

# Milieux Continus

## Bachelor semestre 3, coefficient 4

Prof. Jean-Marie Drezet

Maitre d'enseignement et de recherches

jean-marie.drezet@epfl.ch

Cours: Me 10h15-12h00 MXF-1

Exos/TD: Lu 16h15-18h00 en MXG 110

2 assistants:

**Victoria** Douarche <victoria.douarche@epfl.ch>

et **Rémy** Grillet-Aubert <remy.grillet-aubert@epfl.ch>

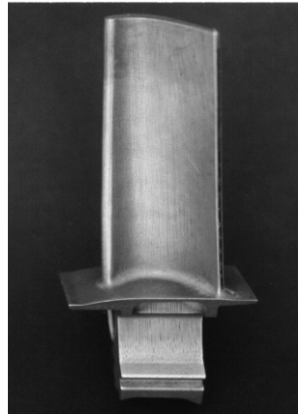
Moodle: cours MSE-203

# Science des matériaux: importance des échelles

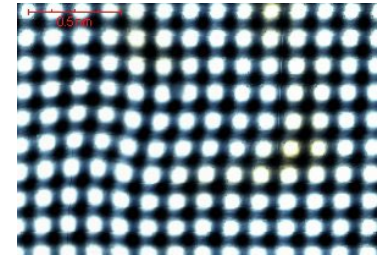
macroscale  
m, cm

Aube de turbine pour un turbo-réacteur

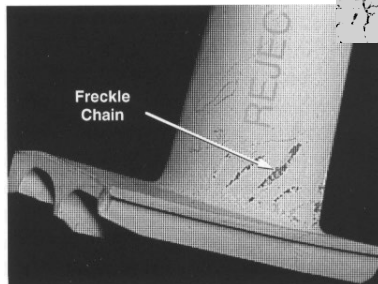
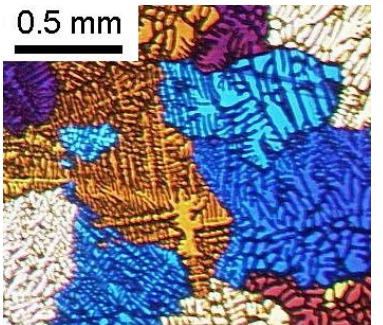
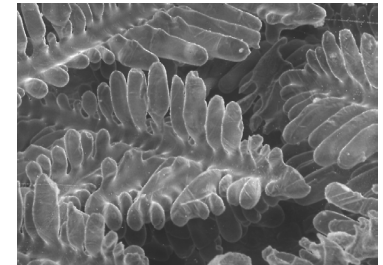
atomic scale  
Å nm



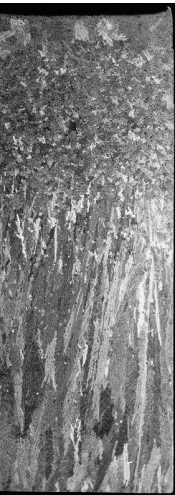
- La science des MX fait le lien entre :
- le procédé de fabrication (eg. la solidification dirigée)
  - la microstructure/défauts obtenus
  - et les propriétés finales résultantes.



microscale  $\mu\text{m}$



mesoscale  
mm



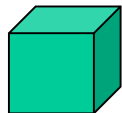
# Science des matériaux: importance des échelles

## Définition d'un milieu continu

La mécanique dite « des milieux continus » s'intéresse au comportement de la matière à une échelle grande devant les distances inter-moléculaires, si bien que la structure moléculaire pourra ne pas être prise en compte de façon explicite.

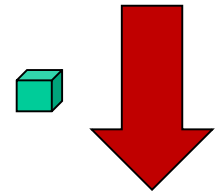
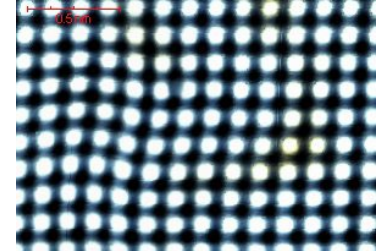
D'où l'hypothèse du milieu continu : un milieu « continu » est un milieu dont le comportement macroscopique peut être schématisé en supposant la matière répartie sur tout le domaine qu'il occupe, et non, comme dans la « réalité », concentrée dans une partie de volume très petite.

Les quantités introduites lors de la schématisation et associées à la matière (par exemple : masse volumique, vitesse,...) sont elles aussi considérées comme réparties sur tout le domaine occupé par le milieu. On les représente alors par des fonctions continues.

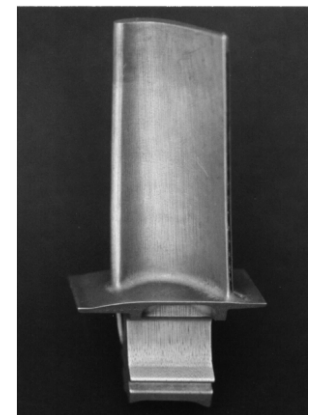


**VER : volume élémentaire représentatif**  
(grand p.r. à l'échelle atomique et petit p.r. à l'échelle de la pièce, ordre de grandeur le  $\mu\text{m}^3$ )

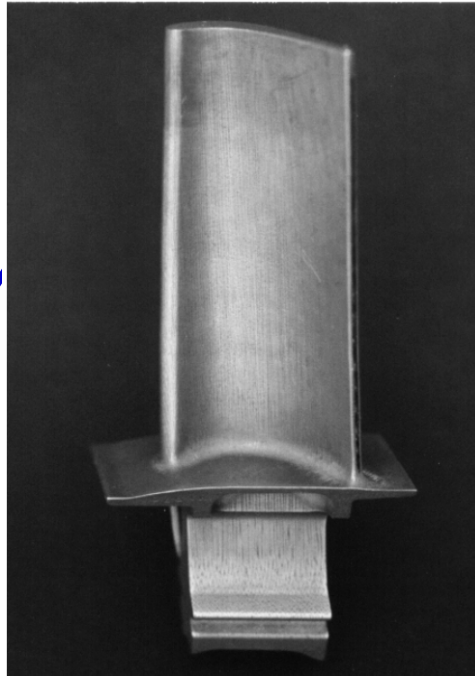
atomic scale  
 $\text{\AA}$  nm



macroscale  
m, cm



# Procédé industriel



Ex. coulée de précision  
en cire perdue

## Propriétés

résistance au fluage à htes temp.  
tenue à la fatigue thermique

## Microstructure

solidification dirigée  
ségrégation

# Milieux Continus

En physique 1<sup>ère</sup> année, la **mécanique du solide indéformable** a été étudiée (mécanique du point, le barycentre).

En 2<sup>ème</sup> année, nous allons essayer de décrire ce qui se passe lorsque le matériau est **déformable et traité comme un continuum à l'échelle de la pièce.**

Introduction des notions de :

tenseur des contraintes  
tenseur des déformations  
lois de conservation (masse, soluté, énergie ...)  
lois constitutives (élasticité, plasticité, ...)

Préalable pour les cours :

rhéologie (Michaud)  
résistance des matériaux (Bourban)  
mécanique rupture, déformation (Logé)  
métaux et alliages (Mortensen)  
théorie et pratique des éléments finis (Drezet)  
fracture mechanich (Molinari et Drezet)

# Milieux Continus

Crash test d'un véhicule ...

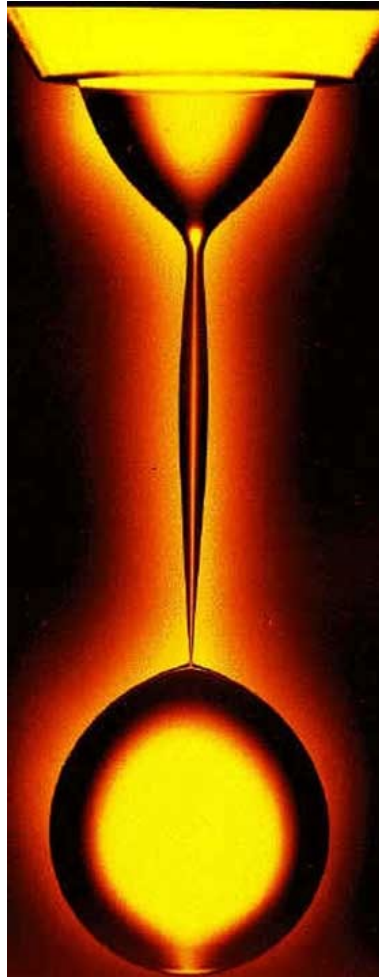


... vrai



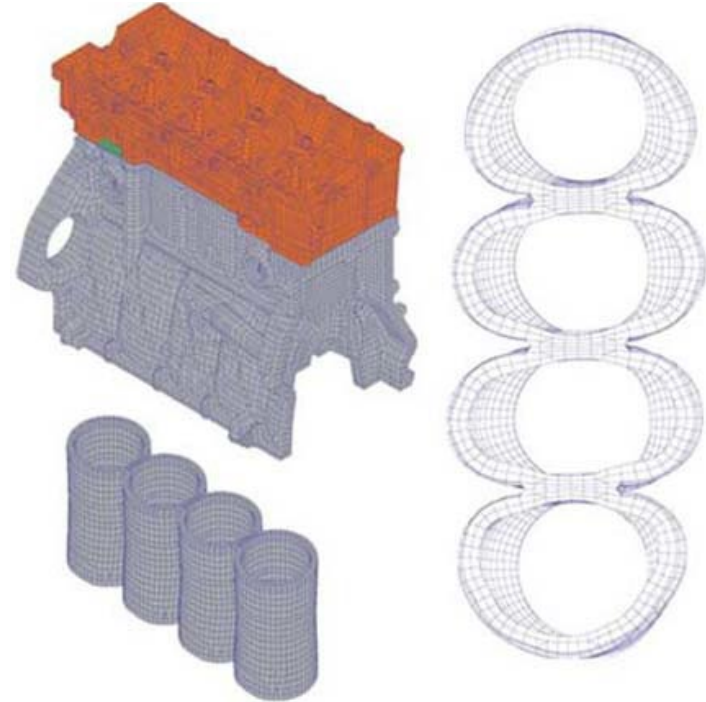
... virtuel

# Milieux Continus



Écoulement de glycérine  
et formation périodique  
d'une gouttelette

Déformation des chemises (x1000) d'un moteur 4  
cylindres (calcul)

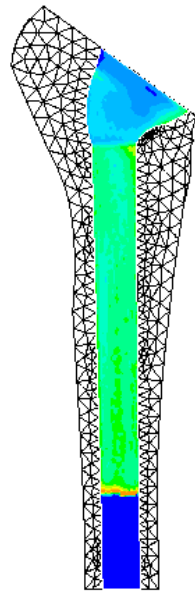
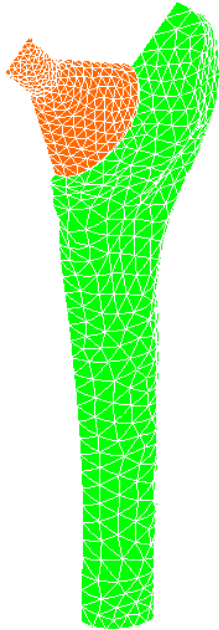
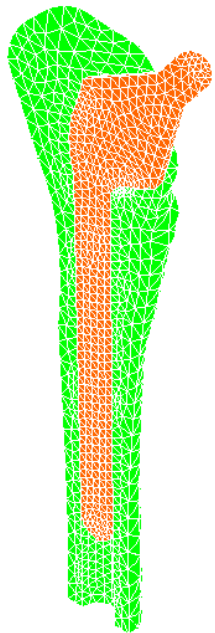


Pour ces cas, pas besoin de considérer la physique au niveau atomique ...  
L'approche des Milieux Continus est suffisante.

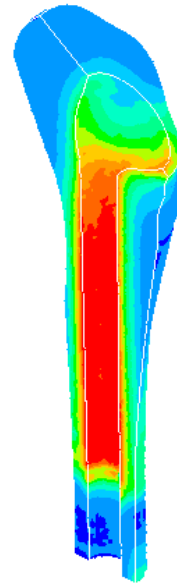
# Milieux Continus

Calcul des contraintes pour l'implantation d'une prothèse

Logiciel Abaqus <http://www.hks.com/products>



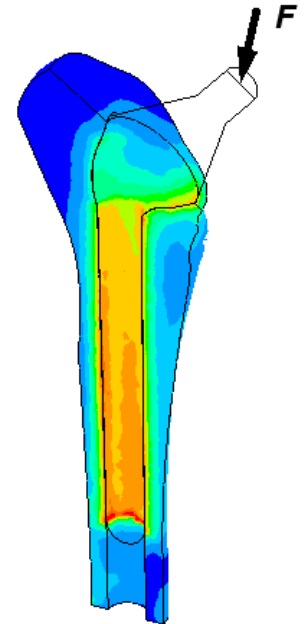
*Distribution of contact pressure in femur.*



*Maximum principal stress in femur due to interference fit.*



*a) Due to interference fit with implant.*



*b) Due to interference fit and applied load.*

Valeur de  $F/poids$  ?

De 5 à 6 ....

# Milieux Continus

Déroulement du cours:

- Bien suivre les cours et faire les exos (au moins tenter une solution) !
- Relire le chapitre après le cours pour compléter vos notes
- Préparer une feuille A4 de notes personnelles (uniquement équations et formules vues en cours, rien d'autre) pour les 2 tests (contrôle continu)

## Savoir appliquer et résoudre la bonne équation au problème

- Maîtriser les outils mathématiques:

le cours tombe en parallèle du cours de Analyse III et Thermodynamique  
calcul vectoriel (grad, div, rot, tenseurs) indispensable  
généralisation des notions (e.g. divergence d'un tenseur)  
équations différentielles (rappels dans le polycopié)

- Comprendre le sens physique et les unités des grandeurs physiques.

# Milieux Continus

8 Sept.	Chapitre 1	JMD	Passage du milieu atomistique au milieu continu
15 Sept.	Chapitre 2	JMD	Représentation de base des milieux continus
24 Sept.	Chapitre 3	JMD	Éléments de calcul vectoriel
1 Oct.	Chapitre 4	JMD	Tenseur des contraintes I
Lu. 6 Oct.	Chapitre 4	MXG- 110	Tenseur des contraintes II
15 Oct.	Chapitre 5	JMD	Tenseur des déformations I
29 Oct.	Chapitre 5	JMD	Tenseur des déformations II
5 Nov.	Midterm 1	MX-F1	Premier propé (correction le lundi suivant)

**NB: Le propé1 se fera en 2h avec 1 page A4 de notes manuscrites**

# Milieux Continus

12 Nov.	Chapitre 6	JMD	Loi fondamentale de conservation : masse spécifique et soluté
19 Nov.	Chapitre 7	JMD	Loi fondamentale de conservation : quantité de mouvement et énergie
26 Nov.	Chapitre 8	JMD	Equations constitutives : élasticité
3 Dec.	Chapitre 9	JMD	Equations constitutives : milieux idéalement visqueux
10 Dec.	Chapitre 10 :	JMD	Equations constitutives : plasticité
17 Dec.	Midterm 2	MX-F1	Second propé.

**NB: Le propé2 se fera en 2h avec 1 feuille A4 de notes manuscrites**

# Milieux Continus

- Polycopié + Notes de cours
- moodle.epfl.ch (Bachelor, Continuum mechanics MSE-203),
- 2-3 exercices corrigés le Lundi suivant (certains peuvent être repris tels quels aux propés), les autres exos ne sont PAS corrigés.
- Notes manuscrites: 1 feuille A4 recto-verso rédigée au fur et à mesure de l'avancement du cours (**chaque feuille A4 sera vérifiée lors des 2 propés de façon à s'assurer qu'elle ne contienne aucune solution d'exos. Le non-respect de ce point sera dénoncé comme fraude à l'examen au SAC**)
- **Présence obligatoire aux 2 propés (midterms).**