

# Influence de la réticulation du réseau fibrillaire cellulosique sur le comportement élastique effectif de la paroi cellulaire du bois

PHAN Nhat Tung<sup>1</sup>, AUSLENDER François<sup>1</sup>, GRIL Joseph<sup>1, 2</sup>, MOUTOU PITTI Rostand<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>Université Clermont Auvergne, Clermont Auvergne INP, Institut Pascal, F-63000 Clermont Ferrand, France

<sup>2</sup>Université Clermont Auvergne, INRA, PIAF, F-63000 Clermont Ferrand, FRANCE

<sup>3</sup>CENAREST, IRT, Libreville, GABON

nhat\_tung.phan@uca.fr

## Introduction

□ **Contexte:** Ces dernières années, l'utilisation de fibres végétales s'est développée dans l'industrie permettant d'offrir une alternative intéressante aux fibres de verre dans les matériaux composites.

□ **Problématique:** L'étude du bois en tant que matériau a mis en évidence de grandes variabilités dans ses comportements. Afin de comprendre ces variabilités, les propriétés mécaniques du bois ont été décrites à diverses échelles d'hétérogénéité (Fig. 1).

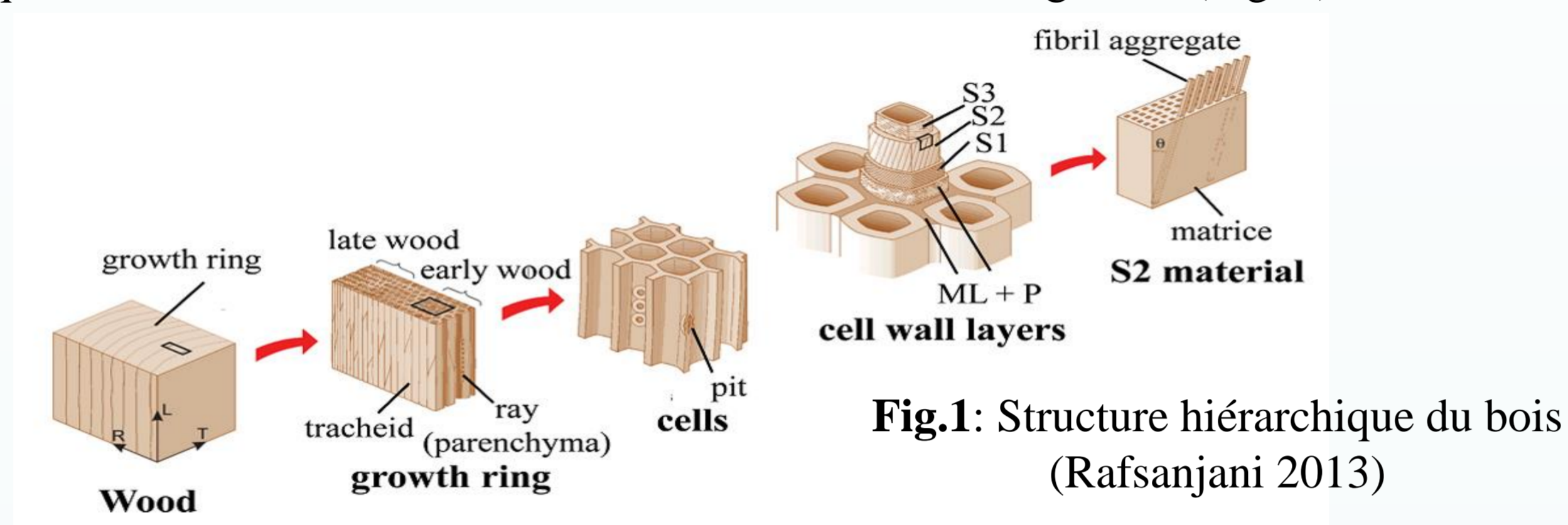


Fig.1: Structure hiérarchique du bois (Rafsanjani 2013)

□ **Objectifs de la thèse:**

- modéliser cette variabilité par l'application des méthodes de changement d'échelle;
- proposer une description géométrique de la structure subpariétale de la paroi S2 avec des microfibrilles incurvées et interconnectées;
- analyser numériquement et analytiquement les propriétés élastiques linéaires effectives de la paroi cellulaire.

## Description de la paroi cellulaire

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 (Fig.2, Salmén 2004).

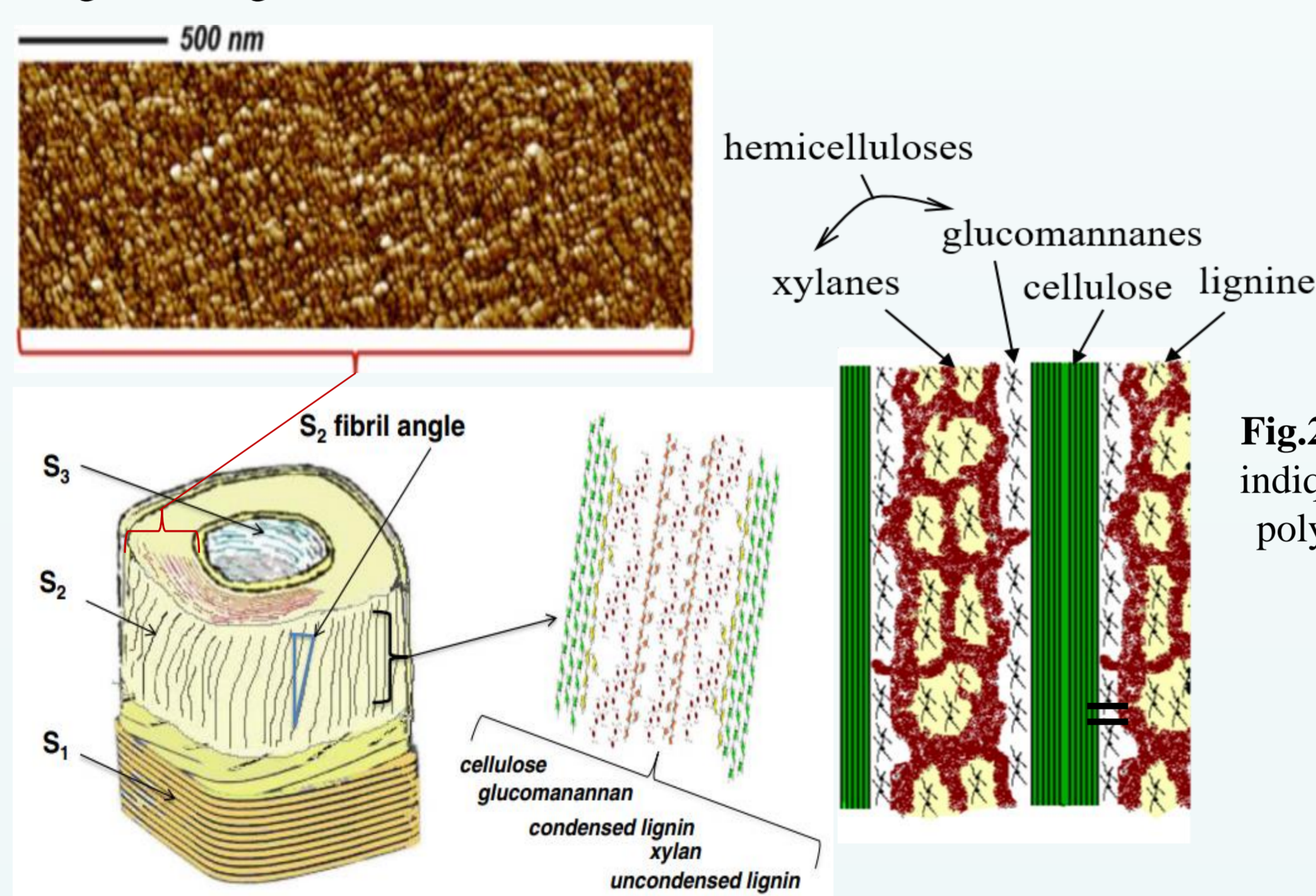


Fig.2: Structure de la paroi cellulaire indiquant la disposition des différents polymères du bois dans la paroi S2.

Qu'est-ce que les chercheurs ont imaginé?

Les figures 3a et 3b correspondent à deux propositions de descriptions de la morphologie des microfibrilles au sein de la paroi cellulaire.

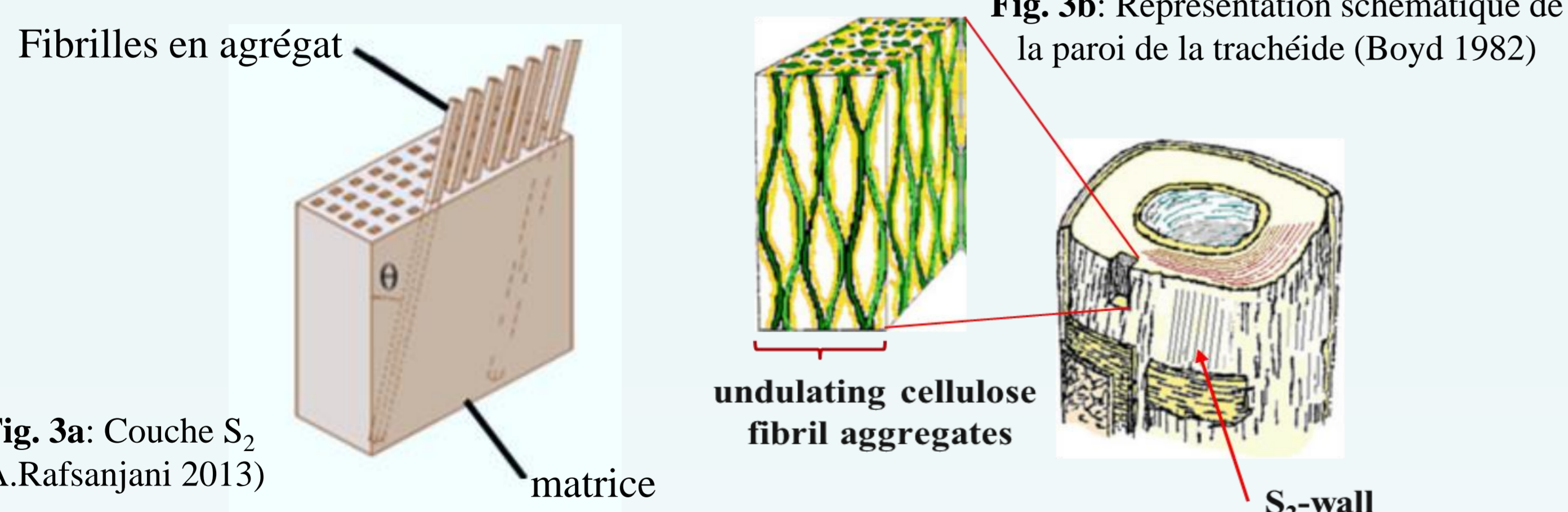


Fig. 3a: Couche S<sub>2</sub> (A.Rafsanjani 2013)

Fig. 3b: Représentation schématique de la paroi de la trachéide (Boyd 1982)

Paroi S<sub>2</sub> modélisée par des « fibres parallèles »

En réalité, les fibres sont « interconnectées et incurvées »

✓ **L'apport de la thèse:** décrire de manière plus réaliste la morphologie de la paroi cellulaire en prenant en compte des microfibrilles incurvées et reliées entre elles plutôt que de les considérer parallèles.

## Méthodologie

□ **Description du maillage de la cellule élémentaire**

Dans l'objectif d'analyser l'effet d'ondulation des microfibrilles au sein de la paroi cellulaire, 3 modèles de morphologie différents de la cellule élémentaire périodique sont proposés. Le maillage de ces 3 modèles 0S, 1S et 2S est réalisé en utilisant des éléments cubiques à 8 nœuds nommés CUB8 dans le code de calcul Cast3M (Fig. 4).

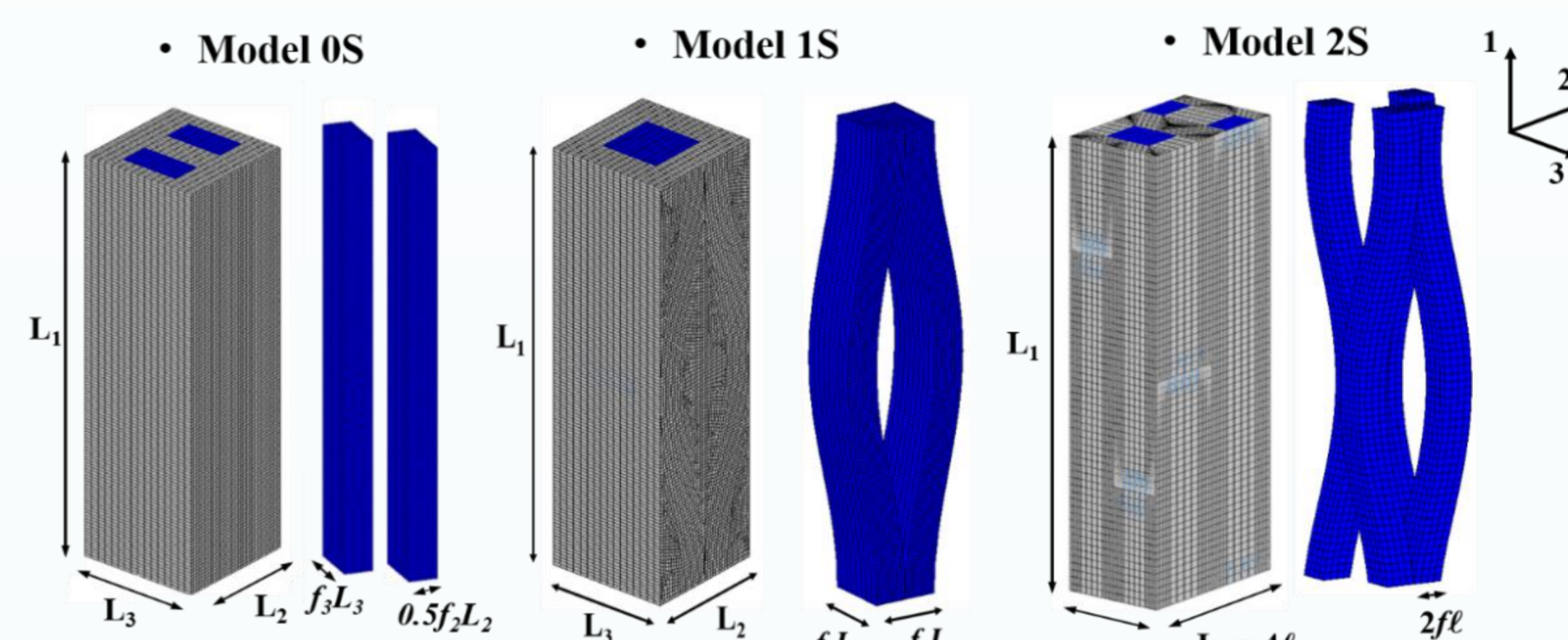


Fig.4: Maillage des cellules élémentaires périodiques.

□ **Calcul du comportement effectif**

Pour calculer le comportement effectif de la cellule élémentaire périodique, nous utilisons une approche en déformation et appliquons des conditions aux limites périodiques (CLP) (Bornert et al. 2001). Pour cela, on considèrera que les fibrilles ont un comportement élastique isotrope transverse et que la matrice est élastique linéaire. On supposera de plus une interface parfaite entre la matrice et les fibrilles. Classiquement, les propriétés élastiques effectives de la paroi S2 sont obtenues en appliquant 6 différents chargements élémentaires tout en résolvant le problème local d'élasticité associé à la cellule élémentaire soumise à ces CLP.

Par ailleurs, par des arguments de symétrie liés à la géométrie de la cellule élémentaire et au comportement des phases, on montre que le comportement effectif est nécessairement orthotrope.

## Résultats

Afin de déterminer les effets des ondulations sur la paroi, nous avons étudié numériquement l'influence de différents paramètres géométriques et matériaux sur son comportement effectif. Pour cela, nous l'avons évalué pour les 3 modèles de microstructure. A titre d'exemple, nous avons reporté sur la Fig. 5 l'évolution des coefficients  $\tilde{C}_{66} = \tilde{G}_{12}$  et  $\tilde{C}_{55} = \tilde{G}_{13}$  en fonction de la concentration des fibres. On s'aperçoit que  $\tilde{C}_{55}$  et  $\tilde{C}_{66}$  sont fortement influencés par l'effet des ondulations.

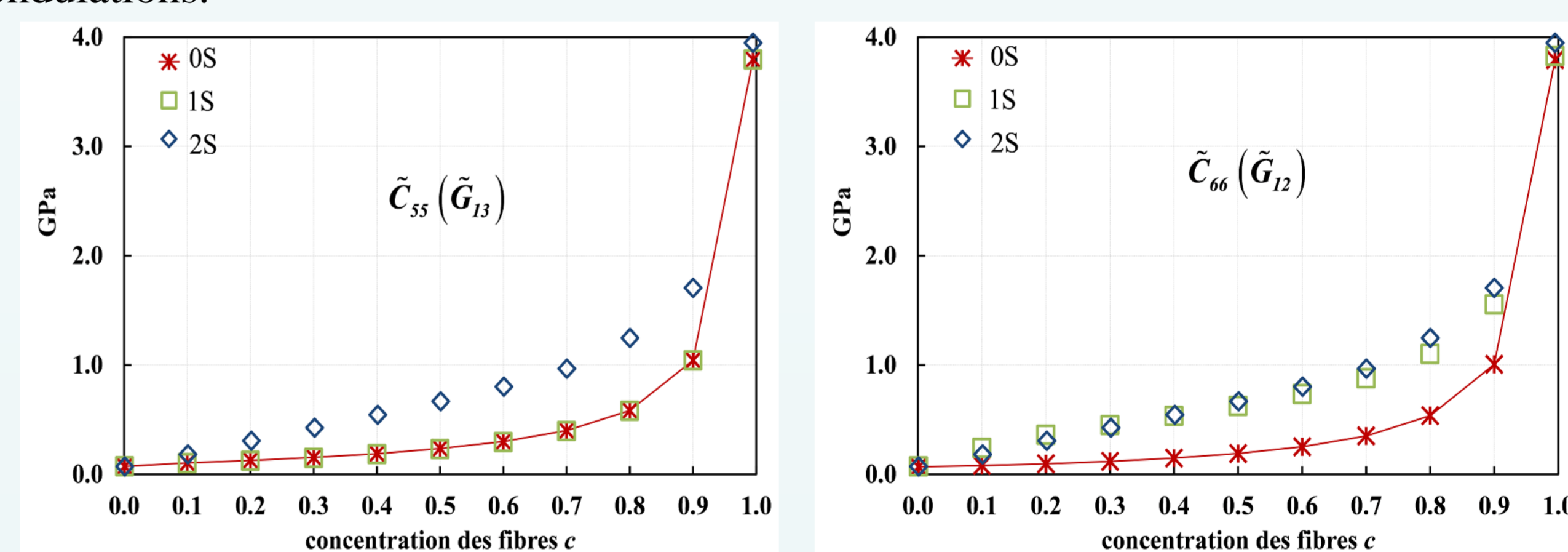


Fig. 5 : Evolution des composantes effectives  $\tilde{C}_{ij}$  en fonction de la concentration des fibres pour les 3 modèles ( $r_\lambda = 1.0$ ,  $r_\phi = 7.5$ ,  $\log_{10}(E_f^E/E^M) = 3.0$ )

## Conclusions et Perspectives

□ **Conclusions:**

- Les modèles 1S et 2S décrivent de manière équivalente les coefficients les plus influencés  $\tilde{G}_{12}$ ,  $\tilde{\nu}_{12}$  (équivalent à  $\tilde{C}_{66}$  et  $\tilde{C}_{12}$ ) par l'effet d'ondulation dans le plan (1-2).
- Le modèle 2S met en évidence l'effet d'ondulation des microfibrilles dans le plan (1-3) sur les composantes  $\tilde{G}_{13}$ ,  $\tilde{\nu}_{13}$  ( $\tilde{C}_{55}$  et  $\tilde{C}_{13}$ ) du comportement effectif de la paroi cellulaire.

□ **Perspectives:**

- Analyser l'influence des ondulations sur les propriétés hygro-élastiques effectives à travers une étude paramétrique.
- Introduction d'un modèle de changement d'échelle supplémentaire allant de la paroi secondaire à la cellule de bois pour étudier l'effet des ondulations sur la cellule du bois.

## 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.
- Boyd J. D. (1982) An anatomical explanation for viscoelastic and mechanosorptive creep in wood, and effects of loading rate on strength, in: P. Baas (Ed.), New perspective in wood anatomy, Martinus Nijhoff/Dr. W. Junk Pub., La Hague, p. 171– 222.
- Rafsanjani A. (2013) Multiscale Poroelastic Model - Bridging the Gap from Cellular to Macroscopic Scale. Doctor of Sciences, ETH Zurich, p. 8-10.
- Salmén L. (2004) Micromechanical Understanding of the Cell-Wall Structure. Comptes Rendus Biologies Volume 327, Issues 9–10 (octobre), p. 873-880.
- Salmén L. et Burgert I. (2009), Cell wall features with regard to mechanical performance - A review. Holzforschung, vol. 63, p. 121-129.