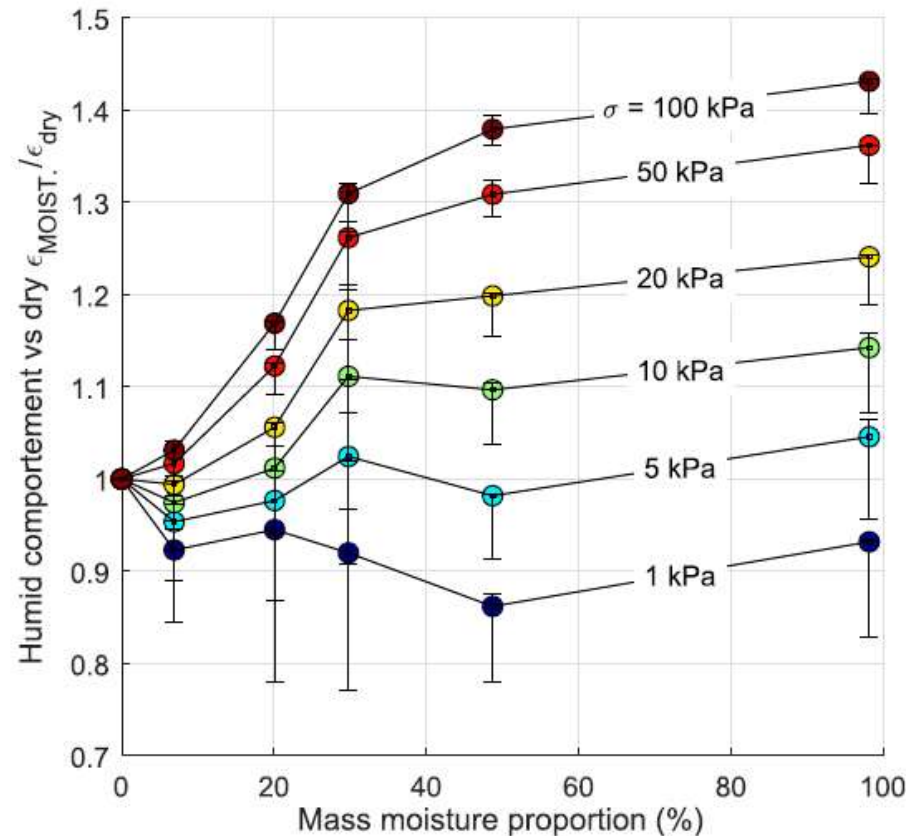
[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

VI. Modélisation



Influence de l'humidité sur la déformation totale à long terme, en fonction de la charge appliquée

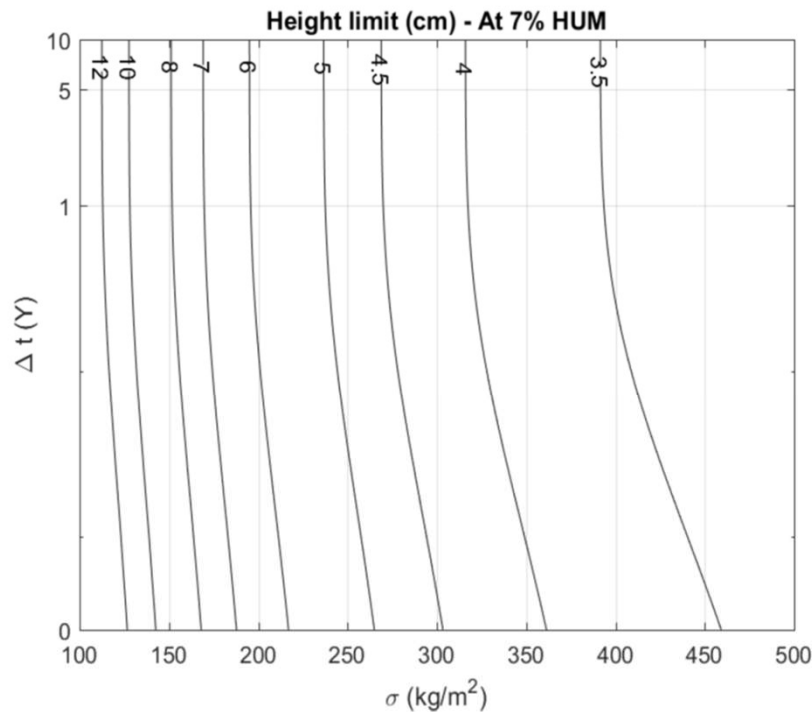


[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]
17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre

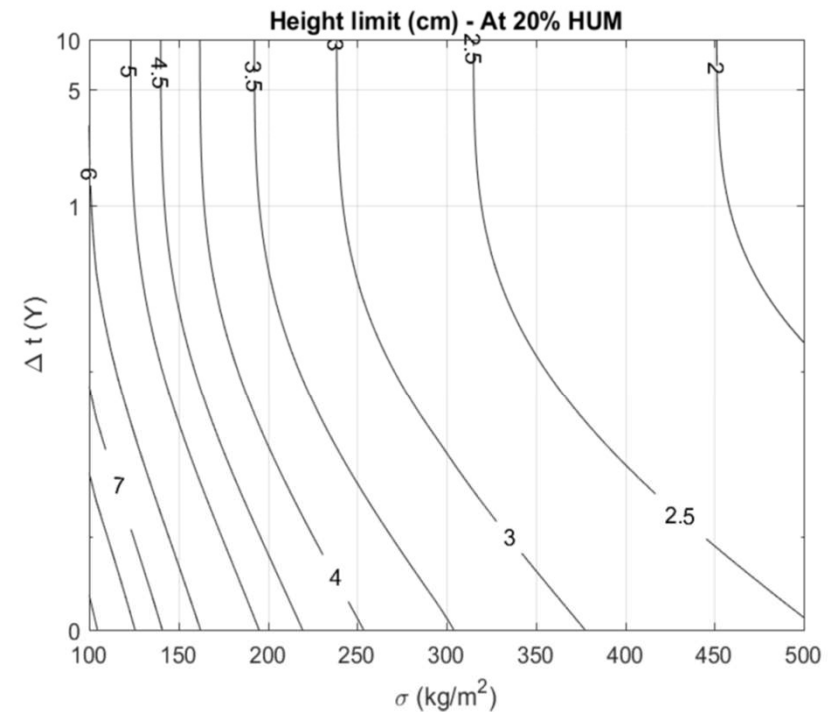
VI. Modélisation



Abaques d'épaisseur limite du lit de particules pour 2mm de déplacement maximum



(a) At AMB (\approx %) HUM



(b) At 20 % HUM

[Chiasson-Poirier et al., Static and long term compression behavior of hemp shiv for floating floor application, CBM, 2020]

17-20 octobre 2023, Bagnères-de-Bigorre



VII. Conclusions

Modélisation

- Proposition de modèles adaptés aux empilements de particules végétales (Cooper&Eaton, « Stretched exponential »)

Sur le cas pratique:

- La déformation à long terme sous une charge de 250 kg/m^2 représente environ 15% de la déformation totale
- La teneur en eau influence significativement le comportement au fluage et doit être pris en compte dans les recommandations
- Pour la chènevotte de chanvre, l'ordre de grandeur de l'épaisseur recommandée est de 5 cm sous une charge de 250 kg/m^2 and 8 cm sous 150 kg/m^2