



HAL
open science

Comportement effectif de la paroi cellulaire du bois: comparaison numérique et analytique

Nhat Phan, Auslender François, Gril Joseph, Rostand Moutou Pitti

► To cite this version:

Nhat Phan, Auslender François, Gril Joseph, Rostand Moutou Pitti. Comportement effectif de la paroi cellulaire du bois: comparaison numérique et analytique. 9ème journées du GDR 3544 “ Sciences du bois ” - Grenoble, 18-20 novembre 2020, Nov 2020, Grenoble, France. hal-03042634

HAL Id: hal-03042634

<https://hal.science/hal-03042634>

Submitted on 7 Dec 2020

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



1. Contexte et objectifs

- Contexte:** Les comportements mécaniques du bois portent une grande variabilité, ils sont étroitement liés à sa structure, du niveau moléculaire au niveau macroscopique.
- Objectif:** Analyser numériquement et analytiquement les propriétés élastiques linéaires de la paroi cellulaire du bois à travers des modèles de changement d'échelle. Ces deux approches sont basées sur la description de la structure subpariétale et la disposition géométrique des macrofibrilles incurvées et reliées entre elles dans la paroi S2 à l'échelle subpariétale.

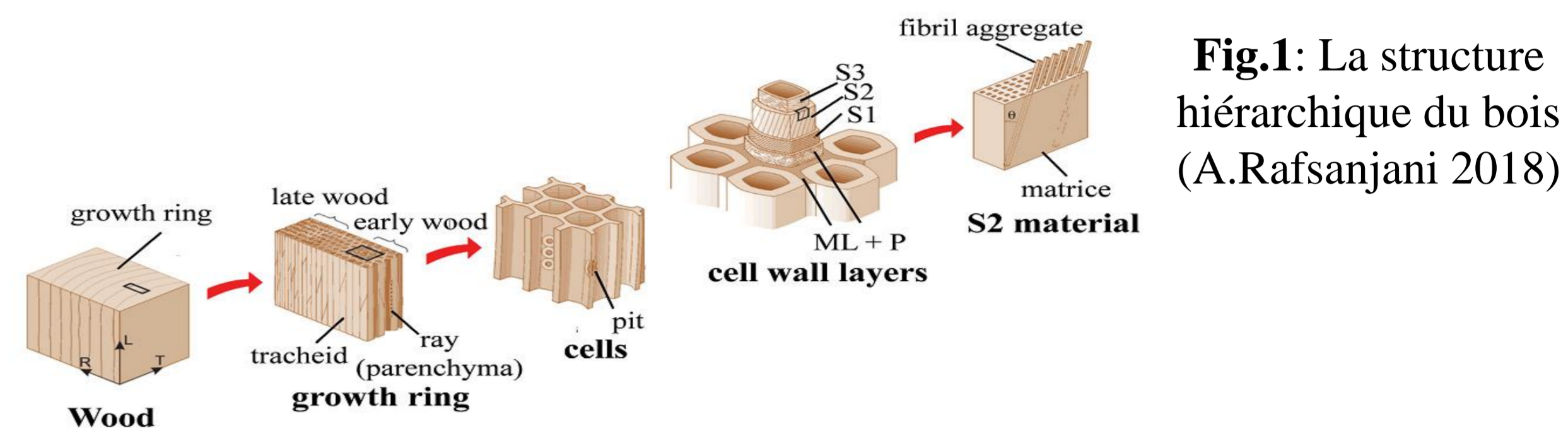


Fig.1: La structure hiérarchique du bois (A.Rafsanjani 2018)

2. Description de la cellule élémentaire

- La paroi cellulaire est constituée de couches concentriques, chacune composée de microfibrilles de cellulose entourée par une matrice amorphe composée d'un mélange d'hémicellulose et de lignine comme la Fig.2a (Salmén 2004).
- La cellule unitaire est constituée de la façon suivante (Fig.2b):
 - de deux macrofibrilles reliées et incurvées dans le plan xy et entourées de matrice selon la géométrie décrite par la Fig. 2b.
 - par d'ailleurs, on suppose en plus la présence d'une couche de matrice d'épaisseur constante séparant ainsi dans cette direction les macrofibrilles d'une couche périodique à une autre dans la direction z .

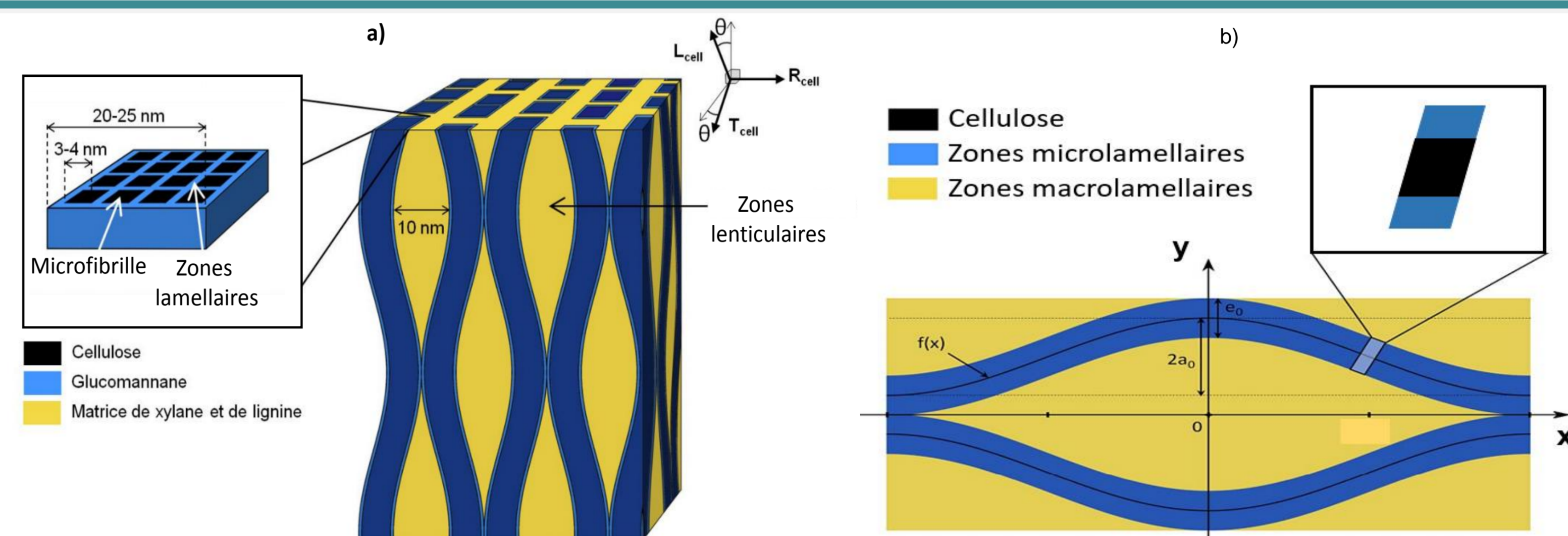


Fig.2: Structure schématique des macrofibrilles connectées et incurvées (Marie 2017)

3. Approche numérique

Description du maillage

- Les deux macrofibrilles sont générées à partir d'une courbe sinusoïdale. On suppose qu'elles ont un comportement élastique isotrope transverse.
- La matrice est constituée de deux zones différentes comme décrites par la Fig. 3, son comportement est élastique linéaire isotrope.

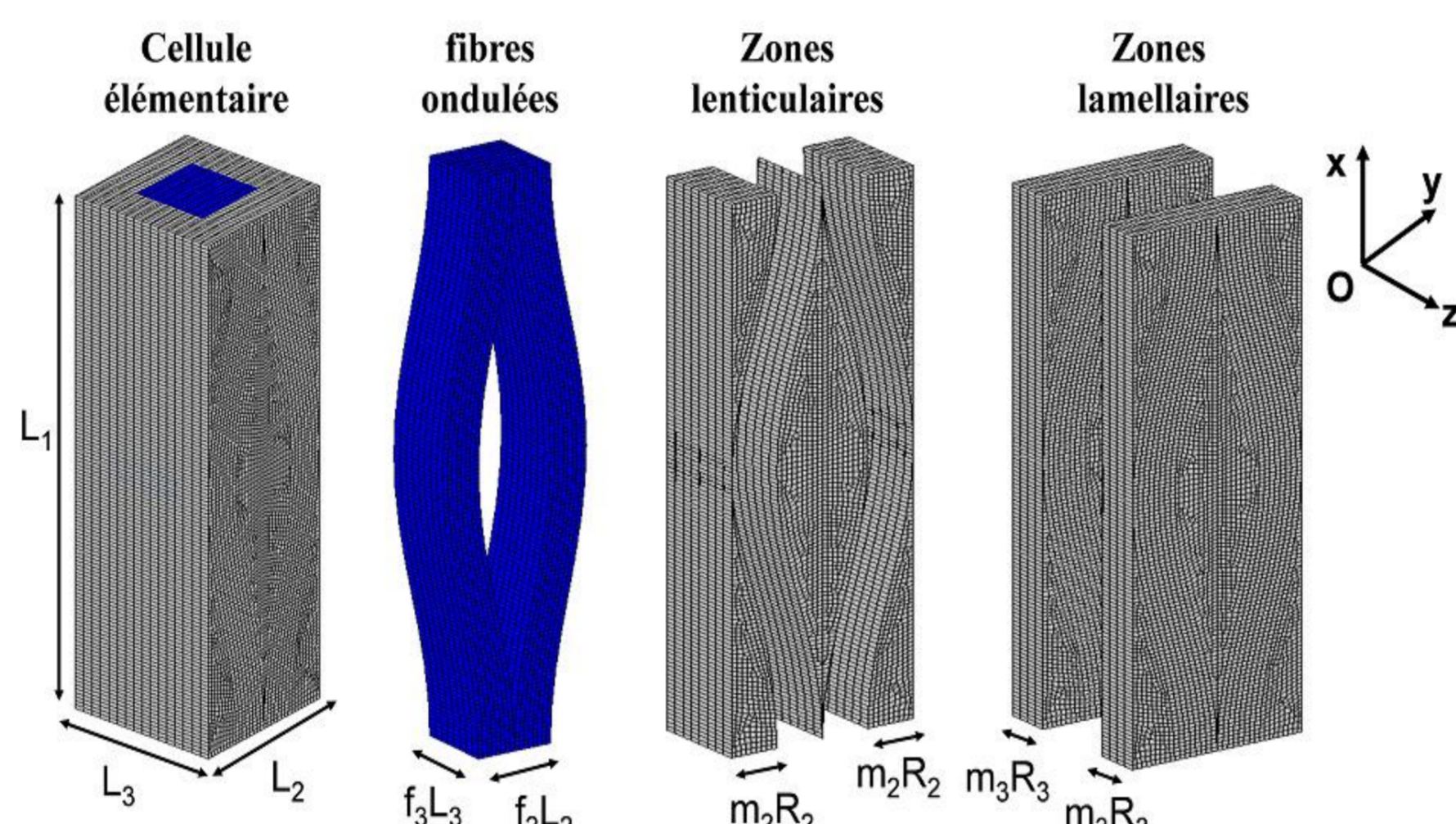


Fig. 3: Maillage d'une cellule élémentaire périodique à deux fibres ondulées

Calcul du comportement effectif

- Nous utilisons une approche en déformation et appliquons ainsi des conditions aux limites (CL) périodiques (Bornert et al. 2001) du type :

$$u_i(\underline{x}) = E_{ij}^0 \cdot x_j + u'_i(\underline{x}) \quad (1)$$

Où: E_{ij}^0 est le tenseur homogène des déformations macroscopique, $u'_i(\underline{x})$ représente un champ de déplacement périodique.

- En appliquant 6 chargements élémentaires différents et en résolvant le problème local d'élasticité associé à la cellule élémentaire soumise à ces CL, on calcule la contrainte macroscopique $\bar{\sigma}_{ij}$ à l'aide de la relation :

$$\bar{\sigma}_{ij} = \langle \sigma_{ij} \rangle = \frac{1}{V} \int_V \sigma_{ij} dV \quad (2)$$

- Les propriétés élastiques effectives \tilde{C}_{ijkl} de la paroi cellulaire sont alors déterminées par la relation suivante:

$$\bar{\sigma}_{ij} = \tilde{C}_{ijkl} \cdot \bar{\epsilon}_{kl} \quad (3)$$

4. Approche analytique

Une approche analytique en contraintes planes basée sur la description géométrique de la cellule unitaire définie précédemment a été proposée par J. Gril (1988). Cette approche permet la détermination de la rigidité du réseau de macrofibrilles en l'absence de matrice (Fig. 4).

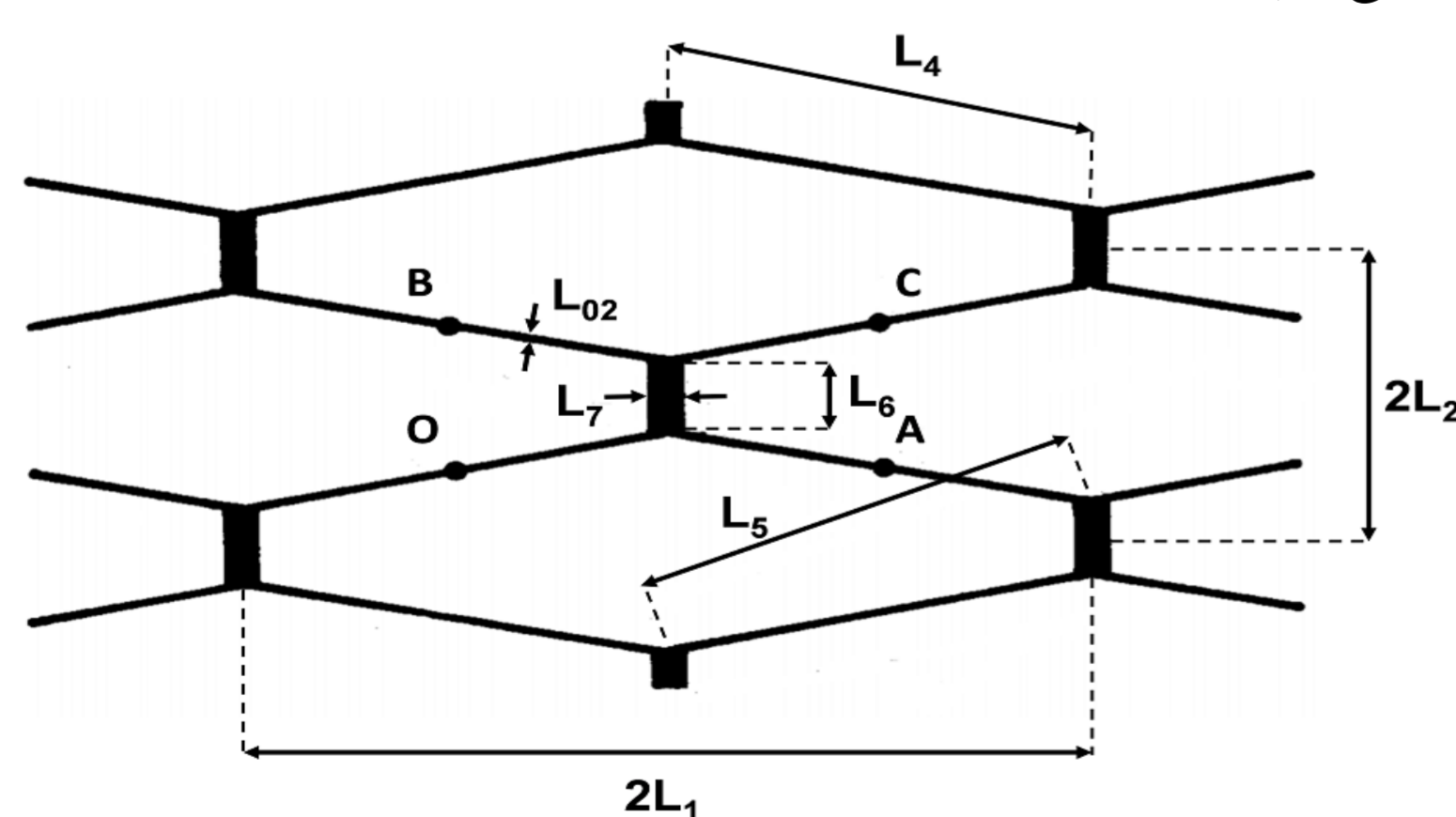


Fig. 4: Schématisation d'une lamelle du réseau microfibrillaire à l'aide d'un assemblage périodique de poutres et de poutrelles

5. Résultats et discussions

- Les résultats obtenus analytiquement par l'approche de Gril (1988) sont confrontés à ceux issus de l'approche numérique dans le cas d'une matrice infiniment souple (Fig. 5).

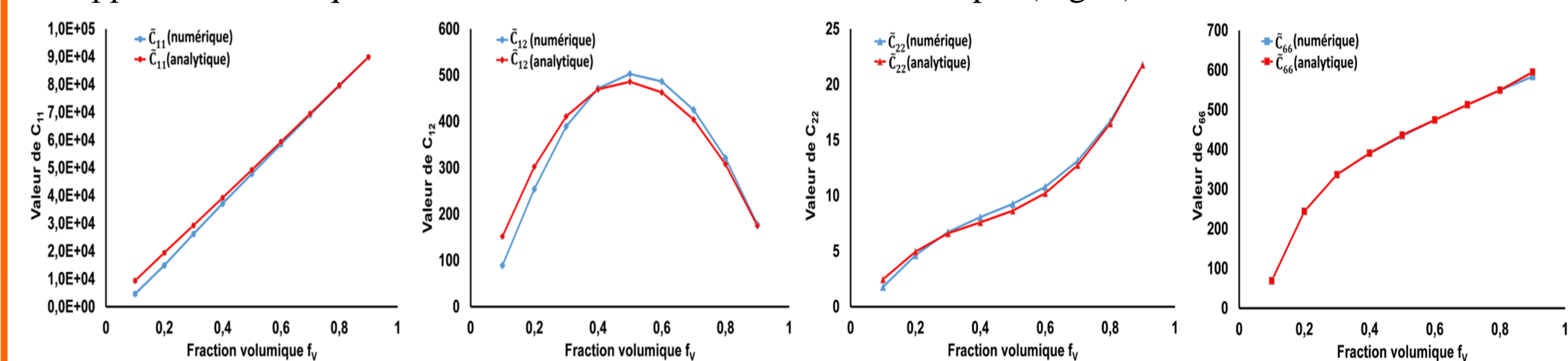


Fig. 5: Comparisons des \tilde{C}_{ij} entre les deux approches en faisant varier la fraction volumique des fibres

- Cette comparaison est basée sur les composantes de la matrice de rigidité obtenues en faisant varier la fraction volumique des fibres. Pour obtenir cet accord, il a fallu procéder à un ajustement du niveau d'interpénétration (paramètre L6 de la figure 4).

Conclusions et perspective

- Le modèle analytique décrit convenablement le comportement effectif du réseau de macrofibrilles évalué par homogénéisation numérique.
- Dans le but de prendre en compte l'ondulation des macrofibrilles dans les trois directions spatiales, une nouvelle description morphologique 3D de la cellule élémentaire est en cours d'élaboration.

Remerciements

Les auteurs remercient l'Université Clermont-Auvergne pour le soutien financier.

Bibliographie

- Bornert M., Bretheau T., Gilormini P. (2001) Homogénéisation en mécanique des matériaux 1: matériaux aléatoires élastiques et milieux périodiques. Tome 1 Composites à microstructure périodique.
- Bonnet M. (2017) Analyse multi-échelle du comportement hygro-mécanique du bois : Mise en évidence par relaxométrie du proton et mesures de champs volumiques de l'influence de l'hétérogénéité au sein du cerne. Thèse de doctorant, Spécialité Structures et Matériaux, Université Paris-Est, page 125-129.
- Ahmad R.A. (2013) Multiscale Poroeastic Model - Bridging the Gap from Cellular to Macroscopic Scale. Doctor of Sciences, ETH Zurich, page 8-10.
- Gril J. (1988) Une modélisation du comportement hygro-rhéologique du bois à partir de sa microstructure. Thèse de doctorat, Université Paris 6, partie 3.
- Salmén L. (2004) Micromechanical Understanding of the Cell-Wall Structure. Comptes Rendus Biologies Volume 327, Issues 9-10 (octobre), Pages 873-880.