**Intitulé de l’Unité d’Enseignement / Entité Constitutive (UE/EC) :** MILIEUX POREUX ET SUSPENSIONS

**Code UE :** MU5MEF23

**Volumes horaires / étu :** 20h Cours 12h TD Projet : travail personnel

**Nombre de crédits de l’UE/EC :** 3 ECTS

**Mention(s) de Master de l’UE :** X Mécanique AR E3A

**Parcours-type :** E3A : CIMES Syscom IPS

AR : SAR ISI

MECA : MS2 X MF2A EE X CompMech ACOU EE APP

**Semestre où l’enseignement est proposé :** S1 S2 X S3 S4

**Langue d’enseignement :** X Français Anglais

**Public concerné :** X Sorbonne Université Autre (préciser) :

**Localisation :** X Campus UPMC Autre (préciser) :

**Objectifs de l’enseignement :**

Les matériaux poreux et les suspensions sont des milieux complexes, naturels ou artificiels (massif rocheux fracturé, tas de sable, matériau céramique, suspension de particules dans un fleuve, de pigments dans une peinture, …) qui se caractérisent par une composition hétérogène et multiéchelle incluant plusieurs constituants solides ou fluides. Une description simplifiée de ces milieux consiste à s'intéresser essentiellement à deux échelles : l’échelle microscopique des hétérogénéités (fracture, grain de sable, particule en suspension, etc.) et l’échelle macroscopique correspondant à la mise en oeuvre de ce milieu pour une application donnée.

L'objectif de cet enseignement est d'acquérir les connaissances de base permettant de passer de l'échelle microscopique à l'échelle macroscopique pour décrire ces milieux hétérogènes à l'aide de grandeurs moyennes, et en particulier pour construire les lois de comportement du milieu macroscopique homogène "équivalent".

Plusieurs techniques de prise de moyenne sont envisagées selon que la répartition spatiale des hétérogénéités est aléatoire, ordonnée, ou régie par leur interaction avec l'écoulement.

Les applications industrielles et techniques sont également abordées, ainsi que l'état des recherches récentes dans ce domaine.

**Connaissances et compétences acquises par l’étudiant à l’issue de l’enseignement :**

Analyser les différentes échelles utiles à la description d'un milieu hétérogène.

Savoir définir une échelle d'observation et une moyenne représentative des propriétés à cette échelle.

Comprendre et mettre en oeuvre la notion de milieu homogène équivalent ou effectif.

Comparer les modèles aux résultats expérimentaux.

**Contenu de l’enseignement :**

* Milieux poreux : Exemples, caractéristiques géométriques. Techniques de modélisation macroscopique : méthodes statistiques de prise de moyenne, méthode de l’homogénéisation avec développements multi-échelles pour des milieux périodiques. Exemples sur les loi linéaires (diffusion den milieu poreux). Ecoulements monophasiques : lois de filtration (Darcy, Brinkman, Forcheimer) ; modèles de perméabilité (cellule de type Hele-Shaw, réseau de capillaires). Problèmes de transport en milieux poreux, application aux polluants (dispersion de Taylor, coefficients de diffusion effective).
* Dynamique des suspensions : Notions de base en microhydrodynamique (sphère placée dans un écoulement de Stokes, Stokeslet, Rotlet, Stresslet, interactions hydrodynamiques, interactions de doublet de sphères, interactions de lubrification, forces inter-particulaires, mouvement Brownien). Modélisation macroscopique des suspensions (techniques statistiques, lois de bilan, tenseur des contraintes). Sédimentation des suspensions (vitesse de sédimentation d’une sphère, d’un doublet de sphères, vitesse moyenne de sédimentation d’une suspension diluée, approximation pour les suspensions non-diluées, effet du mouvement brownien, des forces attractives, fluide porteur non-Newtonien). Viscosité moyenne d'une suspension (suspension diluée de sphères rigides: viscosité d’Einstein, approximation pour les suspensions non-diluées). Dynamique des suspensions de fibres : orientation de la microstructure par l'écoulement, viscosité elongationnelle.

**Prérequis :** Mécanique des milieux continus.

**Modalités de contrôle des connaissances (indicatives) :**

Examen écrit (50%)

Projet Suspensions (25%) : Sédimentation d'une suspension de billes de verre, théorie et pratique.

Projet Milieu Poreux (25%) : Revue d’un article sur la dispersion de Taylor dans un milieux poreux, calcul des coefficients de diffusion effectifs

**Références bibliographiques :**

* J. Sanchez Hubert, E. Sanchez Palencia, Introduction aux méthodes asymptotiques et à l’homogénéisation, Ed. Masson, Paris, 1992
* G. Allaire, X. Blanc, B. Despres, F. Golze, Transport et Diffusion, Cours Ecole Polytechnique, Séries Mathématiques/Mathématiques Appliquées, 2015
* K. Markov, Elementary Micromechanics of Heterogeneous Media, chapter in Micromechanics Modeling Methods and Simulation, Birkhauser, Boston 2000, pp 1-162, eds. K. Markov and L. Preziosi
* Guyon E., Hulin, J.-P. & Petit L., Hydrodynamique physique,  EDP Sciences, 2012
* D. Barthes-Biesel, Microhydrodynamique et fluides complexes, Ellipses, Ed.Ecole Polytechnique, 2011
* E. Guazzelli and J.F.Morris, A Physical Introduction to Suspension Dynamics, Cambridge, University Press, 2011

**Séquencement de l’enseignement (indicatif) :**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| semaine | C | TD | TP | Projet | Contrôle |
| S1 | Introduction aux milieux poreux : exemples, caractéristiques géométriques. Lois macroscopiques, moyenne volumique sur un VER | Calcul de la conductivité moyenne d’une dispersion diluée de sphères |  |  |  |
| S2 | Méthode d’homogénéisation des milieux périodiques, avec des développements asymptotiques en échelles multiples | Exemple sur la conductivité thermique d’un milieu poreux périodique : obtention de la loi macroscopique et calcul des coefficients moyens |  | Analyse d’un article sur un problème d’homogénéisation |  |
| S3 | Lois de filtration en milieu poreux : loi de Darcy Forchheimer, Brinkman. | Homogénéisation d’un écoulement de Stokes en milieux poreux |  |  |  |
| S4 | Modèle de milieu poreux à deux dimensions : cellule de Hele-Shaw | Modèle de milieu poreux comme un réseau de capillaires, perméabilité, tortuosité |  |  |  |
| S5 | Propriétés physiques des suspensions. | Solutions des équations de Stokes autour d'une sphère. |  |  |  |
| S6 | Vitesse moyenne de sédimentation d'une suspension de sphères | Sphère en translation dans un fluide à petit Re. Notion de Stokeslet. |  | Données pour analyse |  |
| S7 | Viscosité moyenne d'une suspension de sphères | Sphère dans un écoulement linéaire. Notion de Stresslet. |  |  |  |
| S8 | Dynamique des suspensions de fibres | Suspension de fibres en écoulement élongationnel |  |  |  |
|  |  |  |  | Compte-Rendu de l'analyse | Revisions |
|  |  |  |  |  | 3 h |

**Date de la rédaction de la fiche d’UE :** 03/06/2022

**Rédacteurs :** Diana Baltean-Carlès & Anne Mongruel