

Composites microcellulaires : le profil de densité un outil efficace pour la caractérisation des propriétés morphologiques et mécaniques

Cédric Tissandier, Rubén González-Núñez, Denis Rodrigue

1^{er} colloque annuel du CRMR | 14 mai 2014

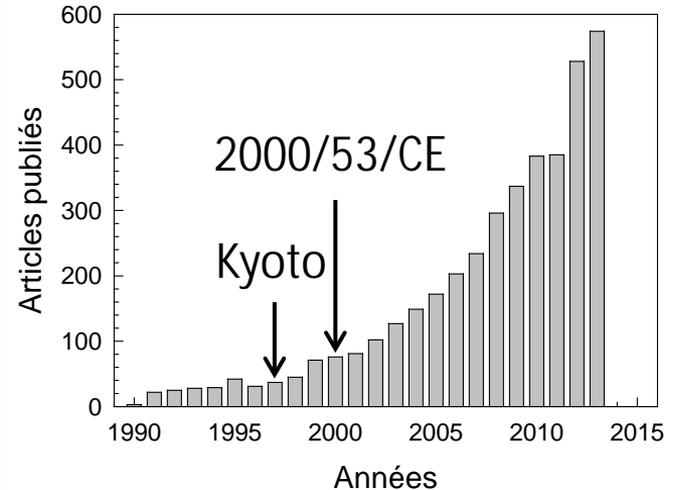
Enjeux

Composites plastiques-fibres naturelles

- Revaloriser une ressource locale
- Réduire l'impact des activités humaines

Réglementations internationales

- 1990-1999 : ~ 33 articles par an
- **2000-2013 : + 655%**



Mots-clefs: *natural, fibre, composite*

Marché des composites

Amérique du Nord bois

- 2010 $1,5 \times 10^6$ t
- Construction
 - Plancher 48%
 - Moulures décoratives 26%
 - Clôtures 12%
- **2010-2015 + 13%**

Europe coton, lin, kénaf

- 2012 90×10^3 t
- Transport
 - Garniture ~ 100%
 - Portières, toits, tableaux de bord, tablette arrière
- **2010-2020 + 55%**

Fibres naturelles

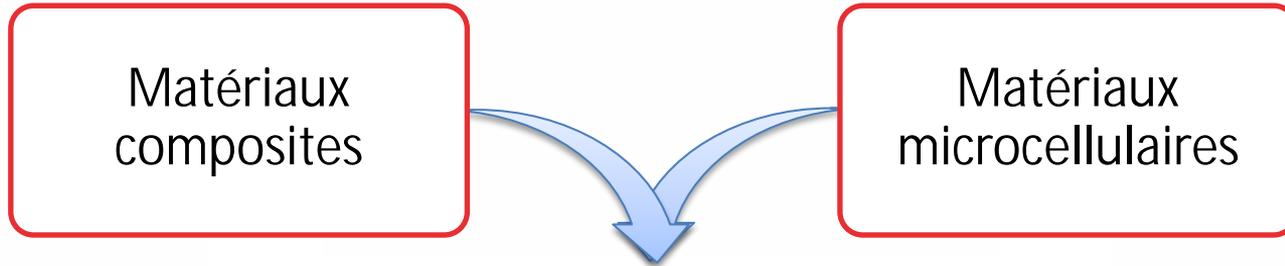
Avantages

- Renouvelable et biodégradable
- Abondante et faible coût
- Faible abrasion de l'outillage
- Excellent modules spécifiques
- **Faible densité (vs fibres de verre)**
 - Verre $\sim 2,5 \text{ g/cm}^3$
 - Lin... $\sim 1,5 \text{ g/cm}^3$

Limites

- Qualité variable (climat, âge)
- Absorption d'humidité
- Faible adhésion avec les polymères
- **Densité élevée (vs polyoléfines)**
 - Lin... $\sim 1,5 \text{ g/cm}^3$
 - PE $\sim 0,95 \text{ g/cm}^3$

Composites microcellulaires



Composites microcellulaires

Plus légers, plus performants, plus abordables, plus écologiques

Injection de matériaux microcellulaires

Faisabilité de la mise en œuvre par injection

- Méthode récente

Injection vs compression vs extrusion

- Mise en forme rapide et efficace

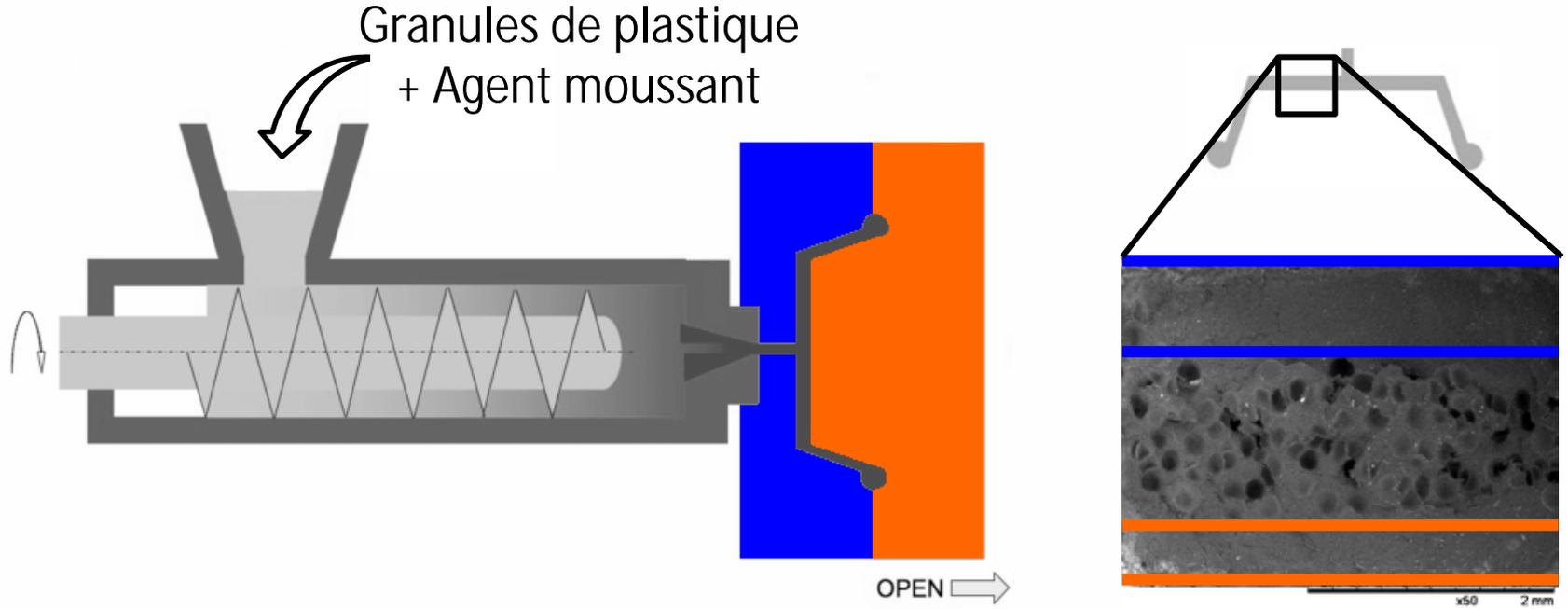
Agent moussant chimique **exothermique**

- Structure microcellulaire de bonne qualité

Mousses **asymétriques** par injection

- Épaisseurs de peaux asymétriques => Propriétés mécaniques asymétriques

Injection de structures asymétriques



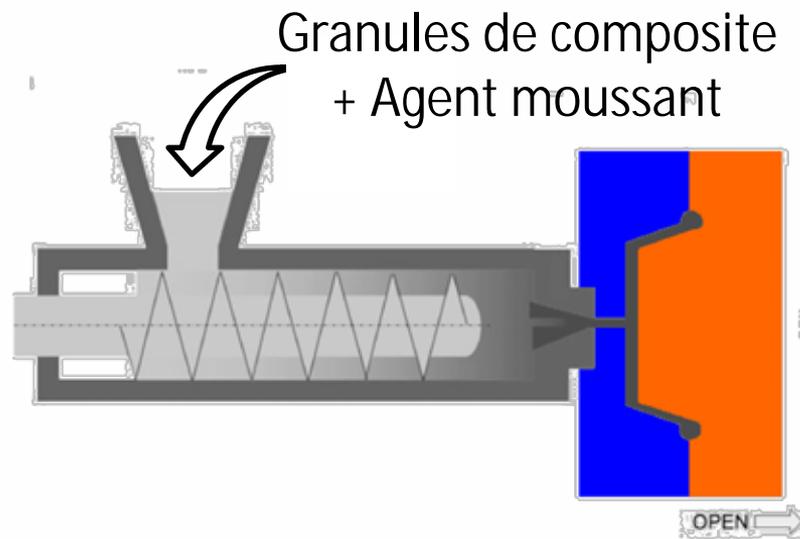
Composites microcellulaires

Extrusion-Granulation

- **HDPE (%)** 100 / 85 / 70
- **Fibres de lin (%)** 0 / 15 / 30

Injection

- **Agent moussant (%)** 0 / 0,5 / 1
- **Températures (°C)**
 - Symétriques 60-60
 - Asymétriques 30-60 / 60-90 / 30-90



Caractérisations multi-échelles

Morphologique

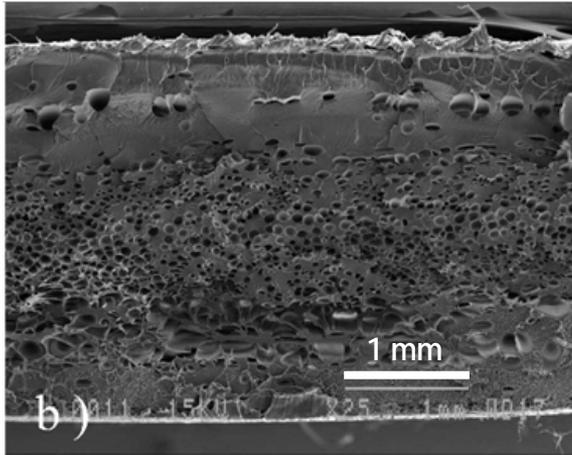
- Épaisseurs des peaux
- Épaisseur du cœur
- Diamètre des cellules
- Densité cellulaire

Masse volumique

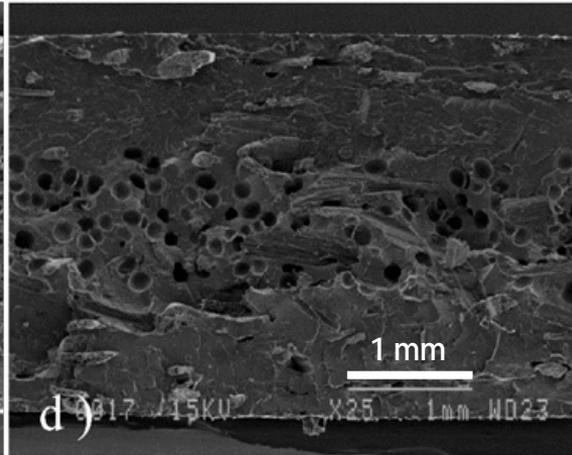
Mécanique

- Modules élastiques
 - Traction, flexion, torsion
- Résistances
 - Traction, flexion, impact

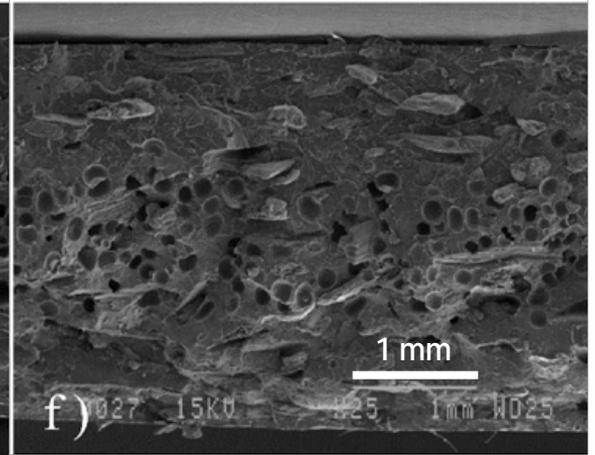
Morphologie



0% de fibre
1% d'agent moussant



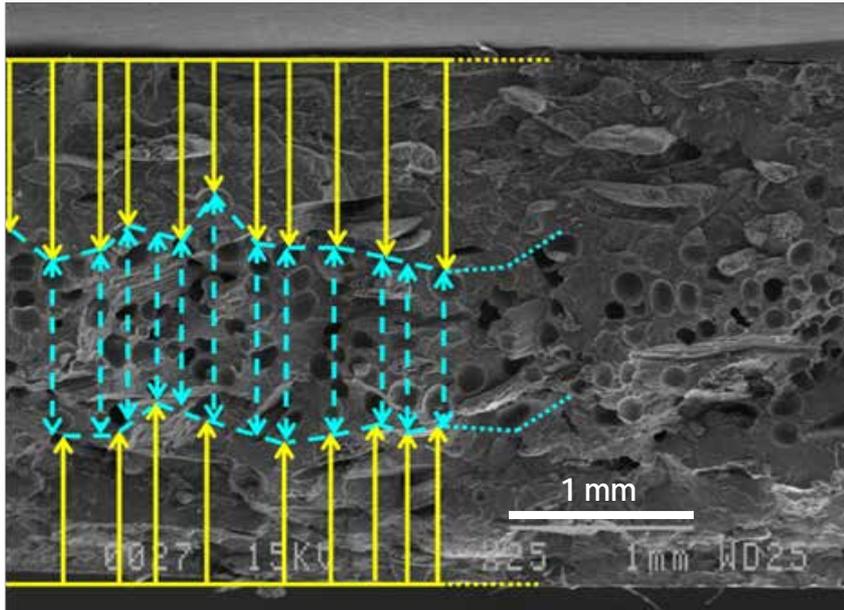
15% de fibre
1% d'agent moussant



30% de fibre
1% d'agent moussant

Tissandier et al. J Cell Plast (2014) 1-25 (publié en ligne le 27 mars 2014)

Épaisseurs des peaux et du cœur



Méthode traditionnelle

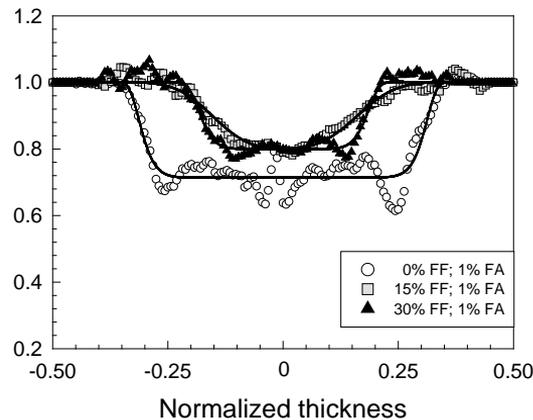
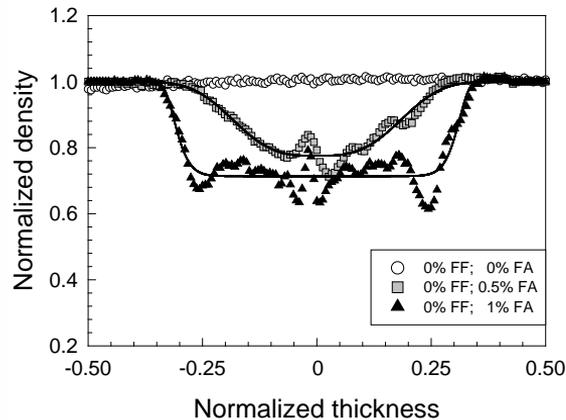
- Méthode longue
- Risque d'erreur
- Représentation simpliste
I-beam : peau / cœur / peau

=> Profil de densité

Profil de densité

Analyseur de densité à rayons X

CRMR@Université Laval



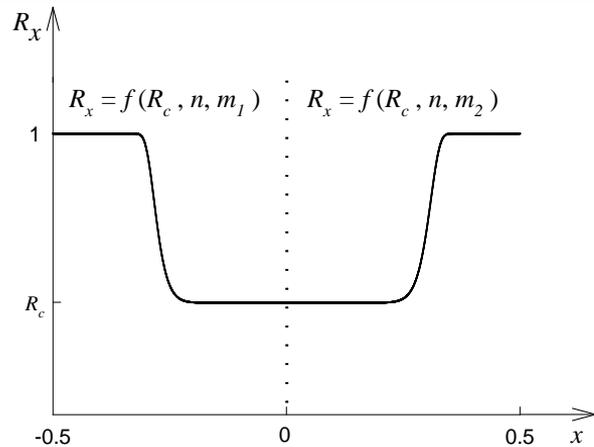
Variations locales

- Échantillon 3 000 μm
- Fibres $\sim 325 \mu\text{m}$
- Cellules 54 – 265 μm
- Résolution 20 μm

Tissandier et al. J Cell Plast (2014) 1-25 (publié en ligne le 27 mars 2014)

Profil de densité

$$R_x = R_c + (1 - R_c) \frac{1 + \cos\left(\frac{\rho |2x|^n}{2}\right)}{2}$$



Paramètres du modèle

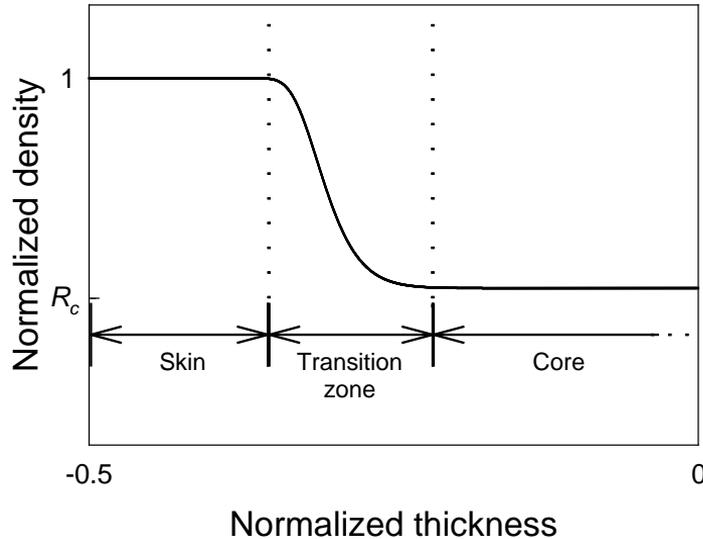
- R_c, n, m_1, m_2

Densité relative

- Expérimentale (pycnomètre N_2)
- Modèle

Moyenne des écarts absolus : 2%

Épaisseurs des peaux et du cœur



Peau et cœur = plateaux

Zone de transition

- Non-négligeable **4 – 31%**

Rapport des épaisseurs des peaux

- Symétriques **~ 1.00**
- Asymétriques **1.10 – 1.30**

Propriétés mécaniques

Modules élastiques relatifs

- Flexion
- Traction
- Torsion

F_1 et F_2
 E
 G

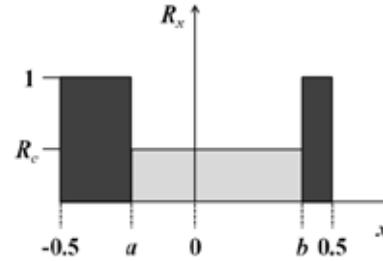
Modèles mécaniques

- Loi de puissance (Moore)

$$\frac{M_f}{M_s} = \frac{\alpha r_f}{\alpha r_s} \frac{\sigma_f^2}{\sigma_s^2}$$

Tissandier et al. J Cell Plast (2014) (soumis)

- I-beam

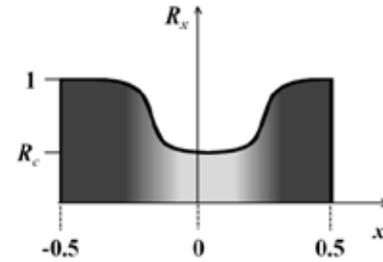


$$\frac{F_f}{F_s} = \frac{1}{4} + (R_c^2 - 1)(b^3 - a^3)$$

$$\frac{E_f}{E_s} = 1 + (R_c^2 - 1)(b - a)$$

$$\frac{G_f}{G_s} = 1 + r_c^3 R_c (R_c^2 - 1)$$

- Profil de densité



$$\frac{F_f}{F_s} = 3 \int_{-0.5}^{+0.5} R_x^2 x^2 dx$$

$$\frac{E_f}{E_s} = \int_{-0.5}^{+0.5} R_x^2 dx$$

$$\frac{G_f}{G_s} = \int_{-0.5}^{+0.5} R_x^2 dx$$

Propriétés mécaniques

Moyenne des écarts absolus avec les valeurs expérimentales (%)

		Loi de puissance	I-beam	Profil de densité
Flexion	F_1	13 ± 9	9 ± 7	6 ± 4
Flexion	F_2	12 ± 8	8 ± 6	4 ± 3
Traction	E	8 ± 7	7 ± 6	5 ± 5
Torsion	G	10 ± 7	6 ± 4	2 ± 2

Conclusions

Profil de densité

- **Image complète** de la distribution de la matière
- Méthode **simple et rapide** pour déterminer l'épaisseur des peaux, du cœur et des zones de transition
- Prédire avec une **grande précision** tous les modules mécanique

Conclusions

Adaptable à d'autres composites moussés

- PS/fibres d'agave [Moscoso et al. 2013]
- PP/fibres de carbone [Ameli et al. 2013]

Combinable à d'autres modèles (composites non-moussés)

- Loi de mélanges
- Loi inverse des mélanges
- Modèles d'Halpin-Tsai, de Nairn, de Mendels...


$$\frac{E_f}{E_s} = \int_{-0.5}^{+0.5} \sigma R_x^2 dx$$

Remerciements



UNIVERSITÉ
LAVAL



CENTRE DE RECHERCHE
SUR LES MATÉRIAUX
RENOUVELABLES



Conseil de recherches en sciences
naturelles et en génie du Canada

Natural Sciences and Engineering
Research Council of Canada

Canada 

Relations
internationales

Québec 