



7 Mars 1990

## EVOLUTION AU COURS DE LA CROISSANCE DES PROPRIETES BIOMECHANIQUES DE L'OS CANON DU CHEVAL

Par Geneviève BIGOT <sup>1a</sup>,  
A. BOUZIDI <sup>1a</sup>, R. RUMELHART <sup>2</sup>,  
R. ROUX <sup>1b</sup>, Yvonne VANTOME <sup>1c</sup>  
Claire COLLOBERT-LAUGIER <sup>3</sup>,  
W. MARTIN-ROSSET <sup>1a</sup>

- <sup>1</sup> INRA a. Unité Nutrition du cheval  
b. Unité Métabolisme Minéral  
c. Unité Elevage Bovin  
Centre de Clermont-Ferrand - Theix - 63122 CEYRAT  
<sup>2</sup> Institut National des Sciences Appliquées de Lyon  
<sup>3</sup> Institut de Pathologie du Cheval de Goustranville

### Résumé

L'évolution des propriétés physiques de l'os canon entier et des propriétés mécaniques et chimiques de sa corticale est étudiée entre la naissance et 3 ans et 1/2 sur des métacarpes et métatarses de chevaux mâles et femelles issus des principales races de selle françaises. L'os canon (antérieur ou postérieur) multiplie son poids par 2 entre la naissance et l'âge adulte grâce, en particulier, à un quasi doublement de l'épaisseur de sa corticale ; la longueur du canon atteignant déjà à la naissance 80% de sa dimension adulte. A l'âge de 8 mois, l'os cortical a acquis 90% de ses propriétés mécaniques qui, à l'âge adulte sont en moyenne de  $222 \pm 27$  MPA pour la contrainte de rupture et  $15,65 \pm 3,25$  GPa pour le module d'élasticité.

**MOTS-CLES :** Cheval - Os canon - développement - Résistance mécanique - Croissance.

### Summary

The mechanical properties of the cortex and the physical parameters of entire cannon bones (metacarpal and metatarsal) were studied from birth to adult age on 46 male and female horses of different french saddle breeds. At birth, the length of the cannon (metacarpal or metatarsal) was already 80% of its adult value. During growth, its weight was increased by about 200% due to the increase of the cortex width. At 8 months of age, the mechanical properties of the cortex reached 90% of their adult values which were  $222 \pm 27$  MPa for the breaking strength and  $15.65 \pm 3.25$  MPa for the modulus of elasticity.

**KEY WORDS :** Horse - Cannon bone - Development - Mechanical properties - Growth.

## INTRODUCTION

Le cheval de selle est utilisé de plus en plus intensivement dans les différentes disciplines sportives. Aussi, son squelette et particulièrement les os de ses membres sont-ils soumis à des contraintes mécaniques importantes.

Différents auteurs ont étudié les contraintes que subissent les os des membres durant l'exercice physique: Turner 1975, Biewener 1988. D'autres ont étudié la contrainte mécanique maximale que peut supporter un membre isolé (Denoix 1985), ou un os seul, (El Shorafa 1979, Bynum 1971).

Aujourd'hui, le contexte économique, les besoins de la sélection conduisent à la mise au travail des chevaux bien avant l'âge adulte. Si les connaissances actuelles permettent de mieux élever les jeunes chevaux pour qu'ils atteignent le poids et le format adéquat à l'objectif de production (Agabriel et Al 1984, Trillaud-Geyl et Al 1986, Bigot et Al 1988), peu de données permettent de préciser l'état optimum d'ossification que doit atteindre le squelette à la mise au travail du cheval.

Pour apporter de premiers éléments de réponse à ce problème, nous avons étudié l'évolution, de la naissance à l'âge de 3 ans et 1/2, des propriétés physiques de l'os canon de chevaux de selle d'une part, et des propriétés mécaniques de leur corticale d'autre part.

## MATERIEL

### 1- Origine des os

Les os canons proviennent de jeunes chevaux des deux sexes issus de deux populations :

1° des animaux de races Anglo-Arabe et Selle Français, nés dans 3 jumenteries expérimentales : Chamberet ( Institut du Cheval ), le Pin ( Haras Nationaux ) et Theix ( INRA ), élevés dans des conditions connues et abattus à des âges variant de 1 jour à 4 ans ( tableau 1 a- ).

2° des animaux âgés de 8 jours à 5 mois de race Trotteurs et Pur-Sang Anglais ( tableau 1 b- ) nés dans des haras privés de Normandie et dont les corps ont fait l'objet d'autopsie à l'Institut de Pathologie de Goustranville.

Dans la 1ère population, les métacarpes et métatarses sont prélevés dès l'abattage. Dans le 2ème cas, l'Institut de Pathologie a eu l'amabilité de nous adresser des métatarses prélevés sur des animaux référencés.

### 2- conservation des os

Dès leur prélèvement, les os sont enveloppés dans des sacs plastiques puis congelés jusqu'au jour des mesures. Les os sont transportés de Normandie en Auvergne dans de la glace.

## MESURES

Après décongélation, les os font l'objet de mesures physiques et radiologiques puis des analyses mécaniques et chimiques sont effectuées sur des échantillons d'os compact. En effet, Potriowski a montré que les tests de résistance mécanique sur l'os entier conduisent à des difficultés d'interprétation car la résistance mécanique d'un os est à la fois fonction de sa forme (plus précisément, du rapport longueur sur largeur) et des caractéristiques mécaniques de sa corticale.

### 1- mesures physiques

Après nettoyage complet de tous les tissus mous, le canon est pesé. Son volume est mesuré par la méthode de la masse d'eau déplacée. Ses différentes dimensions externes: longueur totale, épaisseur et largeur de diaphyse sont enregistrées. Une radiographie est effectuée afin de mesurer l'épaisseur de corticale à mi-diaphyse.

### 2- mesures mécaniques

A mi-hauteur de la diaphyse, sont prélevées des éprouvettes d'os cortical, une à deux dans chacune des 4 régions : latérale, médiane, antérieure et postérieure ( cf. figure I ). Ces éprouvettes de 7 cm de long, 5 mm de large et 1,5 mm d'épaisseur sont testées en flexion 4 points sur un appareil ADAMEL DY22 . De la courbe contrainte - déformation ( figure II ), sont calculés les paramètres suivants :

- contrainte de rupture ( S ) ou force maximum supportée par unité de surface juste avant la rupture :  $S = F_{max} / A$

- module d'élasticité ( E ), paramètre qui caractérise la rigidité axiale de l'os et qui est défini comme la proportionnalité entre la contrainte (S) et la déformation (D):  
 $E = \Delta S / \Delta E$

### 3- analyses chimiques

Après le test, ces éprouvettes sont immergées dans de l'acétone pendant 15 jours puis passées à l'étuve pendant 48 heures à 102°C avant d'être incinérées à 600°C pendant 36 heures afin de déterminer leur teneur en cendres. Les cendres sont ensuite dissoutes dans de l'acide chlorhydrique pour une analyse du calcium et du magnésium au spectrophotomètre d'absorption atomique et du phosphore au colorimètre.

## RESULTATS

L'évolution des caractéristiques physiques de l'os canon entier est étudiée sur l'ensemble des 2 populations de poulains : les Anglo-Arabs et Selle Français des jumenteries expérimentales ainsi que les Trotteurs et Pur-Sang provenant de haras privés. Par contre, les résultats sur les propriétés mécaniques de la corticale, sont présentés séparément pour les 2 populations car les conditions de prélèvement, de

conservation ( et de transport pour les os provenant de Normandie ) forcément différents entre l'Institut de Pathologie et l'INRA influent sur la dessiccation des os et donc sur les paramètres biomécaniques.

### 1- Evolution des caractéristiques physiques de l'os canon au cours de la croissance.

Dans le premier mois suivant la naissance, le métacarpe pèse en moyenne  $334 \pm 35$  g et mesure en moyenne  $26,0 \pm 1,1$  cm de long;  $2,8 \pm 0,1$  cm de large et  $2,4 \pm 0,2$  cm d'épaisseur tandis que le métatarse pèse en moyenne  $417 \pm 58$  g et mesure en moyenne  $30,8 \pm 1,0$  cm de long,  $2,4 \pm 0,2$  cm de large et  $2,7 \pm 0,3$  cm d'épaisseur. A 3 ans 1/2, les poids moyens du métacarpe et du métatarse sont respectivement de  $633 \pm 46$  g et  $848 \pm 93$  g tandis que leurs dimensions sont respectivement de  $27,0 \pm 0,7$  et  $32,2 \pm 1,3$  cm de long;  $3,9 \pm 0,1$  et  $4,0 \pm 0,1$  cm de large;  $3,4 \pm 0,2$  et  $4,0 \pm 0,1$  cm d'épaisseur pour le métacarpe et le métatarse.

Entre la naissance et 3 ans 1/2, le poids du canon ( antérieur ou postérieur ) est multiplié par 2. L'évolution est surtout importante les 10 premiers mois ( figure III ). Cette croissance s'explique par une augmentation importante du volume (  $r^2 = 0.94$  ), la variation de densité n'expliquant que très peu l'augmentation de poids (  $r^2 = 0.39$  ).

En effet, le volume augmente avec l'âge de façon analogue à celle du poids ( figure III ) selon une relation du type :  $Y = a X^b$ , où: Y représente le poids ( en g ) ou le volume ( en ml ); X est l'âge exprimé en mois; a et b sont deux coefficients propres à chaque relation. En revanche, la densité de l'os canon représente déjà à la naissance 80% de sa valeur adulte et son évolution est beaucoup plus rapide ( figure III ).

Le volume s'accroît tout d'abord à cause de l'épaississement de la diaphyse (  $r^2 = 0.80$  ), l'allongement de l'os intervenant nettement moins (  $r^2 = 0.50$  ). En effet, l'allongement du canon est limité durant la croissance ( figure IV ) car à deux mois, sa longueur représente déjà 90% de sa dimension à 3 ans 1/2. Par contre, la largeur et l'épaisseur de la diaphyse du canon augmentent de 40% au cours des deux premiers mois pour n'atteindre à cet âge que 72% de leur dimension finale.

La diaphyse s'épaissit et s'élargit du fait du développement de sa corticale qui, de 4 à 5 mm d'épaisseur en moyenne le premier mois ( respectivement pour le métacarpe et le métatarse ) atteint à 3 ans 1/2, au niveau du métatarse, 12 et 14 mm dans les régions latérales et médianes et même 15 mm dans la partie antérieure, son épaisseur restant plus faible : 11 mm en moyenne en zone postérieure. La corticale du métacarpe présente une épaisseur inférieure aux précédentes de 25 à 35% suivant les régions.

## 2- Evolution des caractéristiques mécaniques de la corticale de l'os canon au cours de la croissance.

### a- Etude sur la population de poulains abattus à l'INRA de Theix

#### *Facteurs de variation des caractéristiques biomécaniques de la corticale chez un individu.*

L'os compact du métacarpe présente une contrainte de rupture moyenne de  $200 \pm 37$  MPA et un module d'élasticité moyen de  $14,9 \pm 3,2$  GPa, tandis que ces paramètres sont respectivement de  $212 \pm 30$  MPA et de  $15,2 \pm 2,4$  GPa en moyenne pour le métatarse. Il n'y a donc pas de différence significative entre les propriétés biomécaniques de l'os compact du canon antérieur et celles du canon postérieur d'un même animal.

D'après l'analyse de variance, les éprouvettes prélevées sur une même région en partie proximale ou en partie distale présentent des caractéristiques mécaniques statistiquement identiques (  $P > 0,25$  ).

D'autre part, il n'y a pas de différence significative entre les régions latérales et médianes qui présentent des caractéristiques mécaniques moyennes de :  $227 \pm 27$  MPA pour la contrainte de rupture, et de  $16,8 \pm 2,6$  GPa pour le module d'élasticité. Ces valeurs sont toutefois supérieures à celles de la région antérieure (  $S = 207 \pm 25$  MPA,  $E = 15,1 \pm 2,2$  GPa ), elles mêmes supérieures à celles de la région postérieure (  $S = 192 \pm 32$  MPA,  $E = 13,4 \pm 2,2$  GPa ) en moyenne sur l'ensemble des os métacarpiens et métatarsiens.

En conséquence, l'évolution avec l'âge des paramètres mécaniques de la corticale du canon est étudiée sur les valeurs moyennes des échantillons proximaux et distaux, au niveau des 3 régions distinctes : antérieure, postérieure puis latérale et médiane confondues, sans précision de l'os considéré ( antérieur ou postérieur ).

#### *Evolution des caractéristiques biomécaniques de la corticale de l'os canon au cours de la croissance.*

Au cours de la croissance ( figure V ), la contrainte de rupture de la corticale du canon augmente rapidement entre la naissance et l'âge de 5 mois ( + 40% ) puis cette augmentation se ralentit pour n'être plus que de + 10% entre 5 et 10 mois. En effet, la contrainte de rupture est corrélée avec l'âge selon une relation du type  $Y = a X^b$  où Y est la contrainte de rupture et X l'âge. Chaque région de l'os canon: antérieure, postérieure puis latérale et médiane confondues suit le même type d'évolution mais les coefficients affectant les variables sont spécifiques( figure V ).

La figure VI montre le même phénomène pour le module d'élasticité.

La validité de ces relations est limitée par le faible effectif d'os provenant d'animaux très jeunes alors qu'apparemment la consolidation des structures de la corticale s'effectue entre la naissance et 5 mois. C'est pourquoi, cette première étude est complétée par une deuxième sur un échantillon d'os provenant d'animaux plus jeunes.

#### b- Etude sur la population de poulains provenant de l'Institut de Pathologie de Goustranville.

Les caractéristiques moyennes de la corticale des métatarses de cette population sont significativement supérieures (  $S = 218 \pm 21$  MPa,  $E = 15,9 \pm 1,9$  GPa ) à celles de la population précédente prise au même âge :  $S = 186 \pm 29$  MPa,  $E = 13,4 \pm 2,4$  GPa. La comparaison entre les régions : antérieure, latérale, médiane et postérieure diffère quelque peu; seule la région postérieure présenterait dans le jeune âge, des propriétés mécaniques nettement inférieure aux autres régions.

L'augmentation au cours de la croissance de la contrainte de rupture et du module d'élasticité est dans ce cas linéaire ( figure VIII ) car la période considérée est plus courte . Mais dans cette nouvelle analyse, la contrainte de rupture et le module d'élasticité n'augmentent plus que de 10% sur la période naissance-5 mois.

#### **3- Evolution de la teneur en minéraux de l'os cortical durant la croissance.**

La matière sèche délipidée de l'os cortical a une teneur en minéraux de 67%  $\pm 10$  en moyenne sur les 2 populations d'os et quel que soit l'âge des animaux. Le calcium ( Ca ) représente en moyenne 48% du poids de cendres tandis que le phosphore ( P ) n'en représente que 24% et le magnésium ( Mg ) 9% .

L'origine des poulains ( Normandie ou Auvergne ) n'a pas d'effet significatif sur la teneur en minéraux de la corticale. La teneur en cendres de la corticale est peu dépendante de l'âge des animaux (  $r^2 = 0,16$  ) et la composition en minéraux majeurs ( Ca, P, Mg ) ne varie pas au cours de la croissance.

Entre la naissance et 3 ans 1/2, les propriétés mécaniques semblent peu corrélées à la teneur en cendres de la corticale (  $r^2 = 0,02$  pour la contrainte à la rupture et  $r^2 = 0,10$  pour le module d'élasticité ). Toutefois les coefficients de corrélation sont plus importants sur la période naissance-5 mois ( respectivement 0,43 et 0,46 pour la contrainte de rupture et le module d'élasticité ).

## CONCLUSION

Comme d'autres auteurs l'ont montré ( Campbell 1981, Martin-Rosset et Al 1983 , Fretz et Al 1984, G. BIGOT non-publié ), l'os canon a un développement important à la naissance comparativement aux autres os longs des membres. Si sa longueur atteint déjà 80% de sa dimension à l'âge adulte, son poids, son volume et son épaisseur ne représentent que 50 à 60% de leur valeur finale. Ces paramètres augmentent grâce au développement de la corticale qui double pratiquement d'épaisseur en particulier en région antérieure et en moindre proportion en région latérale et médiane.

Dans cette étude, les propriétés biomécaniques de la corticale du canon sont du même ordre que celles qu'a trouvé Schryver en 1981, sur des métacarpes de poneys Shetlands âgés de 18 mois. Dans les deux cas, des différences apparaissent entre les régions antérieure, latérale, médiane et postérieure; cette dernière présentant une contrainte à la rupture et un module d'élasticité significativement inférieurs aux autres. Ces différences seraient dues au fonctionnement du canon au sein du membre lors de la locomotion. Biewener et Al, 1983, montrent que la région antérieure du métacarpe qui est soumise à des forces de flexion plus importantes que la région postérieure présente une contrainte supérieure. Turner 1975 constate que la partie postérieure du canon est la seule à être uniquement soumise à des compressions durant le pas et le trot tandis que les trois autres régions ( antérieure, latérale et médiane ) subissent tantôt une compression tantôt une tension d'intensité variable suivant les régions et les allures.

Comme l'a montré Bynum 1971, sur l'os entier, la résistance à la flexion de l'os cortical du canon augmente pendant la croissance. D'après nos résultats, la corticale acquiert l'essentiel de ses propriétés biomécaniques dans le très jeune âge ( entre 0 et 5 mois ). Il semblerait que durant cette période, la teneur en minéraux de l'os cortical n'influerait que très partiellement sur ses caractéristiques mécaniques contrairement à ce que trouvait Shryver en 1978. En revanche, nos résultats pourraient corroborer ceux de El Shorafa ( 1979 ), qui montre que les variations entre 8 mois et 25 ans, de la contrainte de rupture de l'os entier sont plus corrélées aux variations de la surface de corticale qu'aux modifications de la teneur en minéraux.

Cette étude descriptive doit servir de repère aux éleveurs de chevaux devant être utilisés tôt. Les 5 premiers mois, la croissance et la consolidation des os est très rapide. Après le sevrage et jusqu'à un an, la croissance des os des membres est plus faible mais il faut alors entretenir la masse osseuse et intensifier sa résistance. Dès la naissance et jusqu'à un an, les apports alimentaires doivent être suffisants pour assurer au jeune une nutrition minérale et vitaminique satisfaisante tout autant qu'une nutrition énergétique et azotée ( l'os cortical est constitué d'une matrice collagénique ) correcte pour permettre une consolidation des os des membres ( cf Alimentation des Chevaux, INRA 1989 )..

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BIEWENER A.A., THOMASON J., GOODSHIP A., LANYON L.E., 1983**  
Bone stress in the horse forelimb during locomotion at different gaits : a comparaison of two experimental methods.  
J. Biomechanics Vol. 16, N° 8 pp 565-576
- BIGOT G., MARTIN-ROSSET W., DUBROEUCQ H, 1988**  
Evolution du format du cheval de selle de la naissance à 18 mois : critères et méthode d'appréciation.  
ed CEREOPA, 14ème Journée d'étude, pp 87-102
- BYNUM D. JR., LEDBETTER W.B., BOYD C. L., RAY D.R., 1971**  
Flexural Properties of equine metacarpus.  
J. Biomed. Mater. Res, Vol 5, pp 63-79
- CAMPBELL J.R., 1981**  
Radiological estimation of differential growth rates of the long bones of foal.  
Equine Vet. J. 13 (4), 247-250
- DENOIX J.M., 1985**  
Etude biomécanique de la région phalangienne chez le cheval  
ed CEREOPA, 11ème Journée d'étude
- FRETZ P.B., CYMBALUK N.F., PHARR J.W., 1984**  
Quantitative analysis of long-bone growth in the horse.  
Am J Vet Res Vol 45, N° 8
- ALIMENTATION DES CHEVAUX 1990**  
W. MARTIN-ROSSET éditeur, INRA publication, route de St Cyr, 78000 Versailles
- MARTIN-ROSSET W., BOCCARD R., JUSSIAUX M., ROBELIN J., TRILLAUD-GEYL C., 1983**  
Croissance relative des différents tissus, organes et régions corporelles entre 12 et 30 mois chez le cheval de boucherie de différentes races lourdes.  
Ann Zootech, 32 (2), 153-154
- SCHRYVER H.F., 1978**  
Bending properties of cortical bone of the horse.  
Am J Vet Res Vol 39, N° 1
- TRILLAUD-GEYL C., BIGOT G., JUSSIAUX M., MARTIN-ROSSET W., 1986**  
Production de chevaux de selle : mode d'élevage et alimentation  
ed CEREOPA, 12ème Journée s'étude
- TURNER A.S., MILLS E.J., GABEL A.A 1975**  
In vivo measurement of bone strain in the horse.  
Am J Vet Res Vol 36, N° 11



**Tableau 1 - REPARTITION SELON L'AGE ET LE GENOTYPE DES POULAINS DONT LES OS CANONS SONT ETUDIES**

**Table 1 - REPARTITION OF HORSES OWING TO THEIR AGE AND THEIR BREEDS.**

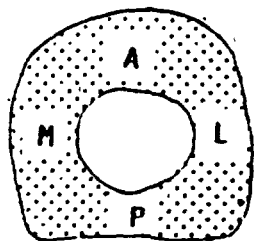
**a/ Animaux abattus à l'INRA de Theix**  
**Animals slaughtered in INRA in Theix.**

Age (mois) Age (months)		0 (36 h)	2	5	7	9	15	21	30	36	45
RACE BREED	SEXE SEXE										
Anglo-arabe	Mâle * Male	1	1	1			1				
	Femelle Female										
Selle Français	Mâle * Male					1		1	1	2	
	Femelle Female		1		1		1	1			

**b/ Animaux provenant de l'Institut de Pathologie de GOUSTRANVILLE**  
**Animals from Institut de Pathologie in GOUSTRANVILLE.**

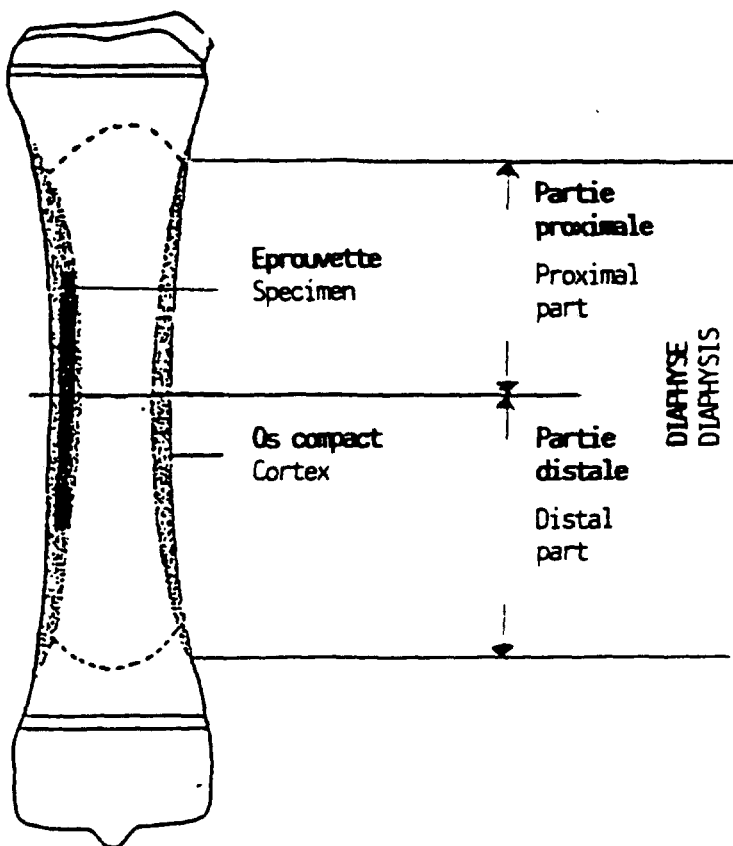
72

Age (mois) Age (months)		8 jours days	18 jours days	1	2	3	4	5
RACE BREED	SEXE SEXE							
Pur Sang	Mâle Male					1		
	Femelle Female			1	1	1	1	1
Trotteurs	Mâle Male			1				
	Femelle Female	1	1	1	1			



Régions : A : antérieure  
 Quadrants : A : cranial  
 L : Latérale  
 L : Lateral  
 M : Médiane  
 M : Medial  
 P : Postérieure  
 P : Caudal

a/ Coupe transversale  
 Transversal section



b/ Coupe longitudinale  
 Longitudinal section

Figure 1 - LOCALISATION DES EPROUVETTES D'OS CORTICAL PRELEVEES SUR UN CANNON DROIT REPRESENTÉ EN COUPE TRANSVERSALE (a) ET LONGITUDINALE (b).

LOCATION OF CORTEX SPECIMENS ON A TRANSVERSAL SECTION (a) OR LONGITUDINAL SECTION (b) OF A RIGHT CANNON.

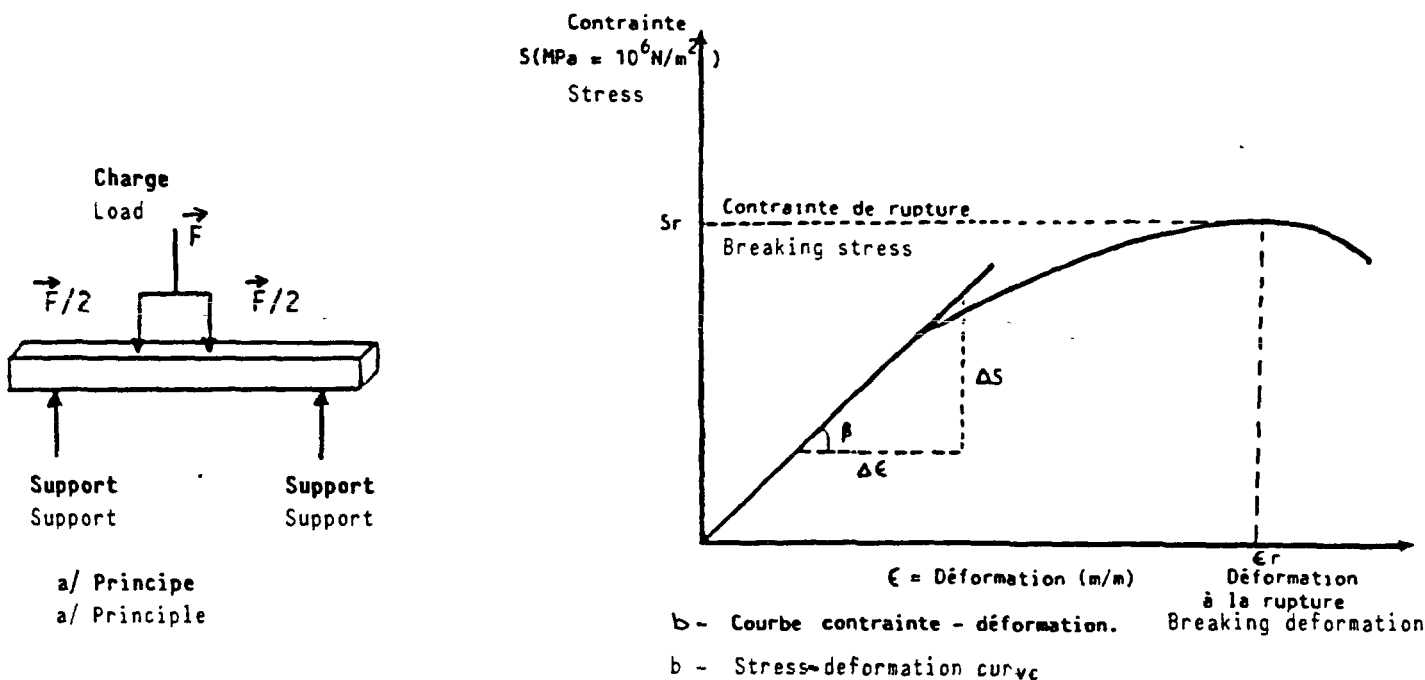


Figure II - TEST DE FLEXION 4 POINTS : a/ Principe, b/ courbe contrainte-déformation.  
 Four point bending test : a/ Principle, b/ stress-deformation curve

A sans 1/2 pourcentage  
of the value at  
3 and half years  
of age

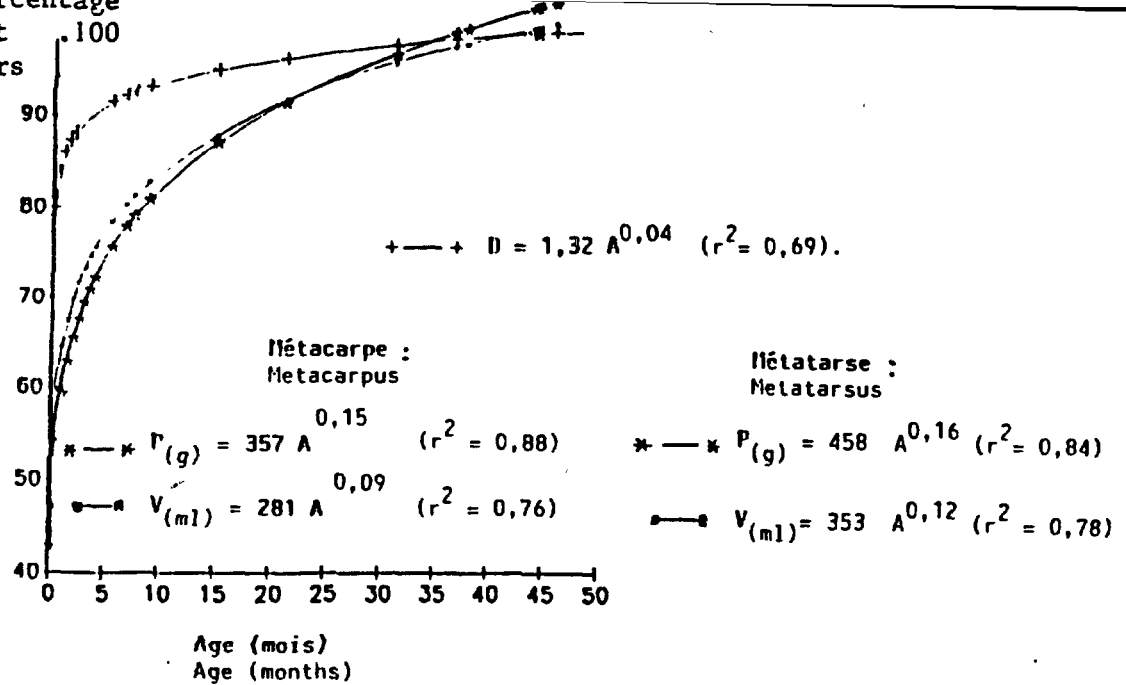


Figure III - EVOLUTION AVEC L'AGE (A) DU POIDS (P), DU VOLUME (V), DE LA DENSITE (D) DU METACARPE ET DU METATARSE.

INCREASE OWING TO THE AGE (A) OF WEIGHT (P), VOLUME (V) AND DENSITY (D) OF METACARPUS AND METATARSUS.

En % de la valeur à 3 ans 1/2  
Percentage of the value at  
3 and half years of age

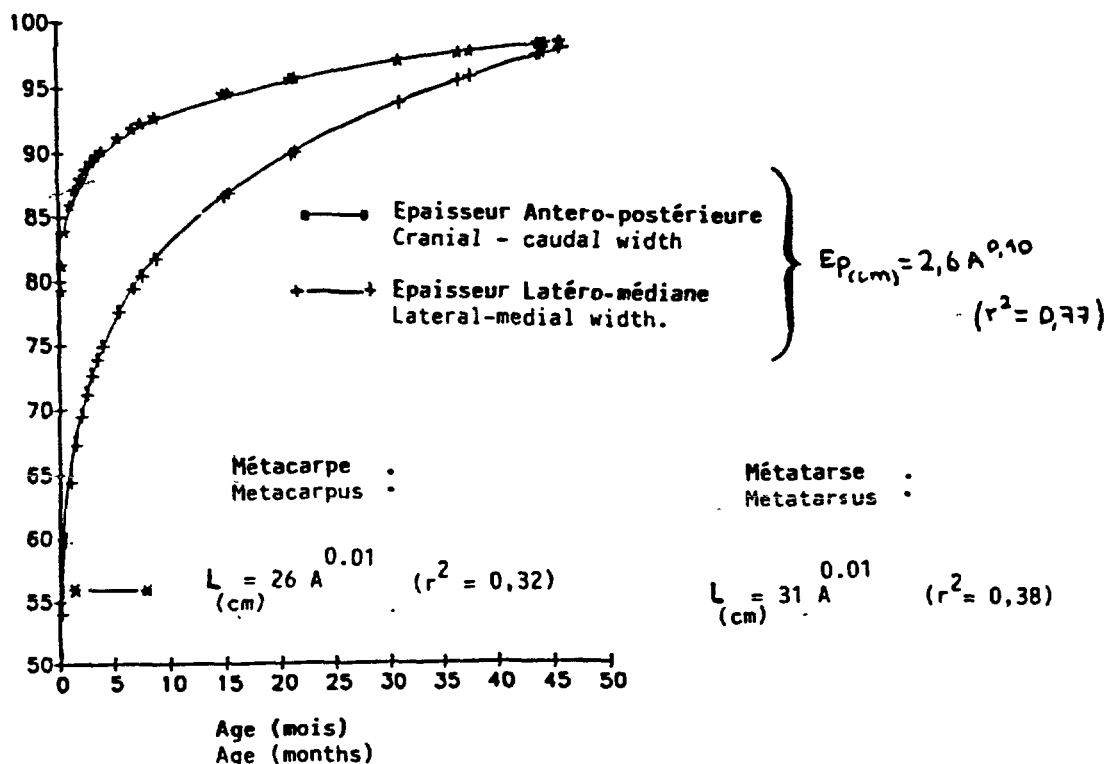
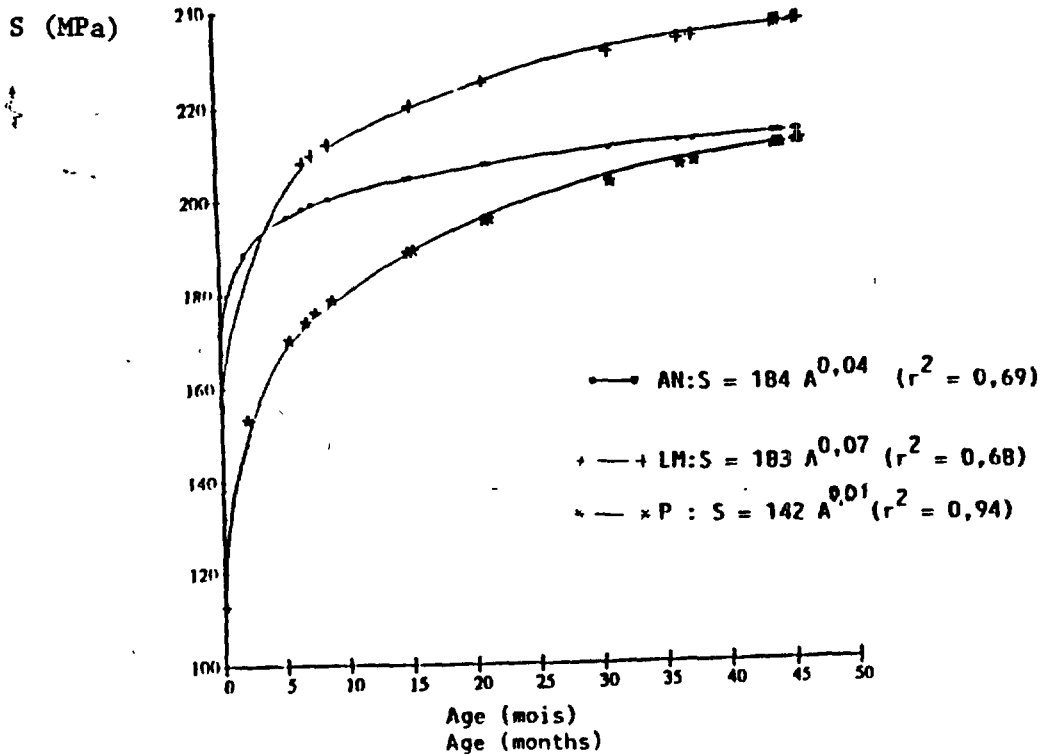


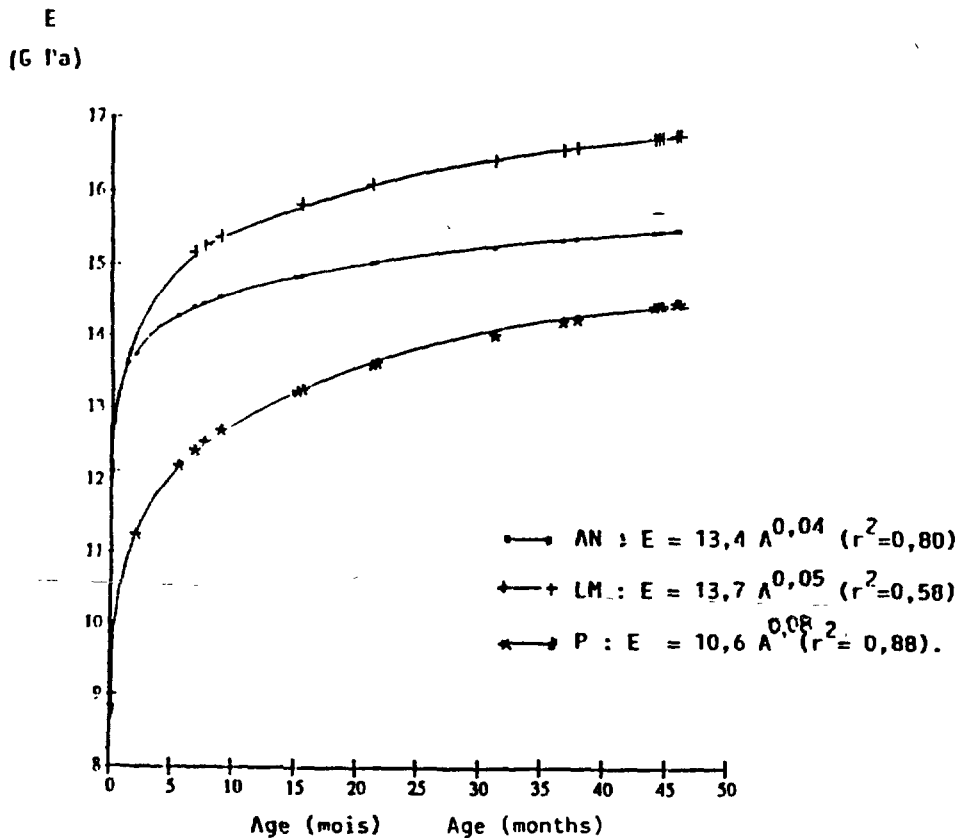
Figure IV - EVOLUTION AVEC L'AGE (A) DE LA LONGUEUR (L), DE L'ÉPAISSEUR (Ep) ANTERO-POSTÉRIEURE ET LATÉRO-MÉDIANE DU METACARPE ET DU METATARSE.

INCREASE OWING TO THE AGE (A) OF LENGTH (L), CRANIAL-CAUDAL AND LATERAL-MEDIAL WIDTH (Ep) OF METACARPUS AND METATARSUS.



**Figure V - AUGMENTATION AVEC L'AGE (A) DE LA CONTRAINTE DE RUPTURE (S) DES DIFFERENTES REGIONS : ANTERIEURE (AN), LATERALE ET MEDIALE (LM), POSTERIEURE (P) DE L'OS CANON DES ANIMAUX ABATTUS A L'INRA.**

INCREASE WITH AGE (A) OF THE BREAKING STRESS (S) OF CRANIAL (AN), LATERAL AND MEDIAL (LM), CAUDAL (P) QUADRANTS OF CANNON BONE FROM ANIMALS SLAUGHTERED IN INRA.



**Figure VI - AUGMENTATION EN FONCTION DE L'AGE (A) DU MODULE D'ELASTICITE (E) DES REGIONS : ANTERIEURE (AN), LATERALE et MEDIALE (LM), POSTERIEURE (P) DE L'OS CANON DES ANIMAUX ABATTUS A L'INRA.**

INCREASE WITH AGE (A) OF MODULUS OF ELASTICITY (E) OF CRANIAL (AN), CAUDAL (P), LATERAL AND MEDIAL (LM) QUADRANTS OF CANNON BONE FROM ANIMALS SLAUGHTERED IN INRA.

S (MPa)

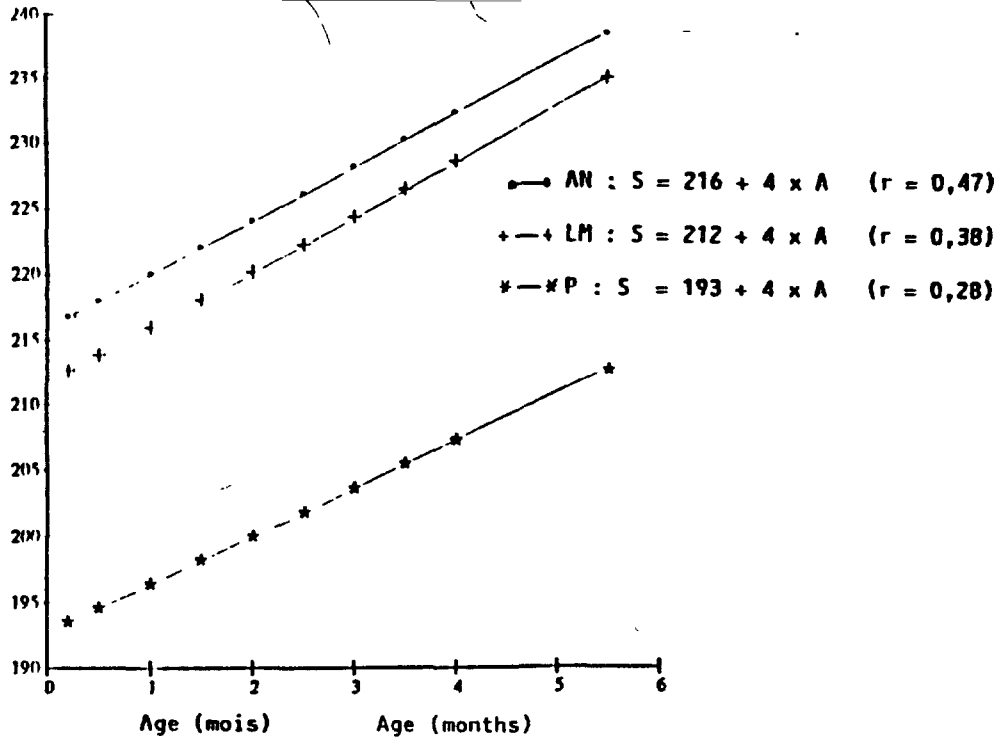


Figure VII - EVOLUTION EN FONCTION DE L'AGE (A) DE LA CONTRAINTE DE RUPTURE (S) DES REGIONS: ANTERIEURE (AN), LATERALE ET MEDIANE (LM), POSTERIEURE (P) DE L'OS CANON DES ANIMAUX PROVENANT DE L'INSTITUT DE PATHOLOGIE.

INCREASE WITH AGE (A) OF BREAKING STRESS (S) OF CRANIAL (AN), CAUDAL (P), LATERAL AND MEDIAL (LM) QUADRANTS OF CANNON BONE OF ANIMALS FROM INSTITUT DE PATHOLOGIE.

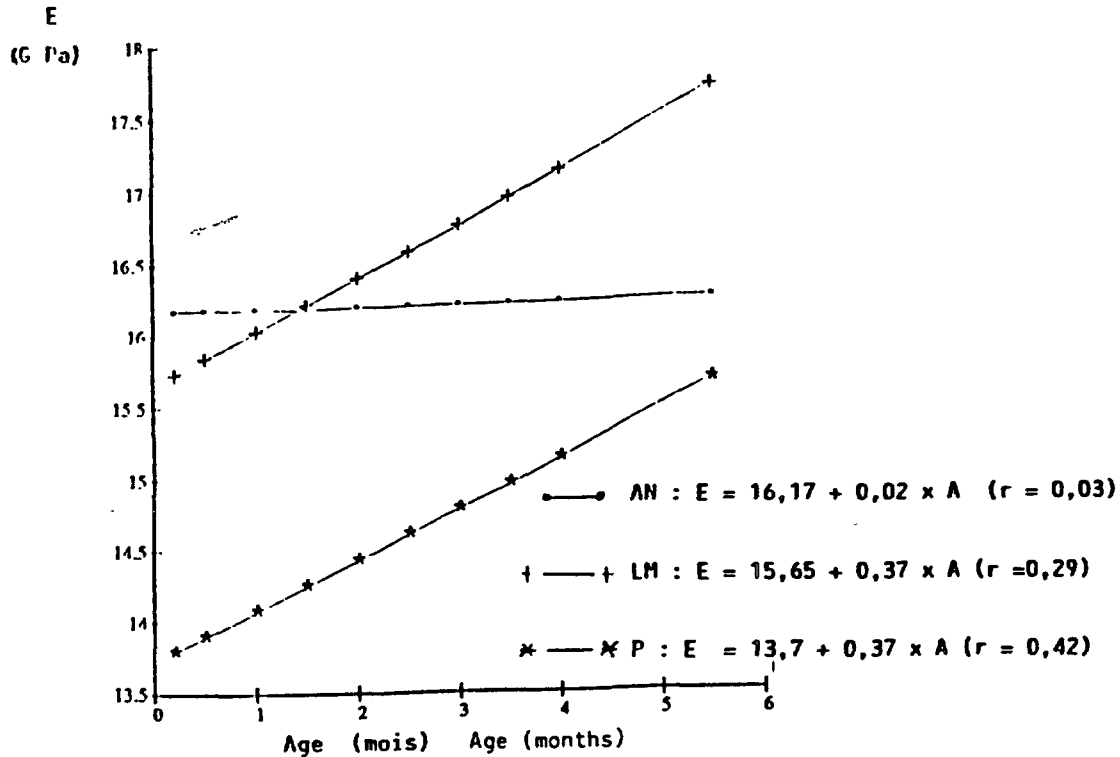


Figure VIII - EVOLUTION EN FONCTION DE L'AGE (A) DU MODULE D'ELASTICITE (E) DES DIFFERENTES REGIONS : ANTERIEURE (AN), LATERALE ET MEDIANE (LM), POSTERIEURE (P) DE L'OS CANON DES ANIMAUX PROVENANT DE L'INSTITUT DE PATHOLOGIE.

VARIATION OWING TO THE AGE (A) OF MODULUS OF ELASTICITY (E) OF : CRANIAL (AN), CAUDAL (P), LATERAL AND MEDIAL (LM) QUADRANTS OF CANNON BONE OF ANIMALS FROM INSTITUT DE PATHOLOGIE.