

## Les briques du vivant Modélisation des tissus

Jean-Marie ROSSI<sup>1</sup>  
Olivier BOIRON<sup>2</sup>  
Stéphane BOURGEOIS<sup>3</sup>

L'échelle d'observation correspond à l'échelle macroscopique du mécanicien qui considère la matière biologique comme un milieu continu. Les tissus sont considérés comme des milieux hétérogènes qui possèdent des microstructures plus ou moins ordonnées et au sein desquelles circulent éventuellement des fluides. Il faut alors recourir à des méthodes de changements d'échelles qui permettent d'obtenir des modèles de comportements mécaniques globaux.

Au travers d'une problématique clinique réelle, l'objectif de cet enseignement consiste à exploiter des outils théoriques et numériques de la mécanique et de l'analyse d'images pour comprendre et modéliser à différentes échelles les tissus biologiques : os, tendons, cartilages, ligaments, ...

Les aspects suivants sont donc abordés :

- Couplage fluide/structure, milieux poreux ;
- Homogénéisation de matériaux et structures hétérogènes afin d'obtenir des modèles de comportements mécaniques globaux (rigidité, perméabilité, ... ) ;
- Modélisation dynamique de l'évolution des tissus vivants (remodelage, différenciation cellulaire, pathologies, traitements, ... ) ;
- Reconstruction 3D de modèles aux éléments finis anatomiques aux échelles macro ou micro à partir d'images médicales (RX, micro-scan, IRM, ... ) ;
- Optimisation du design d'un implant ou d'un biomatériau (dimensionnement, lien avec la fabrication 3D, pratiques chirurgicales, ... ) ;
- Initiation à la modélisation par éléments finis avec des logiciels comme ABAQUS ou COMSOL (TP sur machines).

### Modélisation mécanique des tissus osseux (J.-M. ROSSI)

#### Séance 1 : Introduction à la Biomécanique (2h)

Grands domaines d'analyse et d'application.  
Petite histoire de la biomécanique.  
Différentes approches (in vivo, in vitro, in silico).

#### Séance 2 : Le tissu osseux (2h)

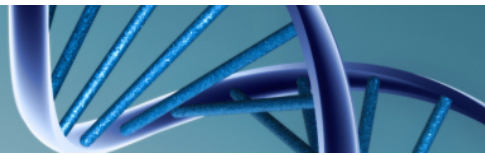
Fonction des os.  
Classification des os.  
Constituants du tissu osseux.  
Classification des tissus osseux.  
Os cortical versus os trabéculaire.  
Processus de remodelage osseux.  
Quelques pathologies osseuses.

#### Séance 3 : Comportement mécanique du tissu osseux (2h)

À l'échelle macroscopique.  
À l'échelle microscopique.  
À l'échelle nanoscopique.  
Différentes techniques de caractérisation et influence des paramètres biologiques sur le comportement mécanique des tissus.

---

1. [jean-marie.rossi@centrale-marseille.fr](mailto:jean-marie.rossi@centrale-marseille.fr), ISM - CNRS UMR7287  
2. [olivier.boiron@centrale-marseille.fr](mailto:olivier.boiron@centrale-marseille.fr), IRPHE - CNRS UMR7342  
3. [stephane.bourgeois@centrale-marseille.fr](mailto:stephane.bourgeois@centrale-marseille.fr), LMA - CNRS UPR7051



## Modélisation des écoulements dans les tissus (O. BOIRON)

### Séance 1 : Fluides biologiques (2h)

Caractéristiques biologiques des principaux fluides biologiques.  
Éléments de rhéologie, fluides non newtoniens.  
Principaux écoulements physiologiques, effets de l'instationnarité et de la rhéologie.

### Séance 2 : Transferts au sein des tissus (2h)

Les tissus assimilés à des milieux poreux.  
Éléments de base de la mécanique des milieux poreux.

### Séance 3 : Écoulements physiologiques (TP numérique avec le logiciel COMSOL) (2h)

Écoulements oscillants vs pulsés.  
Transferts de scalaires passifs aux parois.

## Modélisation des tissus par méthodes d'homogénéisation (S. BOURGEOIS)

### Séance 1 : Principe des techniques d'homogénéisation (2h)

Principes et méthodes d'homogénéisation.

### Séance 2 : Principales méthodes d'homogénéisation (2h)

Méthodes en champs complets (Voigt, Reuss, modules effectifs, homogénéisation périodique).  
Mise en œuvre dans un code de calcul numérique pour l'estimation des tenseurs d'élasticité homogénéisés.  
Méthodes en champs moyens pour les milieux isotropes (problème d'Eshelby, estimations de Hashin et Shtrikman, Mori-Tanaka, autocohérent, bornes de Walpole).  
Cas des tissus à fibres longues unidirectionnelles.  
Perméabilité des milieux poreux périodiques.

### Séance 3 : Étude de cas avec le logiciel Abaqus (4h)

Estimations des caractéristiques élastiques d'un tissu périodique à fibres longues unidirectionnelles par la méthode d'homogénéisation périodique ;  
Comparaison de différentes méthodes appliquées à un tissu osseux à partir d'un échantillon dont la micro-structure a été obtenue par micro-tomographie.

*Contrôle des connaissances* : contrôle continu (interrogations écrites, compte-rendu de TP).

### *Supports de cours*

Disponibles en intranet (Claroline : Cours [ING-S8-BIO-1](#)).

### *Ouvrages de références*

- S. C. Cowin** : "Tissue mechanics", Springer.
- S. De** : "Computational modeling in biomechanics", Springer.

### *Sources bibliographiques complémentaires*

- C. Mattheck** : "Design in nature : learning from trees", Springer.

[Retour](#)