

Michaël CHAGNAUD Stage de fin d'études



Caractérisation mécanique par nano indentation AFM de l'os animal en croissance



Présentation ESIL du 14/09/2012



ÉCOLE SUPÉRIEURE D'INGÉNIEURS DE LUMINY

UNIVERSITÉ DE LA MÉDITERRANÉE Alx-marseille i





Contexte



INSTITUT //////// DES SCIENCES ETIENNE DU MOUVEMENT JULES

- Thème de recherche : caractérisation mécanique de l'os en croissance
- Souhait de développer un protocole utilisant la nano indentation AFM

(iNaM

 Plateforme technique comprenant un AFM



INSTITUT /////// DES SCIENCES ETIENNE DU MOUVEMENT JULES

Problématique



- Callotasis : technique chirurgicale d'allongement des membres chez l'enfant et le jeune adulte.
- Principe : réaliser une distraction progressive d'un cal osseux, consécutif à une ostéotomie, à l'aide d'un fixateur externe.

Très fréquentes complications : fractures et déformations après le retrait du fixateur dues à un défaut de consolidation osseuse.

 > Optimiser la technique du callotasis afin de minimiser la durée du port du fixateur et le risque de fracture.
 > Etablir un critère fiable pour procéder à l'ablation du fixateur.



INSTITUT //////// MAREY

Nanoindentation AFM



δ

 $\Delta \mathbf{d}$

Cantilever k.

Sample

 Δz



- Quand la pointe est approchée de la surface de l'échantillon, les forces d'interaction entre la pointe et la surface entrainent une déflection du cantilever.
- Cette déflection est détectée par une

INSTITUT //////// DES SCIENCES ETIENNE DU MOUVEMENT JULES

Imagerie AFM





- La pointe oscille à une fréquence donnée, elle ne touche la surface que par intermittence et le signal enregistré est la variation d'amplitude de l'oscillation.
- L'image résultante correspond à la cartographie en fausses couleurs des déplacements de la pointe en z.





INSTITUT ///////// DES SCIENCES ETIENNE DU MOUVEMENT JULES



Pour calculer le module de Young, nous avons utilisé le modèle de Hertz

La pointe est assimilée à une sphère en contact avec une surface plane.

$$E = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \left(1 - \nu^2\right) \frac{\partial F}{\partial h} \frac{1}{\sqrt{A}}$$

Avec E le module de Young, v le coefficient de poisson (on prend 0.3), F la force, h l'indentation de la pointe et A l'aire de contact de la pointe avec la surface.

Deux cas distincts pour calculer l'aire de contact A (A=π×a²):
➢ Indentation ≤ au rayon R de l'apex de la pointe (h<20nm).
Sphère en contact avec une surface. Le rayon de l'aire de contact est : a=√(Rh)

➢ Indentation > au rayon R de l'apex de la pointe (h>20nm).

Surface

a=v(Rh)

h

Surface



Préparation des échantillons

DES SCIENCES ETIENNE

DU MOUVEMENT JULES





Préparation des échantillons

DES SCIENCES ETIENNE

DU MOUVEMENT JULES











Nanoporous Structure of Bone Matrix at Osteoporosis from Data of Atomic Force Microscopy and IR Spectroscopy

A. Gaidash, L. N. Sinitsa, O. A. Babenko, and A. Lugovskoy Journal of Osteoporosis Volume 2011 (2011), Article ID 162041, 7 pages



INSTITUT /////////

MAREY





Images AFM de la surface d'une fracture d'os trabeculaire bovin

Atomic force microscopy and indentation force measurement of bone Philipp J. Thurner Wiley & Sons, Inc. WIREs Nanomed Nanobiotechnol 2009 1 624–649

Imagerie AFM : Image-t-on vraiment l'os?





DES SCIENCES ETIENNE DU MOUVEMENT JULES

MAREY

Résine 10×10µm



Résine 2,5 × 2,5 \mum



Rappel niveaux structurels de l'os

T II II FS

MAREY



• Sur le plan mécanique, l'os est un milieu fortement hétérogène à plusieurs niveaux structurels et échelles d'espaces distincts :



INSTITUT ///////// DES SCIENCES ETIENNE DU MOUVEMENT JULES

Valeurs de Module d'Young



	Résine	Os sain rat	Os sain rat	Os sain lapin	Os sain lapin
		(face 1)	(face 2)	(face 1)	(face 2)
Module d'Young (MPa)	685 ± 26	829 ± 34	997 ± 26	936 ± 28	991 ± 25
	403 ± 19	465 ± 27	$\textbf{516}\pm 20$		
		578 ± 21			

- Littérature :
- Leong.2008 : Cal osseux de rat : 3-132 MPa (test en liquide)
- Thurner.2009 : 0.61-1010 MPa (cal osseux de rat)

 1360 ± 120 MPa (fémur de rat)





- Choix du protocole expérimental : fixation dans la résine
- La structure granulaire des images semble confirmer que l'on image bien l'os
- Modules d'Young : ordres de grandeur satisfaisants mais pas assez de données pour établir de comparaisons et beaucoup de paramètres qui peuvent influencer notre résultat