

Caractérisation mécanique de l'os humain en fonction de l'âge

PATRICE AGU

TUTEURS: CÉCILE BARON & JEAN-PHILIPPE BERTEAU



GIBOC: Groupe Interdisciplinaire en Biomécanique Ostéo-articulaire et Cardiovasculaire

- Responsable : Patrick CHABRAND
- Equipe rattachée à l'ISM
- UNIVMED II et CNRS

Problématiques:

- Os en croissance
- Qualité osseuse
- DM implantables

Moyens utilisés:

- Plateforme numérique : ABAQUS, MIMICS
- Plateforme expérimentale : Banc expérimental de compression/flexion statique, isomet 4000 (scie de précision), balance densitométrique de précision
- Imagerie : Scanner

Equipe PI : Propagation et Imagerie

- Responsable : P. LASAYGUES
- Equipe rattachée au LMA
- CNRS

Problématiques:

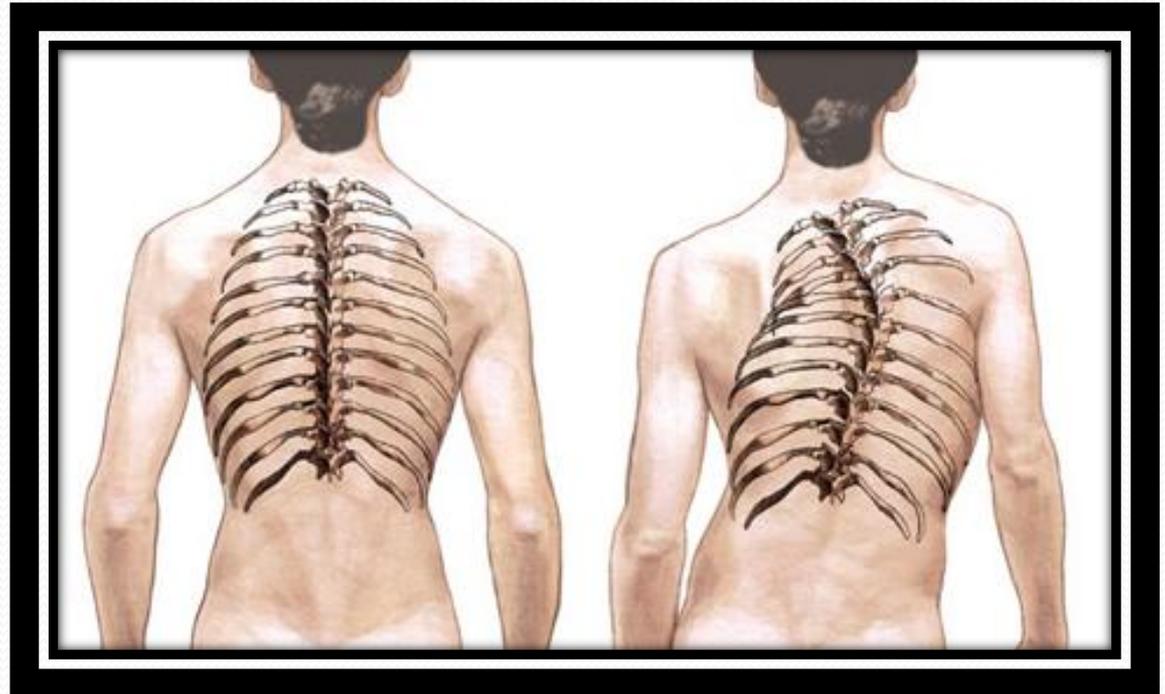
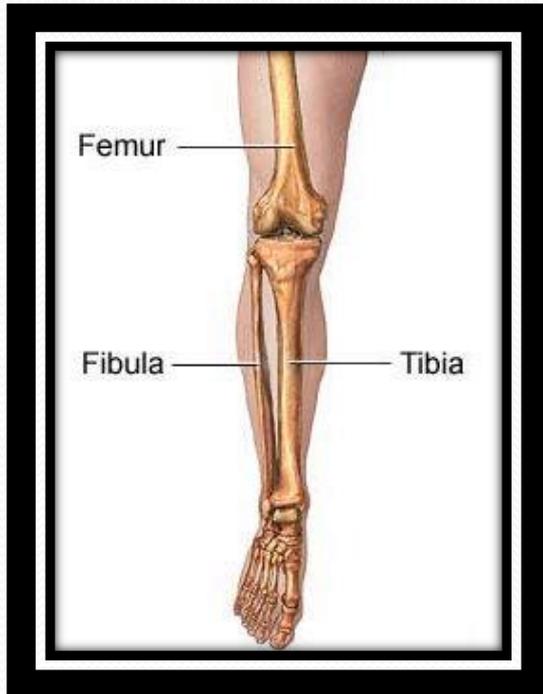
- Ondes et vibrations dans les poreux
- Imagerie ultrasonore

Moyens utilisés:

- Plateforme numérique : MatLab
- Plateforme expérimentale : Banc expérimental ultrasonique



Caractérisation de l'os humain à différents âges

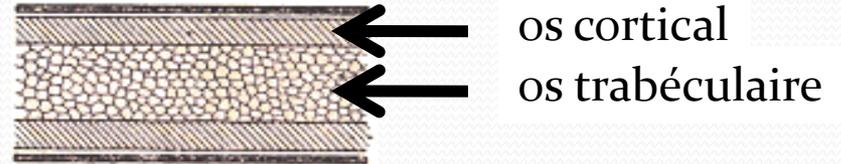
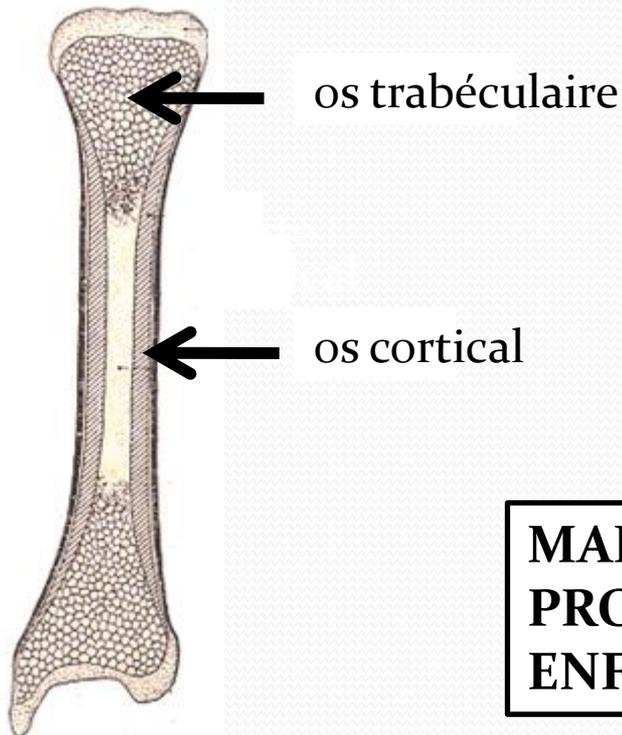


- Echantillons de fibulas (péronés)
- Echantillons de côtes d'adolescents scoliotiques

Structure

Les os longs : fibula,
fémur, radius, tibia, etc.

Les os plats : côtes, os pariétal,
omoplate, bassin, etc.



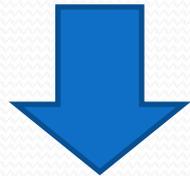
**MANQUE D'INFORMATIONS SUR LES
PROPRIETES MECANQUES DE L'OS
ENFANT JUSQU'À L'ÂGE ADULTE**

Déroulement de l'étude

- Déchets chirurgicaux



- Usinage des échantillons



- Numérisation (CT scan) (géométrie 3D)



Type d'essai	Os	Groupe	Effectif
Ultrason	Côte	Adolescent	15
Compression axiale	Côte	Adolescent	9
Ultrason	Fibula	Jeune enfant	4
		Préadolescent	6
		Adolescent	5
		Sénior	20
Flexion 3 points	Fibula	Jeune enfant	3
		Préadolescent	4
		Adolescent	5
		Sénior	8

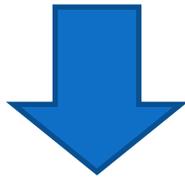
Conservation :

Echantillon entouré d'une gaze imbibée de solution saline et tampon

Déroulement de l'étude

ESSAIS PHYSIQUES

Essai non destructif
(ultrasons)



Essai destructif
(mécanique)

ESSAIS NUMÉRIQUES

Reconstruction
numérique 3D



Simulation numérique
d'essai mécanique



Comparaison expérimental/numérique
Discussion

Usinage des échantillons



Découpe des échantillons avec une scie diamantée à vitesse lente Isomet 1000

2 formes différentes :

- Parallélépipèdes
- Tubes ovales



Limes diamantées

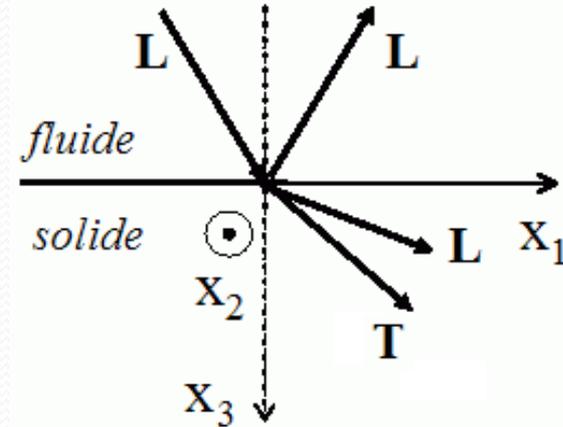
Fibula et côte



- Os cortical (compact)
- Epaisseur constante
- Faces planes parallèles

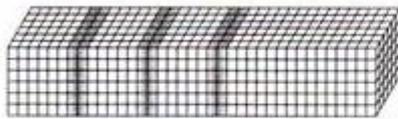
Essais Ultrasons

- Propagation d'ondes
- Interface plane fluide/solide
- Onde longitudinale (compression) et transversale (cisaillement)



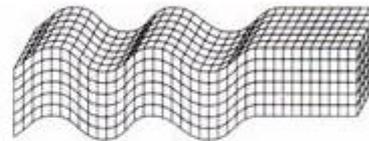
- Conversion de mode (Longitudinal et Transversal) à l'interface

Onde de compression



Sens de propagation de l'onde

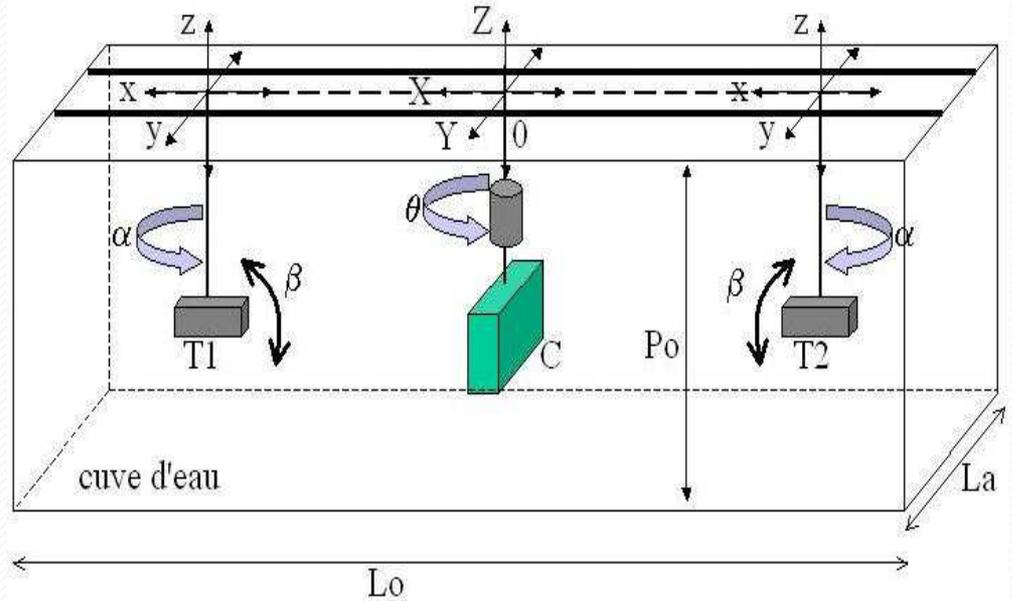
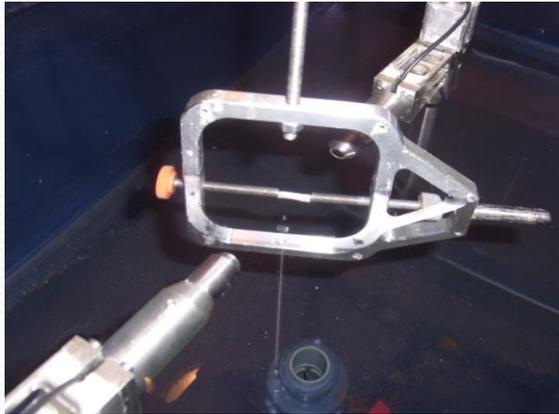
Onde de cisaillement



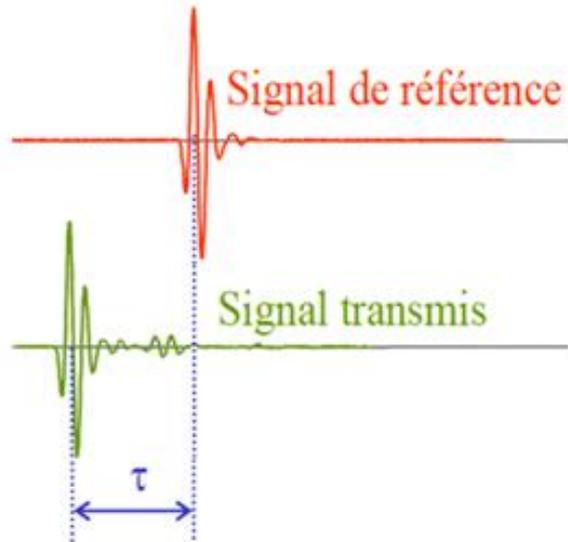
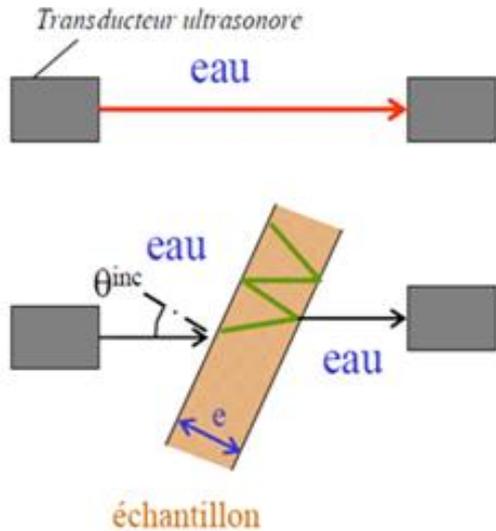
Sens de propagation de l'onde

Essais Ultrasons

Banc ultrasons



Mesures



Propriétés mécaniques

- Vitesse (C) de propagation de l'onde dans le milieu

$$C = \frac{C_{eau}}{\sqrt{1 + \frac{\tau \cdot C_{eau}}{e} \left(\frac{\tau \cdot C_{eau}}{e} - 2 \cos \theta \right)}}$$

- Module d'Young (E)

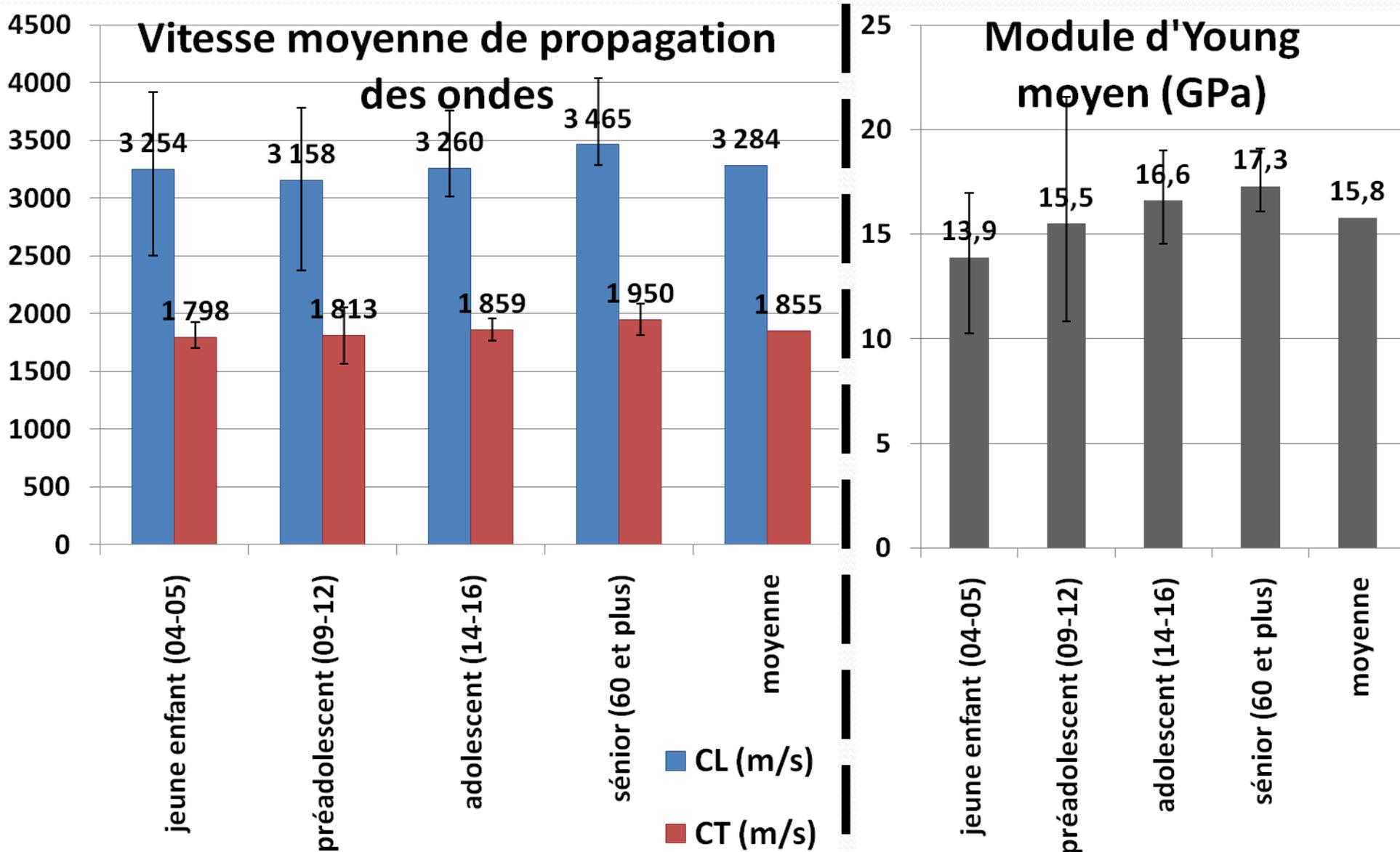
$$E = \frac{\rho \cdot C_t^2 (3C_l^2 - 4C_t^2)}{(C_l^2 - C_t^2)}$$

- Rapport de Poisson (ν)

$$\nu = \frac{C_l^2 - 4C_t^2}{2(C_l^2 - C_t^2)}$$

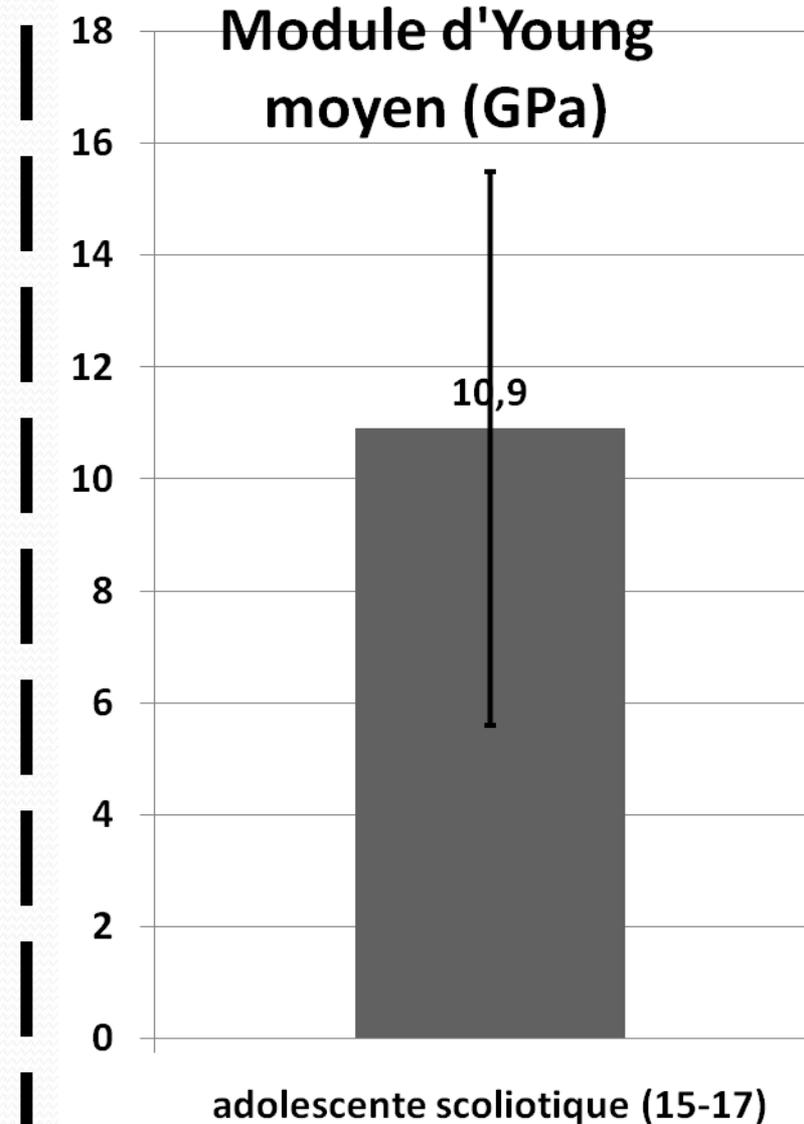
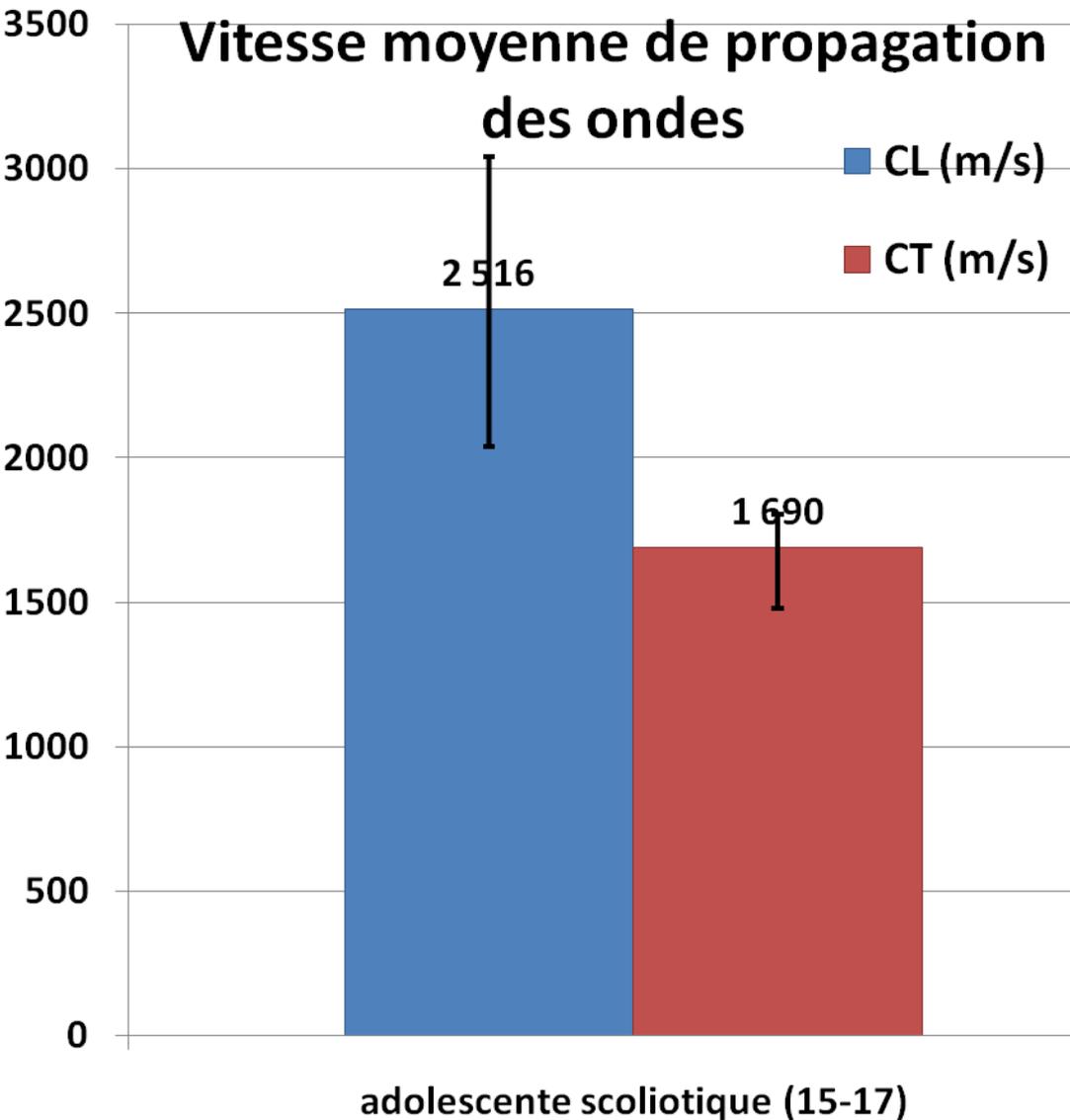
Résultats ultrasons

Résultats pour les fibulas à 10 MHz



Résultats ultrasons

Résultats pour les côtes à 7 MHz



Essais mécaniques

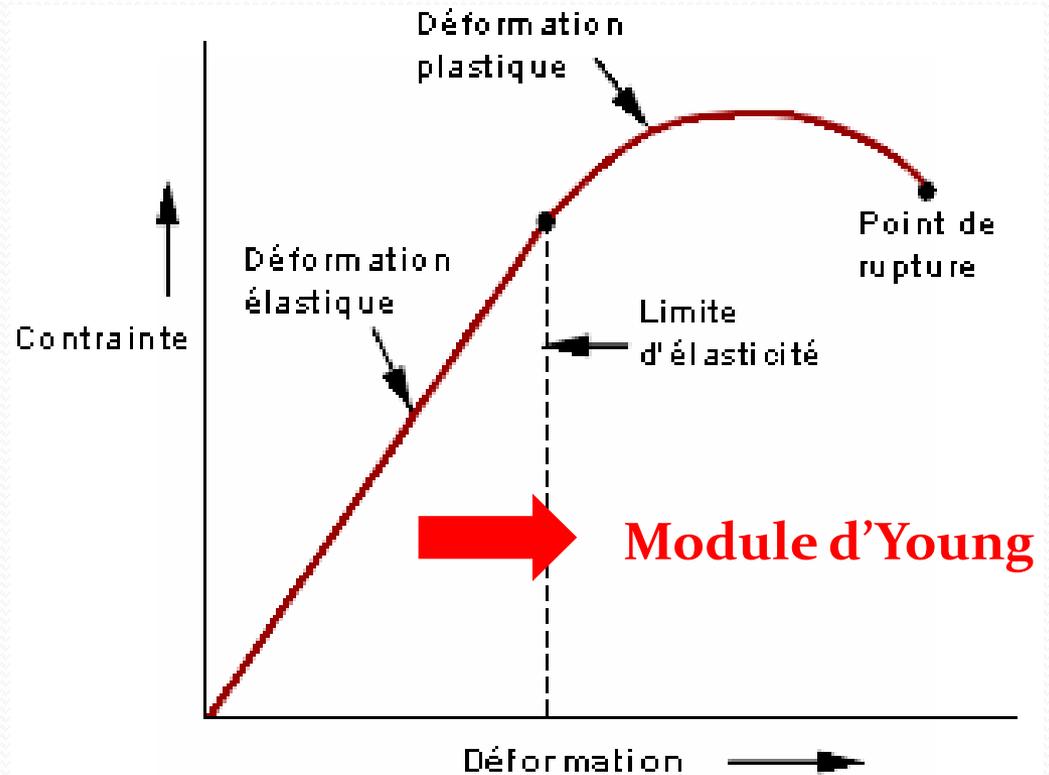
Machine d'essais mécaniques
INSTRON 5566A



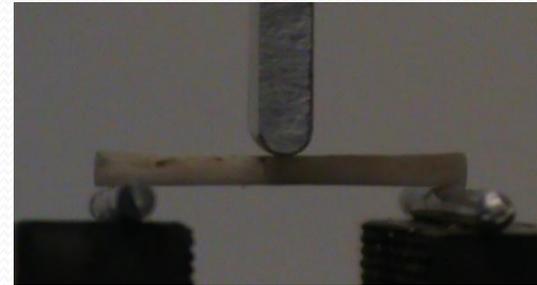
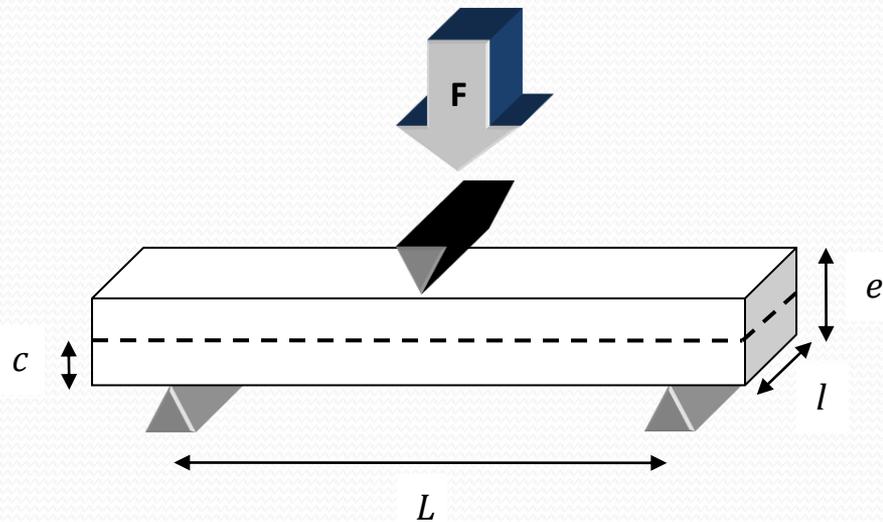
Capteur de charge (N)

Capteur de déplacement (mm)

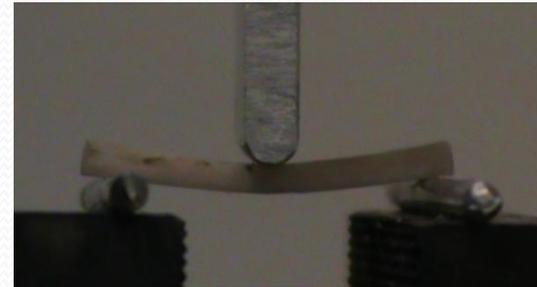
Courbe de contrainte /déformation



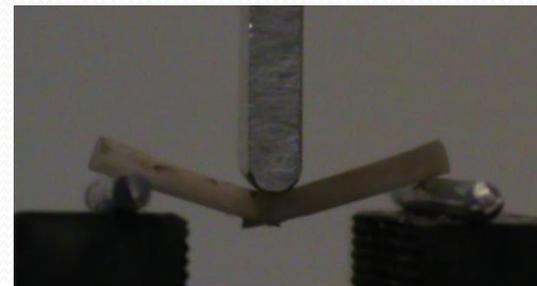
Essais mécaniques: flexion 3 points sur les fibulas



Début



Milieu



Fin

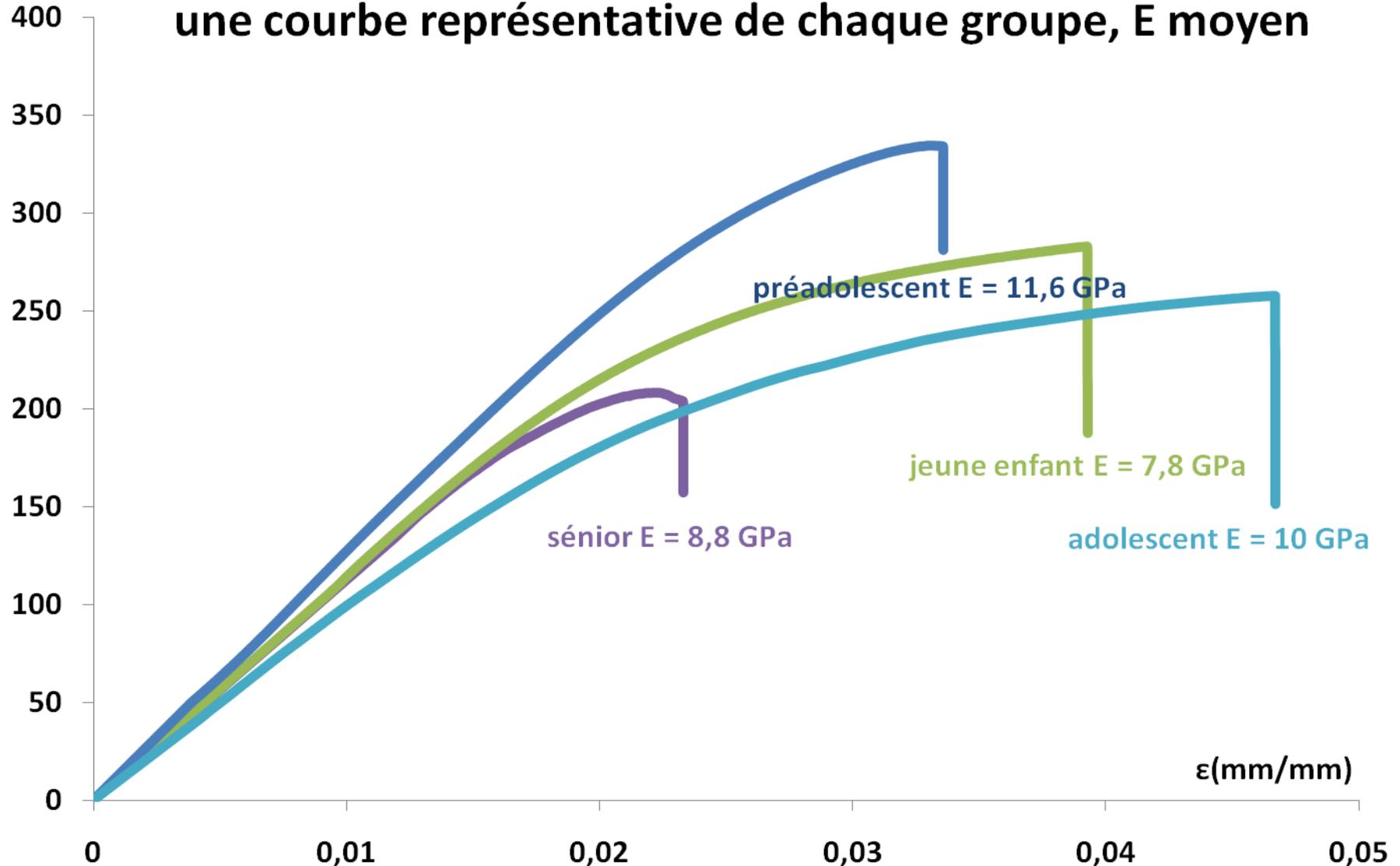
$$\sigma = \frac{F \cdot L \cdot c}{4 \cdot I} , \quad \varepsilon = \frac{12 \cdot c \cdot d}{L^2} ,$$

$$E = \frac{F}{d} \cdot \frac{L^3}{48 \cdot I} \quad \text{et} \quad I = \frac{l \cdot e^3}{12}$$

Résultats de la flexion 3 points

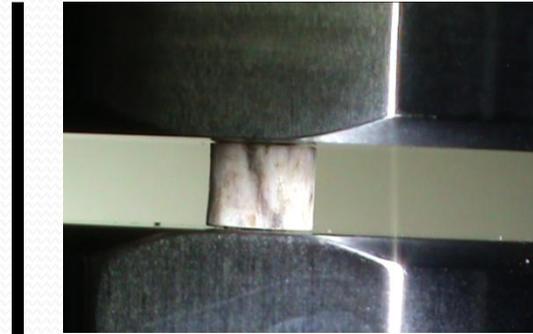
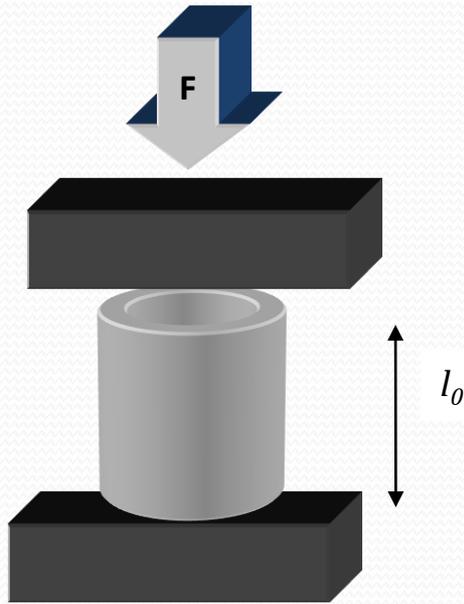
σ (MPa)

Comparaison entre les différents groupes d'âges,
une courbe représentative de chaque groupe, E moyen

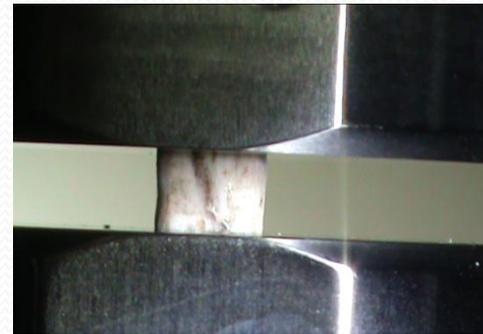


Essais mécaniques:

Compression axiale sur les côtes



Début

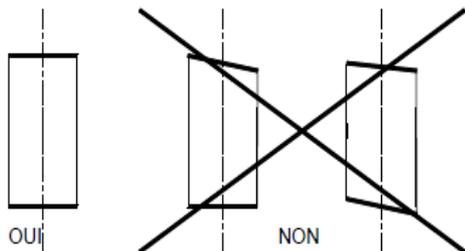


Milieu



Fin

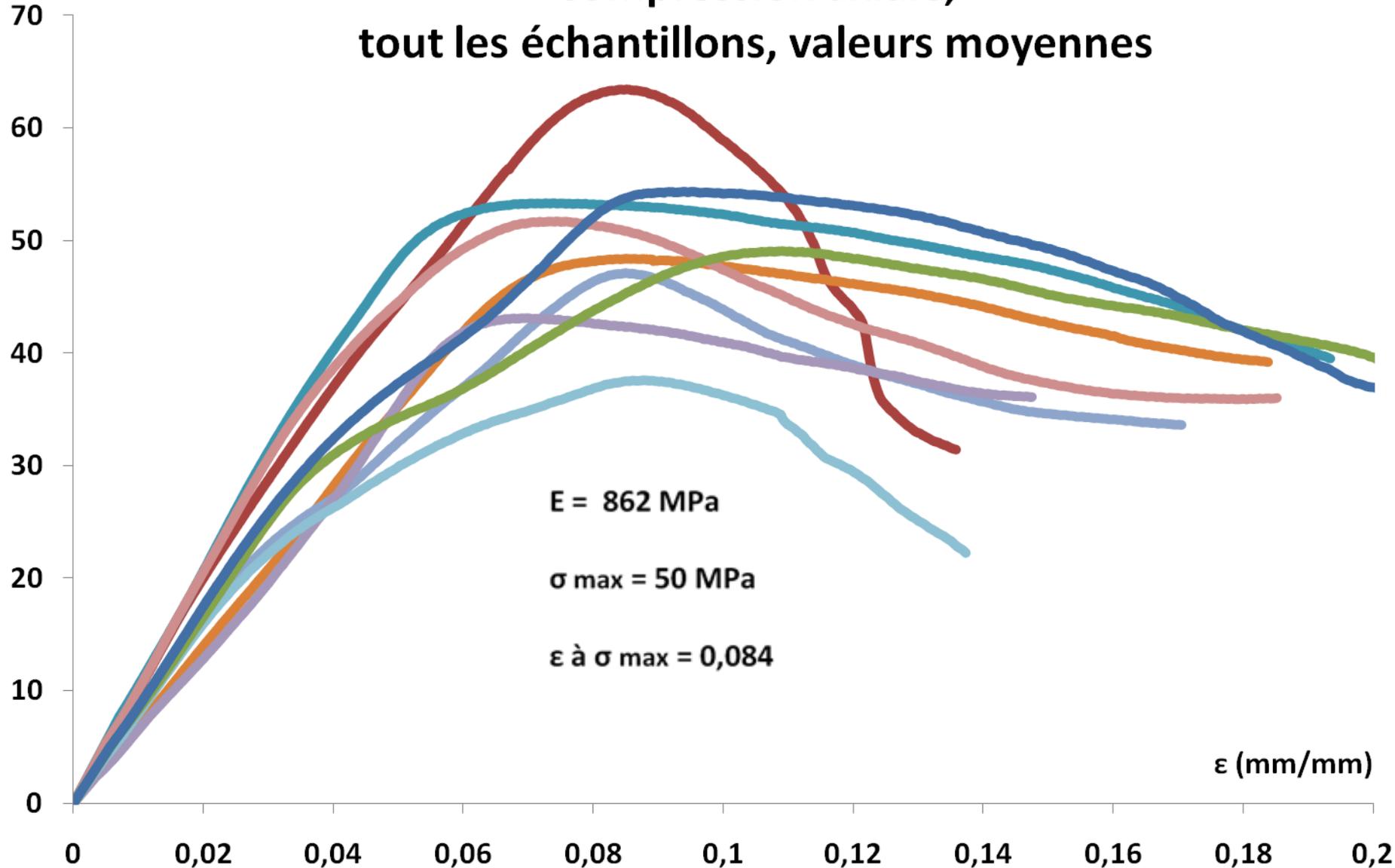
$$\sigma = \frac{F}{S} \quad \text{et} \quad \varepsilon = \frac{d}{l_0}$$



Résultats de la compression axiale

σ (MPa)

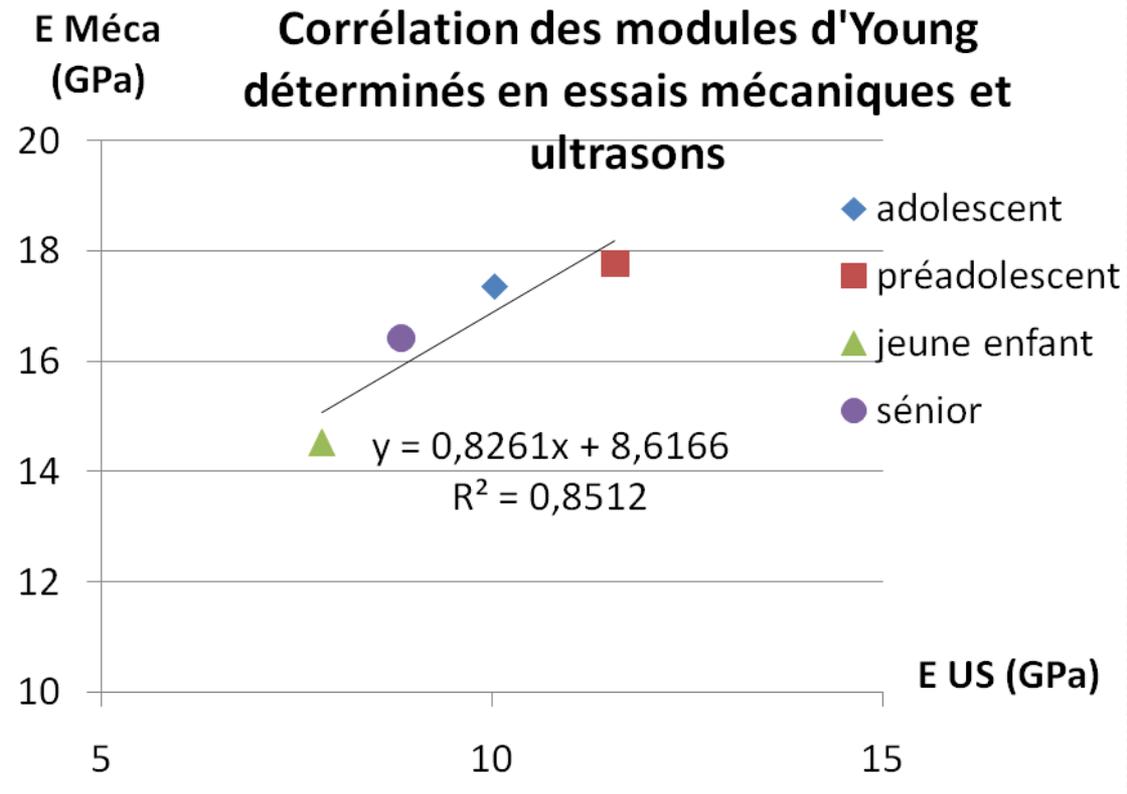
Compression axiale,
tout les échantillons, valeurs moyennes



Résultats - Discussions

Fibulas

- $E = 16$ GPa (à 10 MHz), tendance à augmenter avec l'âge
- $E = 10$ GPa (flexion 3P)
- Contrainte à la rupture
« jeune » 260 MPa
« sénior » 180 MPa

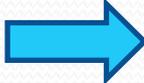


Résultats - Discussions

Côtes d'adolescents scoliotiques

- $E = 11 \text{ GPa}$ (ultrasons à 7 MHz)
- $E = 850 \text{ MPa}$ (compression axiale)
- Contrainte maximum 50 MPa
- Déformation à la contrainte maximum = 0,084
- Echantillons différents
- Os pathologique
- Géométrie
- Effets de bords

Conclusions - Perspectives

- Mise en place d'un protocole
- Caractérisation mécanique de l'os cortical en fonction de l'âge
- Fibulas  allongement osseux
- Côtes de scoliotiques  corsets

Perspectives :

-  grand nombre d'échantillons
- Varier les sites de prélèvements
- Banque de données  chirurgie orthopédique

Merci de votre attention

Je peux répondre à vos questions

