

Modélisation numérique multi échelle et matériaux

*Thierry Coupez*¹,



CEMEF – Ecole des Mines de Paris
CIM : Calcul Intensif en Mécanique

Impact de la simulation dans l'industrie

□ Simulation numérique procédés et matériaux

- Disciplines scientifiques
 - Physique de la matière
 - Mécanique
 - Mathématiques appliquées
- Matériaux :
 - Métaux :
 - forgeage, fonderie, extrusion, emboutissage, laminage,...
 - Polymères :
 - injection, extrusion, soufflage, thermoformage
 - Autres matériaux:
 - verre : perlage, fibrage,...
 - céramique, argile (briqueterie)

□ Enjeux industriels

Quelques uns des partenaires industriels du CEMEF :

- *Matière polymère:* Atofina, Dow Chemical, Rhodia
- *électrique :* Schneider, Legrand,
- *automobile :* Renault, Peugeot, Ford
- *équipementier automobile :* Plastic Omnium, Faurecia...
- *aéronautique :* Dassault, Aérospatiale
- *Spatiale :* SNPE, SNECMA
- *optique :* Essilor, Alcatel
- *connectique :* FCI
- *elatomère :* Hutchinson, Michelin
- *fonderie :* Creusot Loire industrie, Ascometal, IRSID...
- *Forgeage :* Peugeot, Snecma, Rolls Royce,...
- *Alimentaire :* Danone, Nestlé
- *Bâtiment:* Lafarge, Terreal
- *Verre:* St Gobain
- ...

Le calcul scientifique, la simulation numérique et révolution informatique.

- *Mathématiques numériques*: du continu au discret: un ensemble de points liés entre eux par un maillage
 - La taille de la maille = la résolution spatiale = l'échelle accessible de la modélisation
- *Solution des grands systèmes linéaires* : $Ax = b$.

Il y a 50 ans : rang = 10.

Aujourd'hui : > 1000 000 000.

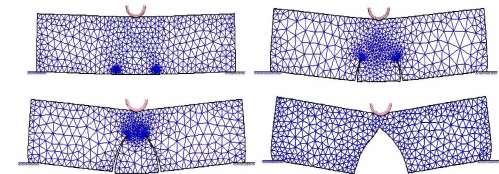
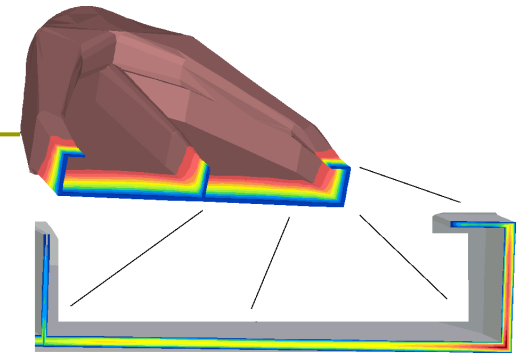
- 2D : $N = O(h^{-2})$ $h/2$ $2 \times N$
- 3D : $N = O(h^{-3})$ $h/2$ $8 \times N$
- 4D : $N = O(h^{-4})$ $h/2$ $16 \times N$

temps de calcul = proportionnel à N^a , mais $a > 1$

- *Puissances de calcul disponibles*
 - *Vitesse des processeurs* : Multi-cœurs, GPU, ...
 - *Clusters et calcul parallèle* : > 1000, 10000,...

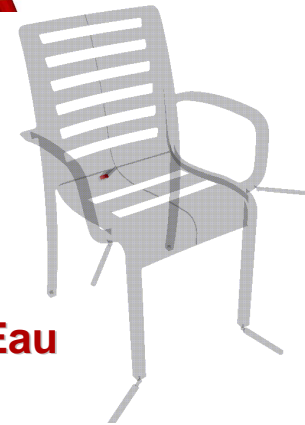
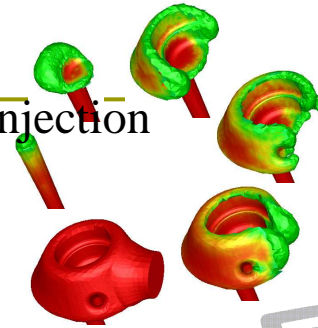
Simulation numérique des procédés de mise en forme des matériaux

Extrusion

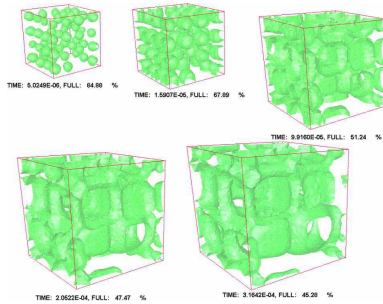


Propagation de fissures

injection

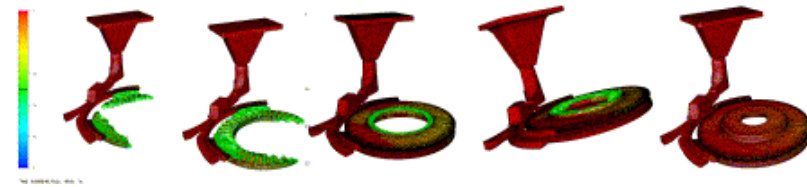


Injection Assistée Eau



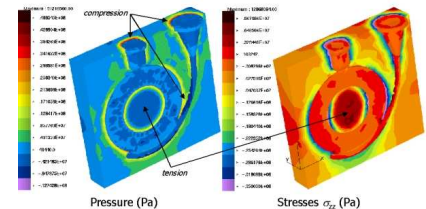
Découpe

Prédiction de la structure d'une mousse par simulation directe



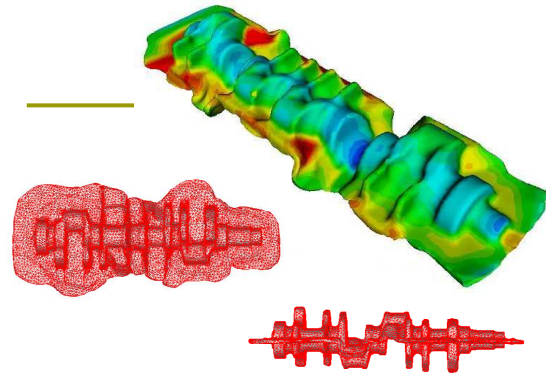
Fonderie

Thermomechanical FEM analysis (stresses & strains)
THERCAST3[®]
 Sand casting of a grey iron braking disk



mécanique numérique

Forgeage



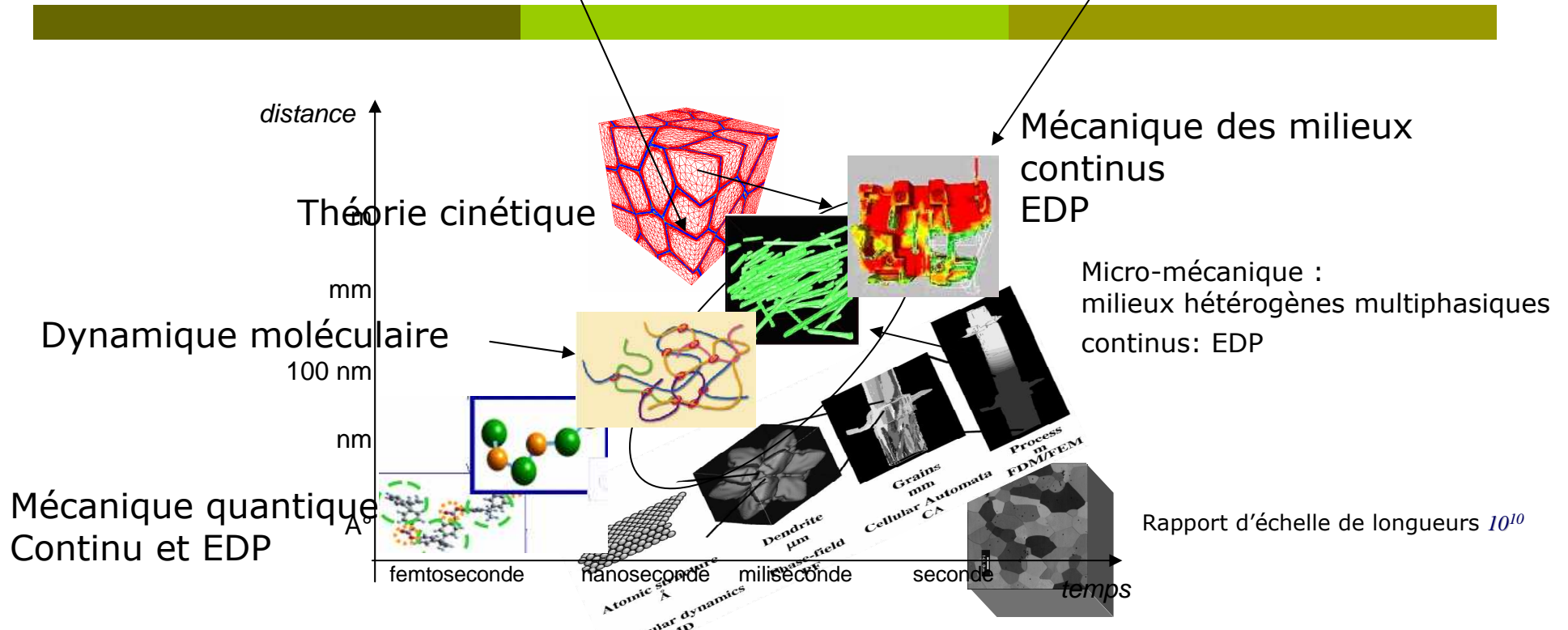
Echelles et modélisation

Modélisation meso/microscopique:

complexité aux échelles intermédiaires
 structure moléculaire du polymère
 et interactions des chaînes
 composites et charges
 grains métallurgiques
 cristallisation

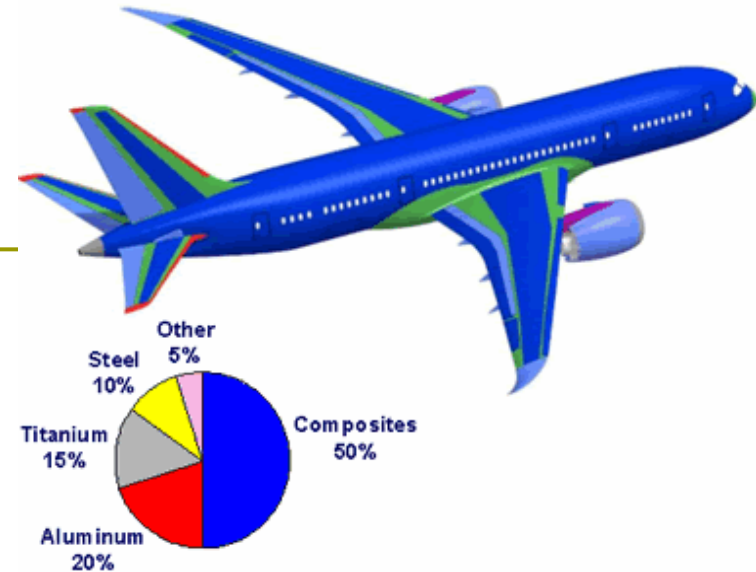
Modélisation macroscopique:

Fabrication et tenue en service
 Déformations et écoulements
 Simulation numérique:
 modèle macro : EDP
 méthodes numériques



Exemple relation procédé-structure: les composites

- ❑ Évolutions dans le domaines des polymères et composites
- ❑ Pièces composites plus épaisses, grandes, complexes



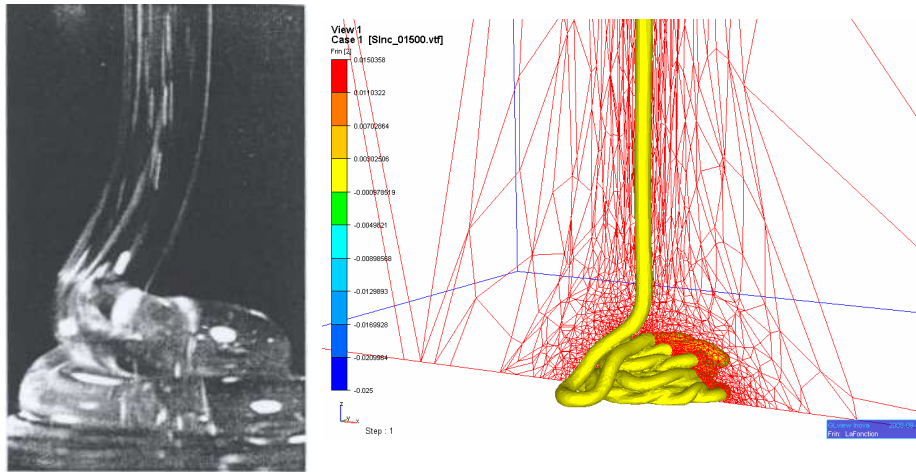
Représentation schématique de la proportion de pièces en matériau composite dans un avion [www.onera.fr]

⇒ Essor de la **solution numérique**

- maîtrise des coûts « matériaux et procédés intégrés »,
- raccourcissement de la durée du cycle de fabrication d'un produit avec ces nouveaux matériaux,
- obtention d'un haut niveau de performance
- assurance d'une sécurité d'utilisation supérieure comparée à d'autres matériaux
- préoccupation de fabriquer des produits respectueux de l'environnement et ce sur l'ensemble du cycle de vie du produit

-proposer des **solutions composites à des coûts maîtrisés** vis-à-vis des solutions actuelles métalliques

Calcul d'écoulements



- Remplissage
- Reservoir
- Matériaux réactifs
- Adaptation de maillage



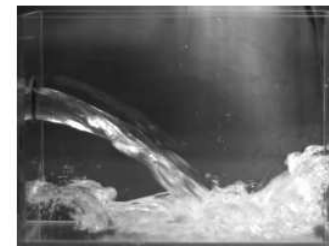
Expérience



(a) $t = 0.5s$



(b) $t = 0.75s$



(c) $t = 1s$

simulation numérique



(g) $t = 0.5s$



(h) $t = 0.75s$



(i) $t = 1s$

- Navier Stokes et procédés
- Surfaces libres interfaces
- Multiphase
- Changement de phase
- Fluide structure



ADEME



Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie



- Heat treatment process
- Quenching process

