



## Présentation générale du département Biomatériaux et Mécanique du C.I.S :

**Nom :** Centre Ingénierie et Santé.

**Sigle :** C.I.S.

**Date de création :** Mai 2004.

### **Coordonnées :**

École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne  
158, cours Fauriel  
F-42023 Saint-Étienne cedex 2  
tél. : +33 (0)4 77 42 01 23  
Email : [www.emse.fr](http://www.emse.fr)

**Directeur du centre :** Monsieur le Pr Didier BERNACHE ( Email : [bernache@emse.fr](mailto:bernache@emse.fr) ).

**Responsable du département Biomatériaux et Mécanique :** Monsieur le Pr Bernard FOREST  
( Email : [forest@emse.fr](mailto:forest@emse.fr) ).

**Effectif du C.I.S :** 16 personnes dont 7 permanents 2004.

### **Effectif du département Biomatériaux et Mécanique :**

9 personnes en 2004 dont 4 enseignants-chercheurs, 2 techniciens et 3 étudiants en thèse.

### **Groupe d'appartenance :**

Le C.I.S est le 6ème centre de recherche et formation de l'École Nationale Supérieure des Mines de Saint-Étienne.

### **Autres établissements :**

- En Rhône-Alpes,
  - En France,
  - A l'étranger.
-

## Typologie et applications des centres techniques :

	Application Industrielle	Recherche scientifique	Centre d'expertise
Conception et fabrication d'implants orthopédiques			
Revêtements de surface			
Micro-usinage et micro-marquage laser d'implants			
Caractérisation des revêtements			
Stérilisation			
Essais mécaniques (traction, fatigue...)			
Essais sur simulateurs de mouvements (marche...)			
Essais de corrosion			
Tests de biocompatibilité			
Investigations cliniques			
Suivi médical (chirurgie orthopédique)			

## Objectifs du C.I.S :

### 1 ) Assurer la formation :

- des ingénieurs civils des mines,
- de pharmaciens-ingénieurs,
- de médecins-ingénieurs,
- d'ingénieurs par alternance et par apprentissage (statut salarié)
- par l'intermédiaire d'un master spécialisé « en ingénierie de la santé ».

### 2 ) Participer à des programmes de recherches biomédicales :

Par l'intermédiaire de 3 départements de recherche et de 2 thématiques de recherche :

- département Biomatériaux-Biomécanique,
- département Imagerie et Statistiques,
- département Organisation et Gestion,
- thématique Bio-environnement industriel,
- thématique Dynamique des systèmes biologiques.

## Le département Biomatériaux-Biomécanique du C.I.S :

Ce département comprend 3 thématiques de recherche concernant :

- **les matériaux utilisés pour la conception des prothèses orthopédiques,**  
Ce secteur est sous la responsabilité de Monsieur le Pr Bernard. FOREST  
( Tel : 04-77-42-02-29, Email : [forest@emse.fr](mailto:forest@emse.fr) )
- **les matériaux utilisés comme substituts osseux,**  
Ce secteur est sous la responsabilité de Monsieur le Pr Didier. BERNACHE  
( Tel : 04-77-42-01-54, Email : [bernache@emse.fr](mailto:bernache@emse.fr) )
- **la mécanique appliquée aux matériaux pour le médical dont textiles.**  
Ce secteur est sous la responsabilité de Monsieur le Pr Sylvain. Drapier  
( Tel : 04-77-42-00-79, Email : [drapier@emse.fr](mailto:drapier@emse.fr) )

## Savoir-faire du département Biomatériaux et Mécanique dans le domaine des prothèses totales de hanche (PTH) :

Les recherches ont pour objectifs de comprendre les mécanismes de dégradation des matériaux des prothèses articulaires de hanche sous l'effet des sollicitations du corps humain (A) mais aussi de proposer des solutions pour y remédier (B).

A ) De manière plus précise, les mécanismes clairement identifiés comme pouvant être responsables de la dégradation des prothèses articulaires sont :

### Les mécanismes de frottement-corrosion :

Les pièces antagonistes tête fémorale-insert peuvent après application d'une charge supérieure au poids du corps s'user par frottement lors de leurs déplacements respectifs (déplacements de l'ordre du cm, mouvements de flexion et de rotation). La présence de milieux aqueux riches en ions chlorures (ex : milieux biologiques) peut simultanément entraîner l'apparition de phénomènes de corrosion au niveau des mêmes pièces et accroître leur usure.

### Les mécanismes de fretting-corrosion :

On observe également dans certaines régions de la PTH des phénomènes de frottement sous faible débattement (déplacements des pièces antagonistes de l'ordre de quelques  $\mu\text{m}$ ) désigné sous le terme de « fretting ». Les phénomènes de « fretting » se produisent en général dans les zones de la PTH où l'on trouve des pièces d'assemblages telles que : le couple tige fémorale-ciment et le couple cône-tête fémorale. Comme précédemment, l'usure des matériaux peut aussi être accrue par la présence de milieux corrosifs (milieux chlorurés).

### Les mécanismes d'impingement :

La dégradation des matériaux orthopédiques peut également être initié lorsque 2 matériaux de compositions chimiques distinctes entre en contact : C'est le cas du col des tiges fémorales de PTH qui peut entrer en contact avec l'insert cotyloïdien en PEHD et entraîner l'usure de celui-ci

### Les mécanismes de dégradation par chocs :

En plus de l'évolution continue de la charge lors du déplacement (ex : descente ou montée d'escalier), il existe un choc lorsque le talon ou la pointe des pieds touche le sol. A ce choc correspond une charge de forte amplitude appelée également charge d'impact qui peut alors induire une collision entre les têtes fémorales métalliques des PTH et les matériaux constituant l'insert cotyloïdien de type PEHD ou céramiques. Ces « chocs » tête fémorale – insert associés aux mouvements de rotations articulaires produits lors du mouvement sont à l'origine de la dégradation des pièces antagonistes des PTH.

B ) Les solutions développées pour contrecarrer ces phénomènes d'usure sont l'amélioration des matériaux existants et en particulier de leur état de surface par utilisation de traitements de surface (revêtements céramiques, DLC) dont le rôle est de protéger les différents composants prothétiques (pièces articulaires).

### Compétences du département Biomatériaux-Biomécanique dans le domaine des prothèses totales de hanche (PTH) :

- Connaissance des matériaux (alliages métalliques, céramiques, polyéthylène...),
- Essais mécaniques (fatigue, traction, compression, frottement et fretting-corrosion, impingement, choc),
- Analyses de surface et techniques microscopiques et profilométriques,

### Moyens techniques et équipements :

A ) pour les études de la dégradation des prothèses par :

**Frottement-corrosion :** (2 simulateurs de marche sont disponibles)

Mouvements simulés	La marche.
<b>Axes d'efforts</b>	2 axes d'efforts perpendiculaires dont l'un simulant les mouvements de flexion extension (axe horizontal) et l'autre des mouvements de rotation articulaire (axes vertical).
<b>Nombres de cycles</b>	De l'ordre de $1.10^7$ cycles.
<b>Amplitude de la charge</b>	300 à 400 daN.
<b>Fréquence des mouvements</b>	0,8 Hz pour flexion-extension
<b>Milieu</b>	Solution de Ringer
<b>pH</b>	Neutre
<b>Température</b>	Ambiante



Rq : L'objectif pour le laboratoire est d'aboutir à la dégradation des PTH afin d'étudier les mécanismes d'usure des pièces antagonistes, les conditions de fonctionnement des simulateurs sont donc plus sévères que celles spécifiées lors des essais normés.

Les différences par rapport à la norme sont :

- Que seulement 2 mouvements (flexion-extension + 1 rotation) sont reproduits contre 3 pour la norme (flexion-extension + 2 rotations),
- Que l'amplitude des mouvements peut être supérieure à la norme,
- L'amplitude de la charge est plus élevée,
- Les essais sont effectués en solution de Ringer et non en sérum bovin
- Les essais sont réalisés à ambiante et pas à 37°C.

**Fretting corrosion :** 2 échantillons de composition chimique identique aux pièces en contact (ex : métal / ciment) sont utilisés sur 1 simulateur.

Phénomènes simulés	Fretting + corrosion
Surface de contact (cylindre/plan)	De forme rectangulaire.
Charges appliquées	5 à 20 Newton / mm
Fréquence des mouvements	1 Hz
Milieu	Solution de Ringer ou autre
pH	Neutre ou autre
Température	Ambiante.

**Impingement :** Les moyens de reproduction ne sont pas disponibles (étude actuellement en veille).

**Chocs :** Une machine (marque Quiri) destinée à l'étude de dégradation par chocs est disponible depuis 2003.

Phénomènes simulés	Impact avec sol + rotation
Amplitude de la charge	Charge 10 T, Rotation $\pm 1^\circ\text{C}/15\text{ ms}$ .
Nombre de cycles	De l'ordre de $1.10^7$ cycles.
Fréquence des mouvements	A volonté
Milieu	Solution de Ringer ou à l'air
pH	Neutre ou autre
Température	Ambiante



Quel que soit le mode de dégradations étudié, les techniques utilisés pour caractériser l'usure des pièces antagonistes sont :

- La pesée pour déterminer les pertes de masse,
- Les observations 3D pour déterminer les modifications de géométrie des pièces,
- Les observations par MEB/EDX pour identifier la nature des dégradations.

B ) Pour prévenir les phénomènes d'usure :

Le laboratoire met à disposition de nombreuses techniques permettant la caractérisation des revêtements protecteurs (céramiques, DLC, nitruration) des pièces antagonistes telles que :

- Des techniques profilométriques (rugosimètre tactile, 3D),
- Des techniques d'observations (microscopie optique, MET, MEB, AFM, rayons X),
- Des techniques d'analyses de surface (XPS, SDL),
- Des tests mécaniques (appareils permettant les tests de traction, compression, dureté, fatigue...).

### Les associations auxquelles participe le laboratoire :

PTM, Cercle d'étude des métaux, ARTEB, Cefracor, Ecrin.

### Services proposés :

→ Prestations de services à court terme :

- Expertises portant sur la dégradation des pièces orthopédiques (ex : caractérisations de surface...),
- Réalisation d'essais mécaniques (ex : traction, compression, fatigue...) et de caractérisation de surface.

→ Prestations de services à moyen terme :

- Programme de recherche de 6 mois environ confié à un étudiant IUT ou un étudiant ingénieur.

→ Prestations de services à long terme :

- Programme de recherche de 2 à 3 ans confié à un étudiant en thèse (financé par l'EMSE ou par une bourse CIFFRE en partenariat avec un industriel),
- Participation en collaboration avec d'autres acteurs (industriels, laboratoires de recherche...) à des programmes de recherches sous formes de contrats régionaux, nationaux, européens.