

## Modélisation numérique de la mécanique de la paroi cellulaire en croissance

**Lieu du stage :** Laboratoire de Mécanique et Génie Civil (LMGC, Montpellier)

**Encadrants :**

Tancrède ALMERAS (LMGC, Montpellier)

[tancrede.almeras@umontpellier.fr](mailto:tancrede.almeras@umontpellier.fr)

Félix HARTMANN (PIAF, Clermont-Ferrand)

[felix.hartmann@inrae.fr](mailto:felix.hartmann@inrae.fr)

**Contexte scientifique :**

La croissance en volume des cellules végétales est le résultat de l'interaction entre une pression interne à la cellule (pression de turgescence) et le comportement mécanique de la paroi qui l'entoure. L'approche classique (Lockhart, 1965) consiste à décrire ce comportement comme élasto-viscoplastique (modèle de Bingham), caractérisé par un module d'élasticité, un seuil de plasticité, et une viscosité. Ainsi, la cellule ne croît que si sa pression interne induit une contrainte mécanique dans la paroi d'intensité supérieure à ce seuil, et la vitesse de croissance dépend de la viscosité de la paroi. Cependant, la paroi est un milieu hétérogène au moins à deux niveaux :

(1) sa matière constitutive est un composite fait d'une matrice (de pectines et d'hémicelluloses) renforcée par des microfibrilles de cellulose beaucoup plus rigides (Fig. 1a). Ces microfibrilles ont une orientation dans la paroi (Fig. 1b) qui détermine sa direction de plus grande rigidité.

(2) la paroi est un multicouche où chaque couche a une orientation particulière (Fig. 1c). Pendant la croissance, de nouvelles couches sont ajoutées depuis l'intérieur de la cellule, pour compenser l'amincissement de la paroi lié à son allongement plastique.

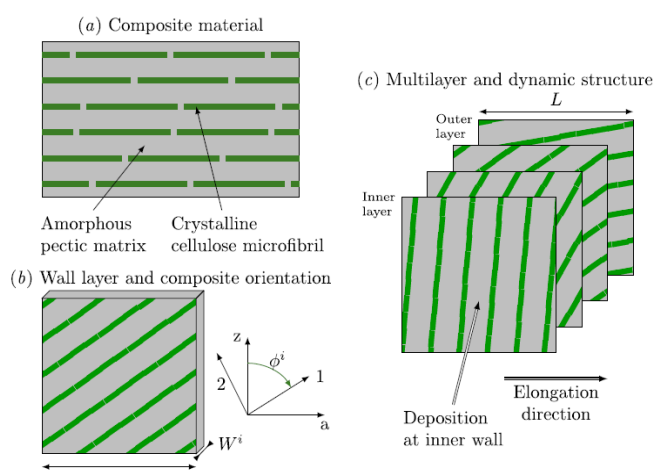


Fig. 1 – Structure hétérogène de la paroi cellulaire

Nous avons implémenté un modèle numérique sous Python permettant de quantifier l'influence de ces sources d'hétérogénéité (nature composite, orientation des microfibrilles, nature multicouche, ajout de matière) sur le comportement élasto-viscoplastique effectif de la paroi en croissance.

**Objectifs du stage :**

Le stage proposé a pour objectif d'étendre et d'exploiter ce modèle, en l'appliquant à deux cas d'étude : la croissance de cellules cylindriques isolées (algues) et la croissance des cellules du cambium (bois). Ces cas correspondent à des conditions aux limites différentes : les parois de cellules isolées sont soumises à des contraintes imposées dans les deux directions, alors que celle des cellules du cambium sont empêchées de se déformer dans une direction. Il s'agira de réaliser les développements numériques permettant d'implémenter ces conditions aux limites, et de faire une étude paramétrique du comportement effectif de la paroi en fonction des différents paramètres du modèle (comportement des constituants élémentaires, orientation des microfibrilles, vitesse d'épaississement de la paroi).

**Profil recherché :**

- Étudiant-e de master 2 ou élève ingénieur-e en fin de cycle de formation en mécanique, physique ou mathématiques appliquées.
- Une maîtrise des techniques numériques et des outils de programmation est nécessaire. La connaissance de Python est très fortement souhaitée.
- Une appétence pour la biomécanique ou la mécanique de composites sera appréciée.

**Moyens mis à disposition :** un ordinateur et un bureau au sein du laboratoire. Café à volonté !

**Durée du stage :** de 4 à 6 mois, selon la date de début (fin du stage : fin juillet au plus tard).

**Gratification** de stage au tarif en vigueur.