



FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT VETERINAIRE

N° Série :  
N° Ordre :

**MEMOIRE**

Pour l'obtention du diplôme de

**MAGISTER**

Option : Anatomie

**Sujet :**

**MESURES OSTEOMETRIQUES ET ESSAIS  
DE DURETE OSSEUSE DES MÉTAPODES  
DES PETITS RUMINANTS.**

Présenté Par :

**Mr DAIKH Badis**

Soutenu publiquement le: **02 Juin 2007.**

Devant le jury composé de :

S. MEHENNAOUI  
M. MELIZI  
M. BENZAOUZ  
M. OUTTAS

Prof. -Université de Batna: Président  
Prof. -Université de Batna: Rapporteur  
M.C. -Université de Constantine: Examineur  
M.C. -Université de Batna: Examineur

**Année Universitaire 2006/2007**

## **REMERCIEMENTS**

**A Monsieur MEHENNAOUI. S,**  
**Professeur à la faculté des sciences, université EL-HADJ Lakhdar, Batna.**

Qui nous a fait le grand honneur de présider notre jury de thèse.  
Hommage très respectueux.

**A Monsieur MELIZI. M,**  
**Professeur en Anatomie Vétérinaire et responsable de service d'anatomie comparée du département vétérinaire de Batna.**

En reconnaissance de son excellent enseignement  
Et en remerciement de la bienveillance avec laquelle il a dirigé notre travail.  
Hommage très respectueux.

**A Monsieur BENZAOUZ. M,**  
**Docteur en chirurgie et responsable de service de chirurgie du département vétérinaire de l'université de Constantine.**

Qui nous a fait l'honneur d'accepter de faire partie de notre jury de thèse.  
Hommage très respectueux

**A Monsieur OUATTAS. T,**  
**Docteur en mécanique à la faculté des sciences de l'ingénieur, université EL-HADJ Lakhdar, Batna.**

Pour sa participation généreuse à notre jury de thèse,  
Sincères remerciements.

**Sincères remerciements aux responsables du hall de mécanique, en particulier Mr ZAUCHE pour son aide précieuse.**

**A Monsieur BOUKAABOUB. A, Maître assistant, université EL-HADJ Lakhdar, Batna.**

Qui a pris beaucoup de temps pour m'aider à la réalisation de l'étude statistique.  
Sincères remerciements.

**A mes parents** qui m'ont toujours apporté tout ce dont j'avais besoin pour arriver jusqu'ici.

**A mes frères et sœurs et tous mes amis ....**

## **Résumé :**

L'objectif de notre travail a pour but de mesurer les paramètres ostéométriques des métapodes et d'évaluer leurs propriétés mécaniques d'une façon non destructive (essais de dureté). Ces mesures ont été effectuées sur des métapodes des ovins et des caprins. L'étude ostéométrique permet de déterminer l'espèce à partir d'un simple rapport biométrique SD/GL. A son tour l'étude de la dureté osseuse est variable en fonction de l'espèce, du sexe, de l'âge et même d'un membre à un autre. Finalement concernant les corrélations, l'augmentation de la largeur de la diaphyse se traduit par une augmentation de la dureté osseuse liée aux exigences des contraintes mécaniques.

**Mots clefs :** Anatomie comparée, Métapode, ostéométrie, dureté osseuse, petits ruminants.

## **Abstract:**

The objective of this work was to realize the osteometric measures and evaluate the mechanical properties of the bone in a nondestructive way. The sets as of these measurements were to carry out on métapodes sheep and the caprine ones. The osteometric study, make it possible to determined the species with the report SD/GL. In its turn the study of osseous hardness is variable according to species, sex, and age even of a member to another. Finally concerning the correlations, the increase in the width of diaphyse results in an increase in osseous hardness related to the requirements of the mechanical constraints.

**Key words :** Comparative anatomy, Métapode, osteometry, osseous hardness, small ruminants.

## **ملخص:**

الهدف من هذا العمل هو إجراء قياسات استيومترية إضافة إلى تقييم الخصائص الميكانيكية للعظام وذلك بطريقة غير تخطيطية. مجموع هذه التحاليل أجري علي عظام ساق الضان و الماعز. الدراسة الاستيومترية مكنت من تحديد السلالة باستعمال العلاقة البيومترية (SD/GL). بدورها الدراسة الميكانيكية أثبتت وجود تغيرات متعلقة بالصنف, العمر, الجنس ... أخيرا فيما يخص العلاقة بين الدراستين فان زيادة عرض العظم مرافقة للزيادة في شدة صلابته.

**كلمات مفتاحية** علم التشريح المقارن, متا بود, استيومتري, صلابة عظمية, مجترات صغيرة.

## INDEX DES ILLUSTRATIONS

Figure	Titre	Page
<b>01</b>	Un ostéone.	<b>03</b>
<b>02</b>	Un ostéoblaste.	<b>06</b>
<b>03</b>	Un ostéocyte.	<b>07</b>
<b>04</b>	Un ostéoclaste.	<b>09</b>
<b>05</b>	Schémas montrant les différentes étapes et zones d'ossification enchondrale.	<b>10</b>
<b>06</b>	Courbe contrainte-déformation d'un échantillon standardisé d'os testé en compression.	<b>13</b>
<b>07</b>	Structure d'un os long	<b>16</b>
<b>08</b>	Coupe d'os, vaisseaux et nerfs.	<b>18</b>
<b>09</b>	Dessin du métatarse gauche d'une brebis vue dorsale.	<b>21</b>
<b>10</b>	Répartition des animaux en fonction du sexe et de l'espèce.	<b>26</b>
<b>13</b>	Illustration des principales mesures caractéristiques des métapodes.	<b>33</b>
<b>14</b>	Procédure d'un essai de dureté Vickers.	<b>35</b>
<b>15</b>	Impressions résiduelles typiques d'indentation sur l'os (Vickers 100 $\mu\text{m}$ ).	<b>35</b>
<b>16</b>	Projection des variables (sexe, espèce, âge dureté des métapodes antérieurs et dureté des métapodes postérieurs) sur le plan factoriel principal.	<b>43</b>
<b>17</b>	Projection des variables (sexe, espèce, âge dureté des métapodes antérieurs et dureté des métapodes postérieurs) sur le plan factoriel secondaire.	<b>44</b>

## LISTE DES PHOTOS

Photo	Titre	Page
<b>01</b>	le pied à coulisse digital.	<b>28</b>
<b>02</b>	le duromètre	<b>29</b>
<b>03</b>	la scie électrique.	<b>30</b>
<b>04</b>	La machine à polissage.	<b>30</b>

## LISTE DES TABLEAUX

tableau	Titre	Page
<b>01</b>	Répartition des animaux en fonction du sexe et de l'espèce.	<b>26</b>
<b>02</b>	Définition des classes d'âges.	<b>27</b>
<b>03</b>	Etude comparative de SD/GL des métapodes des petits ruminants	<b>37</b>
<b>04</b>	Etude comparative de Bp/GL (sexage des ovins et caprins).	<b>39</b>
<b>05</b>	Corrélations entre les variables considérées.	<b>41</b>
<b>06</b>	Contribution à la variation totale des principaux axes.	<b>42</b>
<b>07</b>	Comparaison de la dureté osseuse d'un métapode (antérieur et postérieur) en fonction de l'espèce.	<b>45</b>
<b>08</b>	Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 1 <sup>ère</sup> tranche d'âge (comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).	<b>47</b>
<b>09</b>	Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 2 <sup>ème</sup> tranche d'âge (comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).	<b>48</b>
<b>10</b>	Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 3 <sup>ème</sup> tranche d'âge (comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).	<b>49</b>
<b>11</b>	Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 4 <sup>ème</sup> tranche d'âge (comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).	<b>50</b>
<b>12</b>	Présentation détaillée des couples de corrélation entre variables (ostéométrie-dureté osseuse).	<b>52</b>
<b>13</b>	Valeurs des paramètres mesurés des métacarpiens en fonction du sexe et de l'espèce.	<b>62</b>
<b>14</b>	Valeurs des paramètres mesurés des métatarsiens en fonction du sexe et de l'espèce.	<b>63</b>
<b>15</b>	Origines des mesures, classées par source bibliographique.	<b>69</b>

# SOMMAIRE

## LA PARTIE THEORIQUE

Introduction .....	01
<b>Chapitre I</b> <i>Structure osseuse</i> .....	<b>02</b>
<b>I. Structure osseuse</b> .....	<b>02</b>
<b>1. Architecture osseuse</b> .....	<b>02</b>
1.1. Le tissu osseux non lamellaire et lamellaire .....	02
1.2. structure macroscopique .....	03
1.2.1. L'os spongieux .....	03
1.2.2. l'os compact .....	03
1.3. Le périoste .....	03
1.4. L'endoste .....	04
<b>2. Structure microscopique (cellules osseuses)</b> .....	<b>04</b>
2.1. Les cellules souches .....	04
2.1.1. les ostéoblastes .....	05
2.1.2. les ostéocytes .....	06
2.1.3. les ostéoclastes .....	08
2.2. la substance fondamentale osseuse .....	09
2.2.1. La matrice organique .....	10
2.2.2. La matrice inorganique .....	11
2.2.3. La minéralisation du tissu osseux .....	11
<b>3. Modelage et remaniement</b> .....	<b>12</b>
3.1. le modelage .....	12
3.2. le remaniement .....	12
<b>II. Propriétés mécaniques osseuses</b> .....	<b>13</b>
1. Courbe contrainte- déformation .....	13
2. Facteurs influençant les propriétés mécaniques de l'os .....	14
2.1. Masse osseuse .....	14
2.2. Propriétés intrinsèques du tissu osseux .....	14
<b>Chapitre II</b> <i>Anatomie des métapodes</i> .....	<b>15</b>
1. Choix des métapodes, historique et valeur scientifique .....	15
2. Etude macroscopique d'un os long .....	15
2.1. Généralités .....	15
2.2. Moelle osseuse .....	17
2.3. Vascularisation et innervation .....	17
3. Métapode du membre thoracique .....	19
3.1. Description .....	19
3.2. Conformation .....	19
3.3. Particularités chez les ovins et les caprins .....	20
4. Métapode du membre pelvien .....	20
4.1. Description .....	20

4.2. Conformation .....	20
4.3. Particularités chez les ovins et les caprins .....	21
<b>II. Développement des métapodes .....</b>	<b>22</b>
1. Généralités .....	22
2. Développement et ossification d'un os long (cas de l'os canon).....	22
2.1. Ossification de la diaphyse d'un os long .....	22
2.2. Ossification des épiphyses d'un os long .....	24
3. Particularités du développement chez les petits ruminants .....	25
3.1. le métacarpe .....	25
3.2. le métacarpe .....	25

# PARTIE PRATIQUE

<b>CHAPITRE I : MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>26</b>
<b>1. Matériel expérimental</b> .....	<b>26</b>
1.1. Les animaux .....	26
1.2. Matériel de la préparation des métapodes .....	27
1.3. Matériel de mesure .....	27
<b>2. Méthodes utilisées</b> .....	<b>31</b>
2.1. La séparation et préparation des métapodes .....	31
2.2. Réalisation des mesures .....	31
2.2.1. Les mesures ostéométriques .....	32
2.2.2. Mesures de la dureté osseuse .....	34
2.2.2.1. Préparation d'échantillon .....	34
2.2.2.2. Choix du pénétrateur .....	34
2.2.2.3. Procédé de mesure .....	34
<b>3. Analyse des données</b> .....	<b>36</b>
3.1. Présentation des données .....	36
3.2. Méthodes statistiques .....	36
<b>CHAPITRE II : RESULTATS ET DISCUSSIONS</b> .....	<b>37</b>
<b>I. ETUDE OSTEOMETRIQUE</b> .....	<b>37</b>
1. Présentation des données .....	37
2. Essais de création d'un modèle mathématique ostéométrique (espèce, sexe et age) .....	37
2.1. Espèce .....	37
2.2. Sexage .....	38
2.3. Age .....	40
<b>II. ETUDE DE LA DURETE OSSEUSE</b> .....	<b>40</b>
1. Influence globale des paramètres: étude graphique (ACP).....	40
1.1. Gestion des données .....	40
1.2. Résultats d'ACP (analyse en composante principale) .....	41

1.3. Projection des variables et caractérisation des principaux axes .....	42
1.4. Projections des individus .....	45
2. Etude et analyses monovariées .....	45
2.1. Espèce .....	45
2.2. Effet du sexe et de l'âge sur la dureté osseuse .....	46
III. ETUDE DES CORRELATIONS (Dureté – Ostéométrie) .....	51
1. Choix du type osseux.....	51
2. Paramètres retenus .....	52
3. Étude globale des corrélations pour les métacarpiens .....	52
3.1. Présentation des matrices de corrélations .....	52
3.2. Interprétation .....	52
3.3. Discussion et conclusion .....	53
CONCLUSION GENERALE .....	54
PERSPECTIVES .....	55
ANNEXES .....	56
ANNEXES 01 : Donnés brutes (paramètres signalétiques et mesures ostéo-durométriques associées) .....	56
ANNEXES 02 : Présentation des données .....	61
ANNEXES 03 : La nomenclature ostéométrique .....	65
LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	71

# ***PARTIE THEORIQUE***



## INTRODUCTION

Le métapode ou os canon correspond chez les ruminants domestiques à la soudure des os métacarpiens ou métatarsiens III et IV. D'une part, cet os pourrait servir d'outil efficace dans la détermination de la taille, du sexe et du poids de l'animal. D'autre part, c'est un os assez dur et particulièrement solide enregistrant la variation des plus fines contraintes liées aux différentes exigences des facteurs environnants.

Dans une première partie, nous allons essayer de donner un rappel théorique global concernant l'architecture osseuse et les effets engendrés par les contraintes mécaniques sur le degré de résistance et de dureté de la muraille osseuse.

Dans une deuxième partie, nous allons nous intéresser à l'appréciation des paramètres ostéométriques et à la détermination de la dureté osseuse des métapodes. L'étude sera complétée par la recherche des corrélations existantes entre la dureté de l'os et les mesures ostéométriques.

Des données relatives à l'ostéométrie et à la dureté des métapodes seront établies.

## **I. Structure osseuse**

Comme tous les organes, les os sont constitués par l'agencement de plusieurs tissus. Ce sont: le tissu osseux, le périoste, le cartilage, la moelle osseuse; il s'y ajoute des vaisseaux et des nerfs (Barone, 1976).

Le tissu osseux est un tissu conjonctif spécialisé d'origine mésenchymateuse dont la matrice extracellulaire s'imprègne de sel de calcium (hydroxyapatite) en la rendant rigide et dense. Il est idéalement adapté à son rôle de protection et de soutien du squelette (Balas et Philip, 2001).

Le tissu osseux revêt une importance capitale pour l'organisme tant sur le plan biomécanique que sur le plan métabolique, il est figé et inerte d'un côté, à contrario c'est une structure dynamique en perpétuel remaniement assurant alors une homéostasie phosphocalcique adéquate dans le sang et dans les liquides organiques (Topetts et al ; 2003).

### **1. Architecture des os**

Qu'ils soient longs, courts ou plats, les os adultes, qu'ils soient compacts ou spongieux, sont constitués de tissu osseux lamellaire (Prugnonne et Thoreau, 1996).

#### **1.1. Le tissu osseux non lamellaire et lamellaire.**

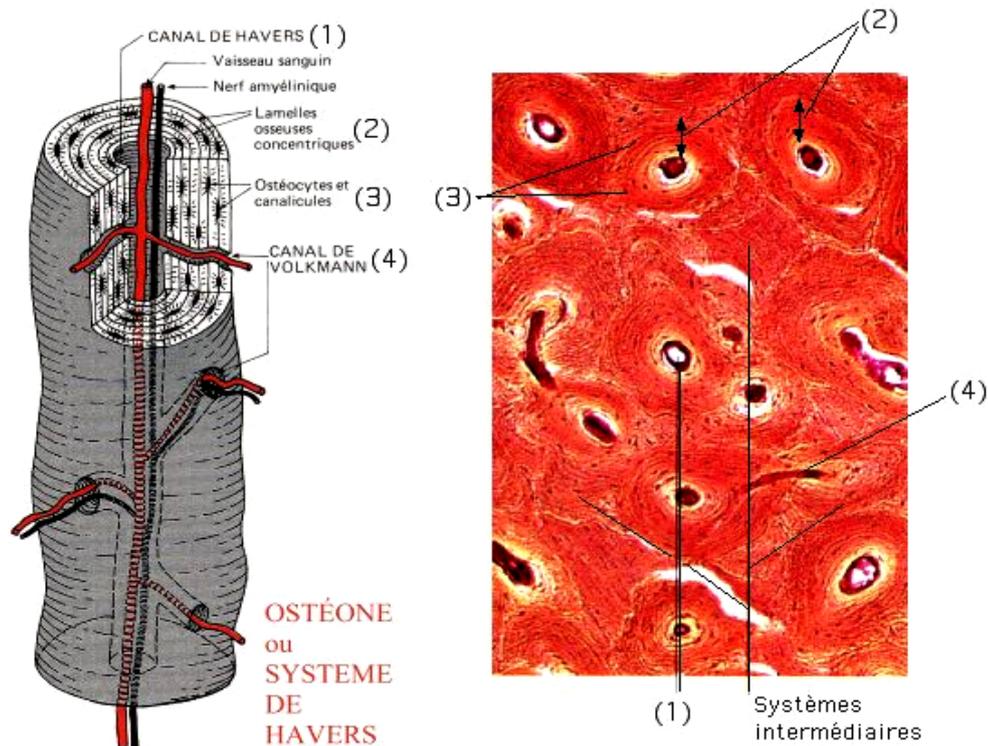
##### **1.1.1. Le tissu osseux non lamellaire**

C'est un tissu osseux immature qui résulte de l'ossification d'un modèle mésenchymateux ou cartilagineux (Gringnon, 1996), la matrice organique n'est pas organisée en lamelles régulières : les fibres de collagènes ne sont pas orientées, les protéoglycanes et ostéones sont plus nombreux que dans le tissu osseux lamellaire (Prugnonne et Thoreau, 1996).

##### **1.1.2. Le tissu osseux lamellaire**

Il résulte de l'ossification secondaire du précédent avec formation d'un modèle ordonné, mature et définitif (Prugnonne et Thoreau, 1996). Les lamelles sont concentriques et s'entassent d'une façon parallèle formant un cylindre de 04 à 15 unités appelées :

ostéones ou systèmes haversiens. Chaque *ostéone* (Fig. 01) est creusé d'un long canal ; c'est le canal de havers, lieu de passage des vaisseaux et des nerfs d'où la douleur ressentie lors des traumatismes ou des fractures. D'autres canaux sont transversaux, c'est l'ensemble des canaux dits de *VOLKMAN*. Dans un os lamellaire compact les lamelles sont organisées en 04 systèmes lamellaires : les lamelles circonférentielles internes et externes et les ostéones (Bernaudin, 1997).



**Figure (01) :** Un ostéone (Balas et Philip, 2001).

## 1.2. Structure macroscopique:

Selon leur condensation en lamelles et leurs orientations on distingue :

### 1.2.1. L'os spongieux

C'est l'os épiphysaire ou des extrémités. Il doit son nom à son aspect aréolaire, poreux (Crenier, 1991). Il est constitué par un lacis tridimensionnel de spicules de tissu osseux qui délimitent un labyrinthe d'espace ramifié ou anastomosé (Prugnolle et Thoreau, 1996). Il occupe les extrémités élargies des os longs et l'espace compris entre ces travées est

emprisonné par la moelle osseuse rouge hématopoïétique, précurseur des éléments figurés du sang.

### 1.2.2. L'os compact

C'est l'os diaphysaire ou du corps d'os, appelé aussi os des métaphyses ou encore de la corticale (Bernaudin, 1997). Il est plus dense et plus ordonné que le précédent, dans lequel les ostéones sont réguliers, cylindriques, parallèles les uns aux autres. Il est doué d'une forte valeur mécanique surtout dans la partie moyenne des os longs, où les ostéones sont orientés parallèlement au grand axe de l'os, c'est-à-dire dans le même sens où les forces de pression et de traction s'exercent sur l'os (Barone, 1976).

### 1.3. Le périoste

C'est un tissu conjonctif qui revêt la surface externe dans tous les os sauf au niveau des cartilages articulaires et des insertions des muscles et tendons, il existe 02 couches :

- ◆ **Couche interne** : principalement ostéogénique, elle est constituée par des cellules mésenchymateuses qui peuvent donner des ostéoblastes (Prugnotte et Thoreau, 1996). Il existe également des fibres de collagènes mais en faible apport (Bernaudin, 1997).
- ◆ **Couche externe** : constituée essentiellement par des fibres de collagènes habitées par des fibroblastes (Bernaudin, 1997).

### 1.4. L'endoste

C'est une couche de cellules aplatie reposant sur un conjonctif peu abondant qui tapisse la cavité médullaire. Ces cellules comme le périoste peuvent se transformer en ostéoblastes (Gringnon, 1996).

## 2. Structure microscopique

### 2.1. les cellules souches

On distingue deux colonies de cellules souches qui proviendraient de la différenciation de cellules mésenchymateuses indifférenciées dont l'aspect morphologique est

indiscernable de celui des fibroblastes (Borrel, 2003). Ainsi, des cellules issues de l'endoste, de la couche profonde du périoste et du stroma médullaire, sont capables de se différencier indépendamment de tout stimulus inducteur ; ce sont les cellules précurseurs ostéogéniques prédéterminés (determined osteogenic precursor cells : D.O.P.C.). Le second groupe, celui des cellules mobiles présentes dans la moelle osseuse, les tissus conjonctifs et le sang circulant peuvent se différencier sous l'action de facteurs de croissance ; ce sont les cellules ostéoprogénitrices inductibles (inducible osteogenic precursor cells : I.O.P.C.). La différenciation de ces cellules est séquentielle : in vivo, les cellules souches mésenchymateuses se différencient en cellules ostéoprogénitrices puis en pré-ostéoblastes, en ostéoblastes de transition et finalement en ostéoblastes sécrétantes (Borrel, 2003).

D'une manière générale, les cellules souches se concentrent principalement sur la surface d'os et notamment au niveau de la couche profonde du périoste et de l'endoste (Gringnon et al, 1996). Ces cellules sont normales et sans caractéristiques particulières, considérées comme précurseur inactif des cellules ostéoprogénitrices nécessaires pour les os en croissance et durant la vie adulte pour la réparation des os.

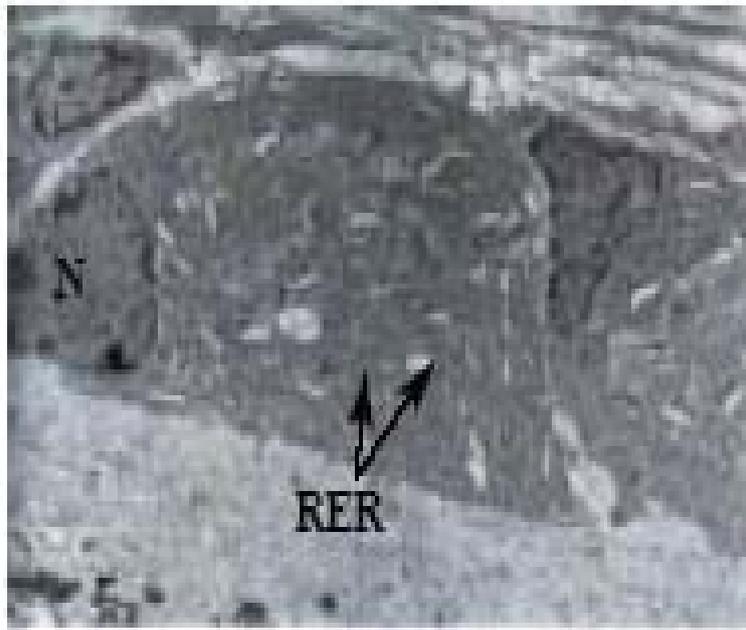
### 2.1.1. les ostéoblastes (fig. 02)

Ce sont des cellules prismatiques ou cubiques à cytoplasme basophile qui dérivent des cellules mésenchymateuses ostéoprogénitrices (Prugnotte et Thoreau, 1996), ils possèdent des prolongements reliés à ceux des ostéoblastes voisins et des ostéocytes les plus proches par des jonctions de type **gap** qui assure entre eux un couplage ionique et électrique (Gringnon, 1996).

Les ostéoblastes sont des cellules actives alignées sur la surface de l'os en couches mononucléaires assurant le dépôt actif de la nouvelle substance fondamentale osseuse et déposant une matrice constituée de collagène, de protéines non collagéniques et de protéoglycanes : l'ostéoïde. (Borrel, 2003).

Les ostéoblastes possèdent un cytoplasme plein d'organites, avec une importante synthèse protéique d'où la sécrétion de la matrice osseuse organique: collagènes I, ostéonectine, ostéocalcine, protéoglycanes... . Ils sont impliqués par ailleurs dans le processus de minéralisation grâce à la phosphatase alcaline (Gringnon, 1996). Ils jouent aussi un rôle ostéolytique (l'ostéolyse est initiée par les ostéoblastes) car ils libèrent des collagénases sous l'action de la parathormone. Il apparaît donc clairement que l'ostéoblaste est impliqué à la fois dans l'ostéogenèse et dans l'ostéolyse (Gori *et al*,

in Toppets et al ; 2004). Pour preuve : en culture cellulaire, les ostéoclastes sont incapables de détruire l'os en l'absence d'ostéoblastes (Boyde *et al.*, 1994 ; Baron, 2001 ; Fauchoux *et al.*, 2001 ; Theil *et al.*, 2002 in Toppets et al 2004). Ainsi, les ostéoblastes comme toutes autres cellules, possèdent des récepteurs de surfaces pour certaines hormones, vitamines et cytokines qui règlent leurs activités. Enfin lorsque les ostéoblastes élaborent la matrice osseuse, ils se retrouvent emprisonnés, et lorsque la matrice se calcifie, ils deviennent des ostéocytes (Bernaudin, 1997).



**Figure (02):** un ostéoblaste (Cross et Mercer, 1995 in Toppets et al, 2004).

**Interprétation :** *Ostéoblaste. Electromicrographie d'un ostéoblaste.*

**N :** noyau excentré; **RER :** réticulum endoplasmique rugueux très abondant, signe d'une synthèse protéique intense.

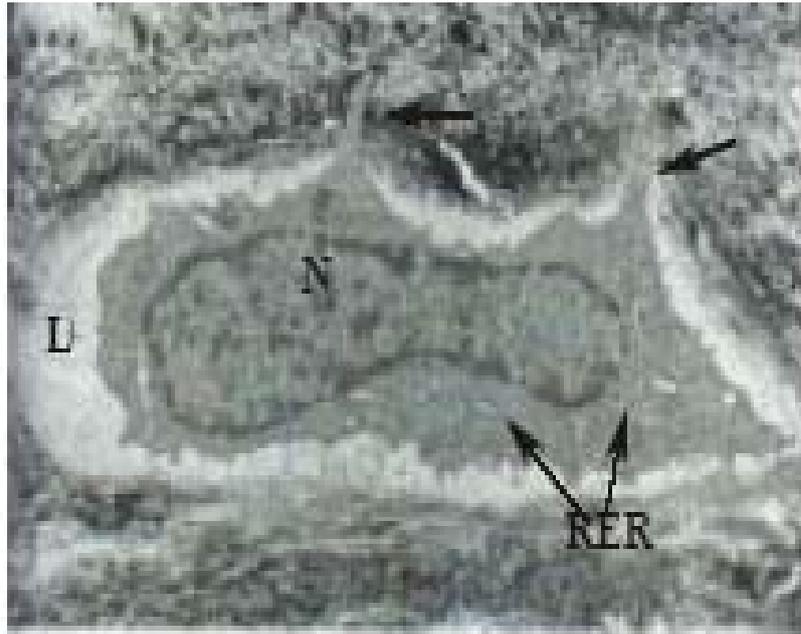
### 2.1.2. Ostéocytes

Durant la synthèse de la matrice, une large part des ostéoblastes meurt, d'autres retournent à un état quiescent , principalement sur les surfaces osseuses, d'autres encore sont emprisonnés dans la matrice qu'ils ont synthétisée. Dans ce dernier cas, ils portent le nom d'ostéocytes; ce sont donc les cellules osseuses mûres qui assurent l'entretien organique de l'os (Balas et Philip, 2001); leur disparition entraîne la nécrose tissulaire. Ils sont logés dans une lacune ménagée dans la matrice : l'ostéoplaste (Toppets et al, 2004).

Les ostéocytes, sont des cellules allongées, mononuclées, possédant de nombreuses extensions cytoplasmiques pénétrant les canalicules en relation avec le canal de Havers. Les ostéocytes voisins sont en contact les uns avec les autres par le biais de zones jonctionnelles situées entre deux extensions cytoplasmiques et au niveau desquelles s'effectuent des échanges moléculaires. Ces connexions sont également présentes entre ostéocytes et ostéoblastes. L'ostéocyte proviendrait de certains ostéoblastes qui ayant synthétisé et minéralisé la matrice osseuse, se trouveraient enfermés dans un système canaliculaire au sein de l'os néoformé (Hollinger et Mc allister ,1995 in Borrel, 2003). La différenciation des ostéoblastes en ostéocytes résulterait de leur interaction avec le collagène de type IV et la laminine de la membrane basale des capillaires mais aussi de leur interaction avec la matrice extracellulaire qu'ils synthétisent et qui contient du collagène de type I, des protéines non-collagéniques comme l'ostéopontine, l'ostéonectine et l'ostéocalcine (Hollinger et Mc allister ,1995 in Borrel, 2003).

Les ostéocytes jeunes possèdent une morphologie proche de celle des ostéoblastes alors que les ostéocytes plus anciens, plus profondément enfouis dans l'os sont de taille inférieure et de forme ovoïde. L'ostéocyte intervient dans la régulation calcique et dans l'entretien et le renouvellement de la matrice osseuse selon des mécanismes non encore élucidés. Egalement et comme les ostéoblastes, les ostéocytes sont identifiables par immuno-marquage (Bruder et al, 1994 in Borrel, 2003).

Bien que son activité métabolique soit moindre par rapport à l'ostéoblaste, l'ostéocyte conserve un important appareil de Golgi ainsi que quelques citernes (fig. 3). Ceci suggère que les ostéocytes sont essentiels pour le renouvellement continu de la matrice organique de la zone périostéocytaire. (Banks, 1993a in Toppets et al ; 2004) De plus, en microscopie électronique, on distingue, juste en périphérie de la lacune, un tissu osseux périlacunaire, de faible densité contenant moins de fibres de collagène mais plus de matrice minérale amorphe que le tissu osseux normal. Sous l'action de la parathormone et de la vitamine D, les ostéocytes résorbent cette matrice plus labile, au cours d'un processus appelé l'ostéolyse ostéocytaire. Inversement, sous l'influence de la calcitonine, il y aura stockage de calcium au niveau de cette même matrice périlacunaire. Ces mécanismes assurent l'homéostasie du calcium dans le plasma.



**Figure (03):** un ostéocyte (Cross et Mercer, 1995 in Toppets et al, 2004).

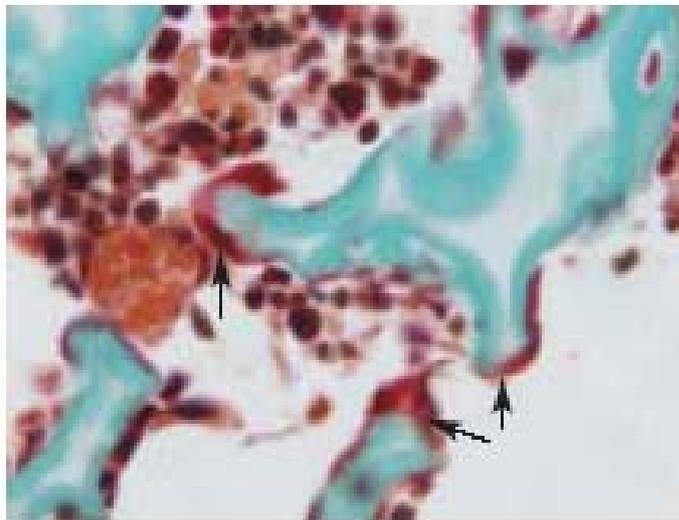
**Interprétation :** *Electromicrographie d'un ostéocyte.*

**N :** noyau; **RER :** réticulum endoplasmique rugueux réduit, signe d'une faible activité de synthèse ; **L :** logette entourant l'ostéocyte = lieu de l'ostéolyse ostéocytaire ; **→ :** prolongements cytoplasmiques disposés dans des canalicules creusés dans l'os.

### 2.1.3. Ostéoclastes

Ce sont des cellules géantes polynucléées, de 20 à 100  $\mu\text{m}$  de diamètre et qui proviendraient de la différenciation de cellules monocytaires contenues dans le stroma médullaire (Hirano et Urist, 1981; Hollinger et MC Allister, 1995 in Borrel 2003). L'ensemble de ces cellules présente un aspect très particulier avec une membrane hérissée (bordure en brosse) et une activité lytique remarquable. Ces cellules se focalisent au niveau des surfaces d'os en voie de résorption dans des zones de lyse appelées **lacunes de Howship** (Prugnotte et Thoreau 1996). Elles se fixent solidement par des prolongements qui délimitent latéralement un espace compris entre la surface osseuse et le corps cellulaire de l'ostéoclaste : la chambre de résorption (Gringnon, 1996). Le cytoplasme est très riche en lysosomes et en vacuoles d'hétérophagosomie (en relation avec la résorption active de l'os (fig. 4). Les ostéoclastes possèdent une valeur phagocytaire analogue des macrophages (Balas et Philip, 2001). Ils sécrètent en effet des acides organiques tels des citrates et des lactates qui assurent la dissolution des minéraux

osseux ainsi que des collagénases, des enzymes protéolytiques et des hydrolases acides tels que la phosphatase acide et l'anhydrase carbonique qui abaissent le pH du milieu, et détruisent le cristal osseux en premier temps. Dans un second temps, la trame collagénique est phagocytée par les ostéoclastes. La lyse protéique s'effectue grâce à l'intervention de protéases. Les débris sont ensuite libérés par exocytose. Les cavités de résorption ou lacunes de Howship, créées par ces cellules, sont ensuite comblées par l'os déposé par les ostéoblastes (Bruder et al, 1994 in Borrel, 2003). L'activité de l'ostéoclaste est sous l'influence de facteurs de croissance et d'un couple d'hormones à effets antagonistes : la parathormone qui la stimule et la thyrocalcitonine qui la déprime (Borrel, 2003).



**Figure (04):** un ostéoclaste (Toppets et al, 2004)

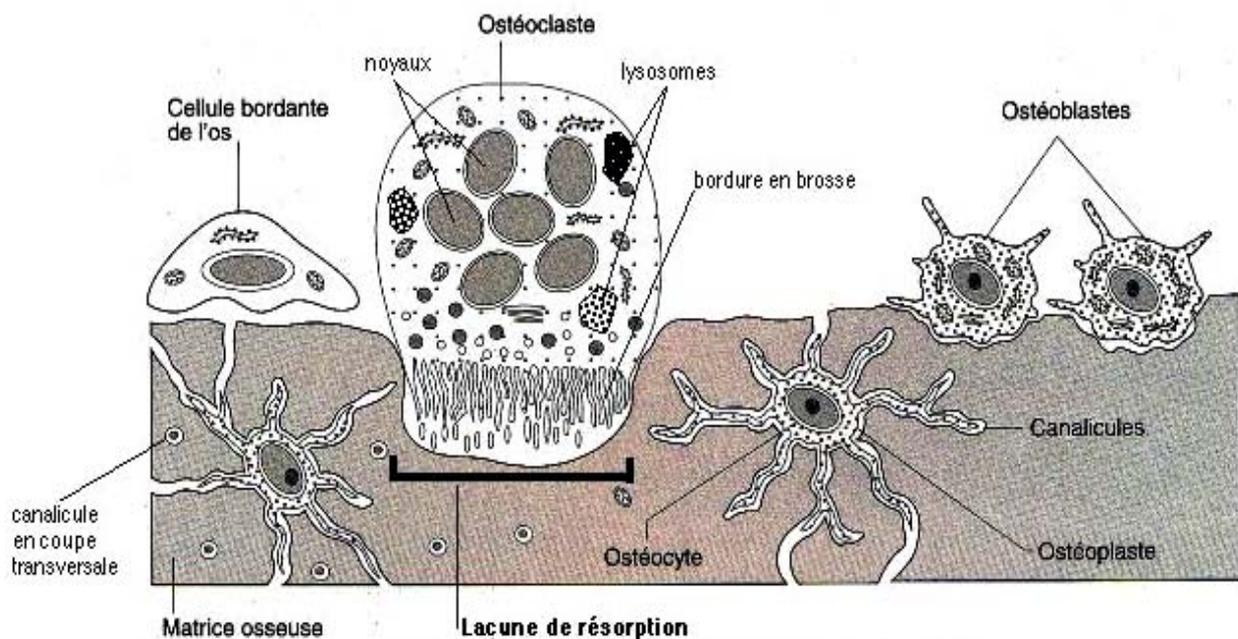
**Interprétation:** *Electromicrographie d'un ostéoclaste, Trichrome de Masson (T.M.) (X400).*

(→) : un ostéoclaste cellule géante plurinucléée au cytoplasme acidophile, souvent située sur des spicules osseux.

## 2.2. la substance fondamentale osseuse (fig. 5)

Le tissu osseux est constitué de cellules: les ostéoblastes, les ostéocytes et les ostéoclastes, ainsi que d'une matrice extracellulaire, dans laquelle baignent tous les éléments d'os.

La matrice extracellulaire occupe entre **92** et **95** % du volume tissulaire et peut être subdivisée en matrice organique (**22** %) et inorganique (**69** %). La teneur en eau, environ **9**%, est très variable en fonction de l'âge et du degré de minéralisation (Toppets et al ; 2004).



**Figure (05):** Schéma d'après Balas et Philip (2001) montrant les différentes cellules osseuses et la matrice extracellulaire.

### 2.2.1. La matrice organique

La matrice organique représente **22%** de la masse osseuse et forme ce que l'on appelle l'ostéoïde ou substance préosseuse (Toppets et al ; 2004). Les principales classes de macromolécules qui la composent forment la *substance fibrillaire* (**90** %) contenant des protéines fibreuses structurales (collagène et élastine) ou adhérentes (fibronectine) (Alberts *et al.* 1995 in Toppets et al ; 2004). La *substance interfibrillaire* (**10** %) englobant les glycosaminoglycans (GAG) et protéoglycans (Ducy, 2001 in Toppets et al, 2004), des petites protéines non collagéniques comme l'ostéopontine, l'ostéonectine, l'ostéocalcine et les sialoprotéines osseuses ainsi que des lipides en petites quantités.

### 2.2.2. La matrice inorganique

Chez l'adulte, la composition osseuse est, par rapport au poids de l'échantillon, de **22%** de matrice organique, de **69 %** de matière inorganique et de **9%** d'eau (Banks, 1993a in Toppets et al ; 2004). Les sels minéraux les plus abondants sont le calcium (**27 %**) et le phosphore (**12 %**) dans un ratio égal à **1,66** (Fawcett, 1994 in Toppets et al ; 2004). Les origines du calcium sont multiples: dans le plasma, le calcium se trouve soit sous une forme non diffusible (**40 %**) liée à des protéines spécifiques, soit sous une forme diffusible (**60%**) au quel cas, il sera libre ou complexé. Le calcium libre migre rapidement vers les espaces interstitiels, notamment dans la matrice osseuse, où sa concentration sera sensiblement la même que dans le plasma.

### 2.2.3. la minéralisation de tissu osseux

- **Première phase : sécrétion de la matrice ostéoïde sous forme de « bandes».**

Au cours de laquelle le produit sécrété par la cellule s'accumule en couches pour former une bande. Les fibres de collagène sont orientées en fonction des tractions de l'ostéoblaste sur la matrice et des contraintes mécaniques (Toppets et al ; 2004).

- **Deuxième phase : la minéralisation proprement dite.**

La dureté et la rigidité du tissu osseux sont dues à la présence de sels minéraux dans la matrice ostéoïde et plus particulièrement de calcium et d'hydroxyde de phosphate qui précipitent pour former des cristaux d'hydroxyapatite (**HAP**) thermodynamiquement stables, dont la formule chimique est (**Ca<sub>10</sub> (PO<sub>4</sub>)<sub>6</sub>(OH) <sub>2</sub>**). Ces cristaux se fixent entre et sur les fibres de collagène assurant ainsi la minéralisation de l'ostéoïde (Stevens et Lowe, 1992 in Toppets et al ; 2004). En cas de défauts de minéralisation, Il y aura donc une réduction quantitative de la masse osseuse par unité de volume. On parlera d'ostéopénie quantitative, l'os sera donc « mou » et mécaniquement peu résistant (Coussement et al; 2003 in Toppets et al ; 2004 ).

### **3. Modelage et remaniement**

#### **3.1. le modelage**

Le modelage est un phénomène continu particulièrement évident lors de la phase de croissance osseuse durant laquelle l'os conserve sa forme générale tout en augmentant de taille (JeeWss, 1988 in Dauvillier, 2004). Cette stabilité formelle est assurée par un double phénomène de résorption à certains endroits et d'apposition ostéoblastique à d'autres (Bloom et Fawcett, 1994; JeeWss, 1988; Koblik et al; 1988 : in Dauvillier, 2004). La résorption et l'apposition de tissu osseux se font, dans le cadre du modelage, au niveau des surfaces osseuses, externes et internes, à partir du périoste et de l'endoste respectivement (Bloom et Fawcett, 1994 in Dauvillier, 2004). En dehors de la phase de croissance, le modelage est un phénomène qui intervient ainsi pour maintenir un os compétant qui s'adapte facilement aux différentes contraintes dans un environnement mécanique bien prisé (Sherman, 1995 ; Davies et al; 1999 : in Dauvillier, 2004).

#### **3.2. Remaniement**

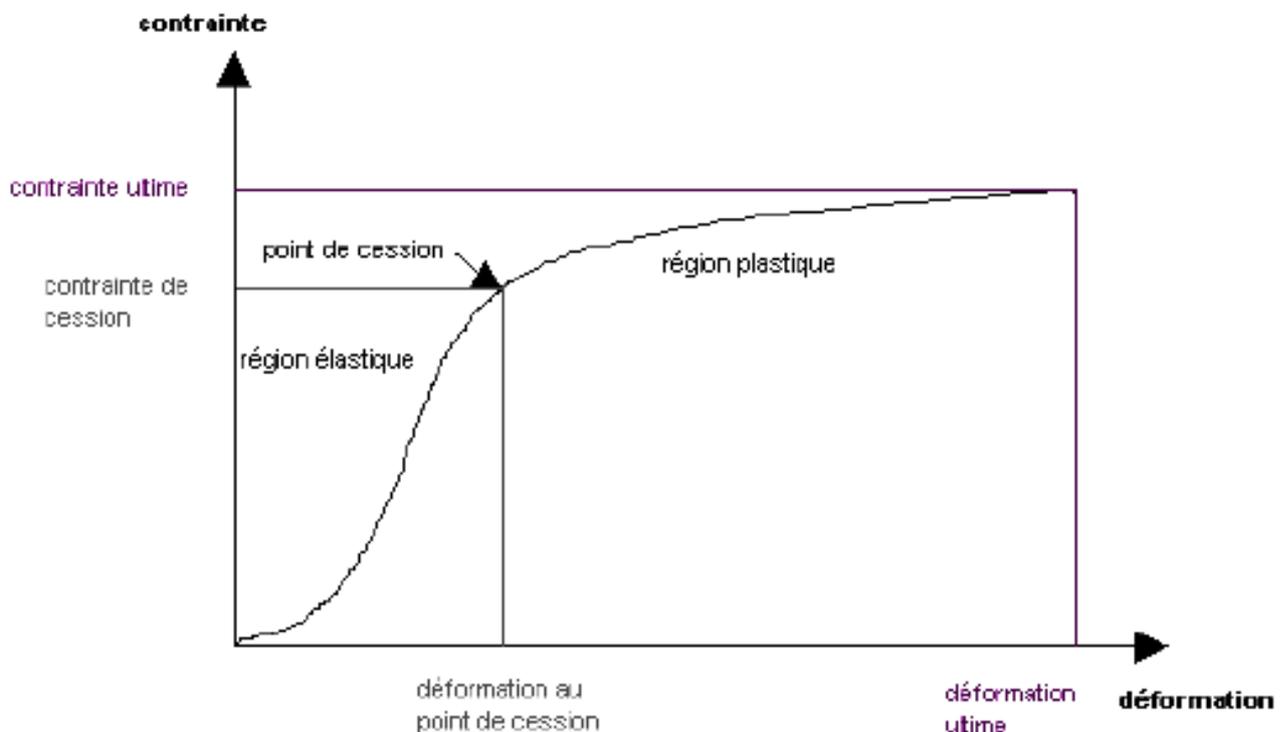
Le processus de l'ossification primaire aboutit à la formation d'un os lamellaire primaire ou immature peu adapté aux contraintes qui va être amené à subir l'os (Bloom et Fawcett, 1994; Cormack, 1993 in Dauvillier, 2004). Au cours de la vie de l'individu l'os va subir des dommages et devra donc être remplacé régulièrement tout au long de la vie de l'individu afin que les propriétés mécaniques de l'os soient maintenues (Banks, 1993 in Dauvillier, 2004). Ce phénomène est appelé remaniement au cours duquel l'os immature ou âgé est remplacé par un os néoformé. Finalement, le remaniement osseux modifie la microstructure osseuse et par-là même les propriétés intrinsèques du tissu osseux. Ce phénomène joue donc bien un rôle dans l'adaptation de l'os à son environnement mécanique (Stover et al; 1992; Riggs et al; 1993 et Martin, 1996 in Dauvillier, 2004).

## I. Propriétés mécaniques osseuses

Les propriétés mécaniques les plus importantes de l'os, étant donnés ses rôles de protection et de soutien, sont sa solidité et sa rigidité (Markel, 1996 in Dauvillier, 2004). Ces caractéristiques mécaniques sont propres à toute structure mécanique. Dans ce qui suit nous allons essayer d'évaluer ces caractéristiques à partir de l'étude de la courbe contrainte-déformation :

### 1. Courbe contrainte- déformation

La contrainte est la force par unité de surface, développée sur une surface plane au sein d'une structure en réponse à l'application d'une charge extérieure. La déformation est définie comme la variation de dimension localisée qui apparaît au sein d'une structure en réponse à l'application des charges extérieures.



**Figure (06)** : Courbe contrainte-déformation d'un échantillon standardisé d'os testé en compression (Markel 1996 in Dauvillier, 2004).

L'examen attentif de la figure (06) permet d'évoquer les informations suivantes :

- La solidité du matériau est définie par le point de défaillance ultime.
- La rigidité correspond à la pente de la courbe en région élastique.
- La résistance élastique ou plastique correspond respectivement à l'aire sous la courbe en région élastique et à l'aire sous la courbe en région plastique.

## **2. Facteurs influençant les propriétés mécaniques de l'os**

### **3.1. Masse osseuse**

Le cortex de l'humérus du bras actif du joueur de tennis professionnel est significativement plus épais que celui de l'humérus du bras inactif. A l'inverse, une diminution des contraintes imposées à l'os, comme lors de l'application d'un plâtre, conduit à une résorption osseuse (Dauvillier, 2004). A partir de l'exemple précédent, il est apparu net pour améliorer les propriétés mécaniques d'une structure osseuse est d'augmenter la masse du matériau la composant (Riggs, 1997 in Dauvillier, 2004).

### **3.2. Propriétés intrinsèques de tissus osseux**

De la même manière que le modelage affecte les propriétés mécaniques de l'os en modifiant ses propriétés géométriques, le remaniement peut les affecter en modifiant les propriétés mécaniques intrinsèques du tissu qui le compose c'est le tissu osseux (Riggs, 1997 in Dauvillier, 2004). Donc au cours du processus de remaniement l'os conserve sa posture générale mais leurs propriétés intrinsèques vont modifiées et on assiste toujours à une diminution de leurs propriétés mécaniques (les ostéones néoformées ou secondaires ayant une faible densité en calcium).

## **I. Anatomie des métapodes**

### **1. Choix des métapodes, historique et valeur scientifique**

#### **1.1. Le choix des métapodes**

Dans notre expérimentation nous avons choisi le métapode comme un matériel osseux car ce dernier, est facilement récupéré au niveau des abattoirs. En outre, il est relativement solide et montre des surfaces presque planes facilitant les opérations de mesure de la dureté.

#### **1.2. Historique et valeur scientifique**

D'après Guintard (1999), le métapode est considéré d'abord comme un support du poids de l'animal et en subit les contraintes mécaniques, d'ailleurs il est fondamental dans la réalisation du squelette et enregistre toutes les variations liées soient aux facteurs intrinsèques (âge, sexe, poids ...) ou extrinsèques (facteurs environnants).

D'autres études sont bien établies par Driesch Von den (1976) ; Haak, (1965) et Boessneck, (1974) : in Lallemand (2002) qui confirment les liens et les relations qui existent entre la hauteur au garrot de l'animal et la grande longueur du métapode. Egalement, d'après Guintard (1999) il est possible de déterminer le dimorphisme sexuel des bovins à partir d'une relation relative entre la largeur de l'épiphyse proximale du métapode et le poids de l'animal. Le métapode est donc un bon marqueur génétique (Guintard, 1994).

Enfin, Guintard (1996) le considère d'ailleurs comme un pilier de l'archéozoologie et de l'expertise, du fait qu'il est bien conservé dans les champs de fouilles archéologiques.

### **2. Etude macro-anatomique d'un os long**

#### **2.1. Généralités.**

Ce sont ceux dont la longueur est supérieure à la largeur et à l'épaisseur. Ils comprennent la clavicule, l'humérus, le radius et le péroné au membre antérieur et le

fémur, le tibia et la fibula au membre postérieur. Ils comprennent aussi les métacarpiens et les métatarsiens, ainsi que les phalanges (Bossy, 1993).

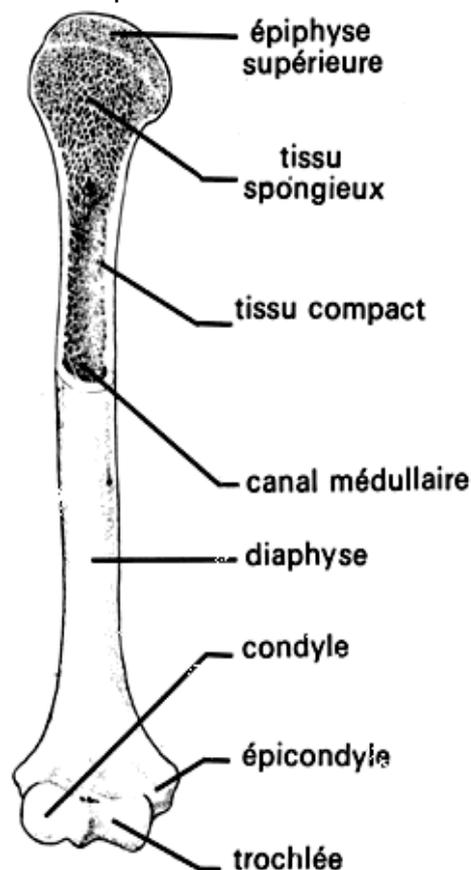
Au plan anatomique, les os longs présentent à considérer une partie moyenne, la diaphyse creusée de la cavité médullaire et deux extrémités généralement renflées, mais de forme variable, les épiphyses. Diaphyse et épiphyse sont reliées par des parties intermédiaires généralement évasées : les métaphyses (Gringnon, 1996). (fig. 07)

Dans la partie moyenne, on trouve une grande cavité remplie de moelle rouge ou jaune : la cavité médullaire, allongée dans l'axe de l'os et entourée d'un épais cylindre d'os compact (Baron, 1976). Ce dernier est entouré par le périoste en dehors et bordé de l'endoste en dedans.

Dans les extrémités des os longs, le tissu compact s'étale en une mince couche superficielle, qui enveloppe une masse d'os spongieux.

D'une manière générale, d'après Bossy (1993), les deux extrémités sont articulaires et le périoste est en continuité avec la capsule articulaire mais il ne recouvre pas le cartilage articulaire, il sert d'attache aux insertions musculaires et tendineuses.

Pour les os non-épiphysés, on note la présence d'une zone de cartilage qui sépare les deux versants osseux, cette zone est dite donc cartilage articulaire qui sert à augmenter la taille de l'os en longueur lors des processus d'édification.



**Figure (07)** : Structure d'un os long (Barone, 1986).

## 2.2. Moelle osseuse

La moelle osseuse est un tissu conjonctif délicat qui occupe, sous des aspects divers, toutes les cavités des os (Bobadilla, 1982). Il existe 03 variétés de moelle: moelle osseuse rouge, jaune et grise.

### ➤ Moelle osseuse rouge

C'est la moelle osseuse active et remplie de cellules souches et des précurseurs des éléments sanguins adultes. La prédominance des érythrocytes en cours de maturation confère à la moelle osseuse active une couleur rouge intense. D'après Bobadilla (1981), cette moelle persiste chez l'adulte là où la matière osseuse a conservé sa consistance spongieuse.

### ➤ Moelle osseuse jaune

Avec le vieillissement, la moelle des os longs périphériques devient moins active et progressivement les adipocytes deviennent les cellules les plus nombreuses. Chez les mammifères adultes, la majorité de la moelle inactive est de couleur jaune (Barone, 1986). Mais en cas de nécessité, la moelle adipeuse se transforme à nouveau en moelle hématogène.

### ➤ Moelle osseuse grise

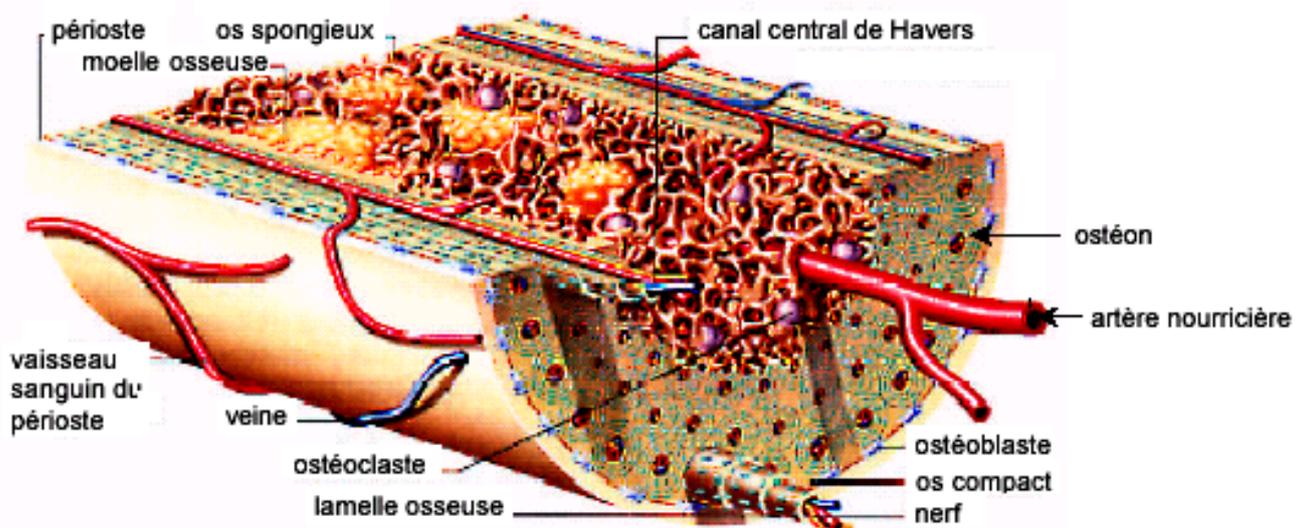
D'après Barone (1986), elle n'est qu'une variété de la précédente, mais dépourvue de graisse. Elle est molle, fluctuante, presque liquide. Elle existe normalement dans les autres os, elle n'apparaît que chez les sujets très âgés ou très maigres

## 2.3. Vascularisation et innervation

Les vaisseaux sont extrêmement nombreux dans l'os et la circulation y est intense. Les nerfs sont aussi nombreux, mais non uniformément répartis (fig. 08)

### ➤ Les artères: sont de plusieurs sortes, Barone (1986) les classifie comme suit :

- ✓ **Artère principale:** chaque pièce squelettique en reçoit une principale dite artère nourricière, cette artère pourrait être qualifiée de diaphysaire.
  - ✓ **Des artères plus petites:** ce sont les artères épiphysaires, plus petites et multiples.
  - ✓ **Des artères periostales:** encore plus petites que les précédentes (épiphysaires), et plus pelotonnées et ramifiées. Elles semblent jouer un rôle prédominant au cours des processus de remaniement même lors des traumatismes.
- **Les veines:** ont généralement un trajet indépendant de celui des artères, elles baignent l'os d'un réseau intérieur plus riche encore que celui des artères.
  - **Les lymphatiques:** vrais sont absents dans le tissu osseux, mais des gaines péri-vasculaires y ont été décrites et peuvent en tenir lieu. Le périoste possède de véritables capillaires lymphatiques.
  - **Les nerfs:** suivent en général les artères. Ils sont peu nombreux dans les tissus compacts, plus abondants dans les tissus spongieux, peuvent se distribuer avec une richesse particulière dans la région sous-périostale. Cette dernière possède une sensibilité beaucoup plus grande que le reste de l'os (Barone, 1986).



**Figure (08)** : Coupe d'os, vaisseaux et nerfs (Foucat, 2003).

### 3. Métapode du membre thoracique

#### 3.1. Description

Les métacarpiens ou os métarpes, se situent entre le carpe en haut et les phalanges en bas. On les numérote de **1** à **5** (chez l'homme et certains mammifères) dont chacun répond, par son extrémité proximale à l'un des os de la rangée distale du carpe et porte un doigt à l'autre extrémité (Bossy, 1993). Chez les ruminants, le nombre d'os métacarpiens se réduit à la suite de celui du doigt dans l'onguligradie : on trouve trois dont deux grands soudés en une seule pièce et un rudimentaire chez les petits ruminants (Barone, 1986 ; Grassé, 1955).

#### 3.2. Conformation

Les os métacarpiens sont des os longs et asymétriques disposés parallèlement les uns aux autres et articulés entre eux par leur extrémité proximale. A chacun d'eux on reconnaît une partie moyenne ou corps et deux extrémités.

##### ☞ **Partie moyenne**

Le corps de chaque os métarpien est cylindrique, plus ou moins aplati dans le sens dorso-palmaire, on lui reconnaît ainsi : une face dorsale lisse et convexe d'un côté à l'autre et une face palmaire, planiforme et large chez les ongulés.

##### ☞ **Extrémité proximale**

C'est la base du métarpien, elle est élargie et porte une large surface articulaire pour répondre au carpe. Chez les ruminants, elle est planiforme et subdivisée par une crête dorso-palmaire en deux facettes inégales.

##### ☞ **Extrémité distale**

Cette extrémité improprement qualifiée de trochlée, répond à la première phalange du doigt correspondant et éventuellement aux grands sésamoïdes qui complètent celle-ci du côté palmaire (Barone, 1976). Cette trochlée est caractérisée par une conformation

particulière surtout chez les ongulés où elle présente deux surfaces cylindroïdes ou condyles séparés par un relief sagittal bien distinct chez les ruminants.

### **3.3. Particularités chez les ovins et caprins**

L'os canon de ces animaux est proportionnellement plus grêle et plus long que celui des bovins, Il est unique et résulte de la soudure des os métacarpiens III et IV. Au niveau de l'extrémité proximale du métacripe, il existe deux surfaces articulaires planes répondant à l'os capitato-trapézoïde et l'os crochu. Sur son extrémité distale, il existe deux trochlées réalisant l'articulation avec les phalanges proximales (Grassé, 1955). Chez les ovins et les caprins ces deux surfaces articulaires distales présentent des condyles abaxiaux beaucoup plus grands que les condyles axiaux. D'une manière générale, l'os canon de la chèvre est relativement un peu plus court et surtout plus large et moins aplati dans le sens dorso-palmaire que celui du mouton. La soudure des constituants de cet os est complète vers deux mois chez le mouton et trois mois et demi chez la chèvre (Barone, 1986).

## **4. Métapode du membre pelvien**

### **4.1. Description**

Comme on l'a indiqué dans la description précédente, les métatarsiens à leurs tours sont également numérotés de **1** à **5** et relient le tarse (en haut) aux phalanges (en bas) depuis le gros orteil jusqu'au petit (Bossy, 1993). L'évolution du pied étant très généralement parallèle à celle de la main, la réduction du nombre de doigts s'accompagne d'une évolution des métatarsiens comparable à celle des métacarpiens (Barone, 1976).

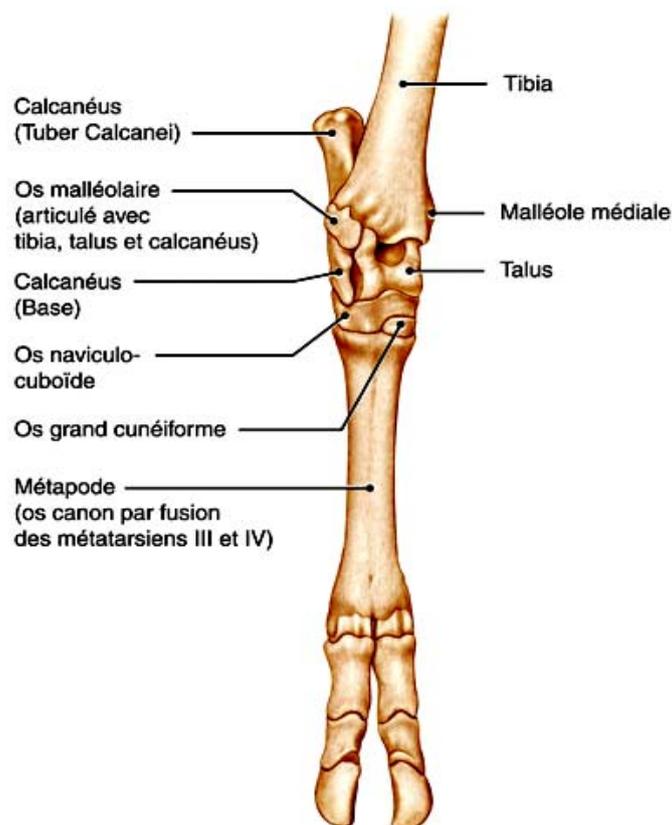
### **4.2. Conformation**

En ce qui concerne, la conformation, les os métatarsiens représentent chez les mammifères domestiques une grande analogie avec les métacarpiens. Chacun de ces os représente un corps et deux extrémités dont la morphologie est comparable à celle des métacarpiens. Toutefois les os métatarsiens sont d'une façon générale plus étroits d'un côté à l'autre et nettement plus épais dans le sens dorso-palmaire que les métacarpiens surtout à leur extrémité proximale. Ce dernier point mérite vraiment une attention particulière, puisque chez certains individus ce point consiste à un critère de diagnose, qui permet de différencier entre métacarpien et métatarsien, en particulier chez les grands

ongulés. Enfin à rang égal, les métatarsiens sont en général plus longs que les métacarpiens (Barone, 1976).

### 4.3. Particularités chez les ovins et caprins

Le métatarse (fig. 09) présente à son extrémité proximale 04 surfaces articulaires, deux sont portées sur le 03<sup>ème</sup> métatarsien recevant le naviculo-cuboïde, les autres surfaces articulaires sont qualifiées pour la réception du grand et petit cunéiforme. (Barone, 1986). D'une manière plus correcte, et en dehors de la soudure des os tarsiens (caractère commun chez tous les ruminants), le métatarse du mouton et de la chèvre est constitué comme celui du bœuf. Toutefois l'os canon est très large à son extrémité distale ; sa surface articulaire proximale est dépourvue de trou vasculaire et le conduit interosseux distal est absent. Enfin le métatarsien de la chèvre, d'une manière générale est proportionnellement un peu plus court que celui du mouton.



**Figure (09)** : Dessin d'un métatarsien.

vue dorsale (cazaeu et al ; 2004)

## **II. Développement des métapodes**

### **1. Généralités**

Le développement des os met en jeu des phénomènes très complexes dont l'essentiel constitue l'ossification ou ostéogenèse. Ces phénomènes président à l'apparition des pièces osseuses puis à leur croissance. Mais ils continuent à se manifester sans interruption ce qui remanient les os pendant toute la vie et leur permettent de s'adapter sans cesse et exactement aux conditions fonctionnelles les plus variées (Barone, 1976).

Les remaniements constants permettent à l'os non seulement comme élément mécanique de soutien et de protection mais aussi comme élément de réserves de sels minéraux, l'os a donc une double fonction : une fonction mécanique et une fonction homéostatique. Cette dualité fonctionnelle a d'ailleurs été soulignée par certains auteurs tel Lacroix (1949), qui a désigné deux parties dans les os : un os labile, l'os homéostatique, et un os permanent, l'os mécanique.

### **2. Développement et ossification d'un os long (cas de l'os canon)**

Les os longs des mammifères sont tous précédés d'une maquette cartilagineuse, au sein de laquelle évoluent les centres d'ossifications. Le modèle cartilagineux ainsi formé va subir successivement une phase d'ossification primaire et une phase d'ossification secondaire. Ces deux phases sont différentes dans leurs descriptions selon leurs localisations : diaphyse ou épiphyse.

#### **2.1. Ossification de la diaphyse d'un os long**

Elle comporte deux phases successives : une ossification primaire et une ossification secondaire.

##### **2.1.1. Ossification primaire de la diaphyse.**

- **Mise en place de la cavité médullaire primitive**

Le modèle cartilagineux est vasculaire et sa nutrition se fait par imbibition à partir du péri-chondre. Ensuite, un bourgeon conjonctivo-vasculaire pénètre à partir du périoste et se dirige vers le centre de la diaphyse. Cette pénétration vasculaire provoque

d'importantes modifications sur son chemin. En premier lieu, une augmentation du métabolisme des chondrocytes avec une importante activité mitotique. Ensuite, les chondrocytes hypertrophiés élaborent des phosphatases provoquant ainsi une calcification de la substance fondamentale cartilagineuse, suite à ce phénomène ces chondrocytes meurent par manque de substance nutritive.

Les cellules du bourgeon conjonctivo-vasculaire pénètrent dans les chondroblastes et détruisent la substance cartilagineuse calcifiée séparant horizontalement ces diverses cavités, ceci est à l'origine d'une large communication entre ces différents chondroblastes. Ensuite les cellules du bourgeon conjonctivo-vasculaire se différencient en ostéoblastes pour élaborer l'osséine sur les travées cartilagineuses verticales formant ainsi l'os endochondrale qui est rapidement détruit par des ostéoclastes permettant ainsi la formation de la cavité médullaire primitive. Dans cette dernière, les cellules du bourgeon conjonctivo-vasculaire changent de direction pour devenir axiales en se dirigeant vers les deux cartilages de conjugaison sans les atteindre. Enfin de compte, l'érosion de l'os endochondral permet l'allongement de la cavité médullaire. Ce processus d'ossification primaire dure pendant toute la vie embryo-foetale et se poursuit jusqu'à la fin de l'adolescence dans le cartilage de conjugaison permettant ainsi la croissance en longueur de l'os et par conséquent de l'individu (Barone, 1976).

- **Formation de l'os périostique**

La formation de l'os périostique se fait comme suit :

Le périoste appose des couches successives d'os périostique à la périphérie de la diaphyse grâce à la couche d'Ollier (la partie la plus profonde de la couche interne du périoste, riche en ostéoblastes). Ce phénomène a pour conséquent l'épaississement diaphysaire, fait d'osséine calcifiée.

L'ossification primaire de la diaphyse aboutit à la formation d'une ébauche osseuse diaphysaire constituée par un manchon d'os périostique limitant la cavité médullaire. A ce stade cette diaphyse est obturée à ses extrémités par les épiphyses encore cartilagineuses (Barone, 1976).

### **2.1.2. Ossification secondaire de la diaphyse.**

Elle se déroule au sein de l'os périostique. Elle commence par la pénétration du bourgeon conjonctivo-vasculaire dans l'os périostique à partir de la cavité médullaire et du périoste. Les ostéoclastes du bourgeon conjonctivo-vasculaire érodent l'os périostique formant ainsi de grandes lacunes dites de Howship. Ces dernières finissent par confluer pour former des cavités perpendiculaires à la diaphyse, ensuite les ostéoblastes synthétisent l'osséine. Ce processus d'apposition périphérique permet de mettre en place une dizaine de couches osseuses autour d'un axe (cylindre creux) dit canal de Volkmann, renfermant une veinule et une artériole. Les cellules du bourgeon conjonctivo-vasculaire de chaque canal changent de direction et deviennent parallèles à la diaphyse. Par le même processus se mettent en place les canaux de Havers (Barone, 1976).

## **2.2. Ossification des épiphyses d'un os long**

Comme pour la diaphyse, elle comporte deux grandes étapes :

### **2.2.1. Ossification primaire**

Les épiphyses sont représentées par du cartilage hyalin, des bourgeons conjonctivo-vasculaires pénètrent à partir de la périphérie pour atteindre le centre de l'épiphyse en entraînant des modifications de même type que pour la diaphyse. Du centre de l'épiphyse partent des branches radiées du bourgeon conjonctivo-vasculaire vers la périphérie. Comme pour la diaphyse, il en résulte un os endochondrale (os primaire non lamellaire). En périphérie, le périoste dépose des lamelles mais plus tardivement que pour la diaphyse (Barone, 1976).

### **2.2.2. Ossification secondaire**

Elle se fait au sein de l'os endochondral. Elle est marquée par une très rapide destruction de l'os endochondral et par son remplacement, grâce à un processus d'ossification, par un tissu haversien aréolaire. Entre épiphyse et diaphyse persiste le cartilage de conjugaison jusqu'à la fin de l'adolescence. Ce cartilage n'est fertile que par sa face diaphysaire, son épaisseur varie entre 1 et 2 mm.

### **3. Particularités de développement chez les petits ruminants**

#### **3.1. le métacarpe**

Dans la plupart des espèces, les os métacarpiens sont mono-épiphysés; l'épiphyse étant distale. Contrairement à ceux des petits ruminants, les équidés font exception, car l'extrémité proximale forme aussi une épiphyse durant la vie fœtale ; la soudure en est pratiquement achevée à la naissance (Barone, 1986). Chez les petits ruminants, le centre d'ossification diaphysaire apparaît peu après les os de l'avant bras. Le centre épiphysaire distal (unique chez les ruminants) apparaît au début du huitième mois de gestation chez le bœuf où son ossification est très avancée à la naissance. La soudure de l'épiphyse distale chez les petits ruminants s'effectue peu avant trois ans (entre trente et trente six mois).

#### **3.2. le métatarse**

Les os métatarsiens ont une constitution comparable à ceux des métacarpiens. Les centres d'ossification qui président à leur développement sont en tout point disposés comme dans le métacarpe et du même concernant la chronologie de leurs apparitions et de leurs soudures (Barone, 1986).

# ***PARTIE PRATIQUE***



## 1. Matériel expérimental

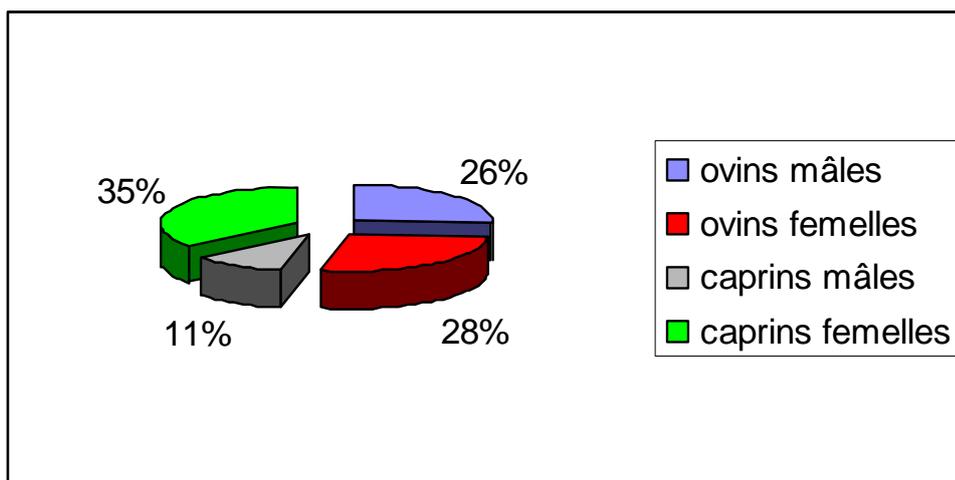
### 1.1. les animaux

#### ➤ Origine et répartition

L'étude a porté sur une population de **102** individus, dont la répartition en fonction du sexe et de l'espèce, est exprimée dans le tableau (01). En ce qui concerne l'origine des métapodes, la majorité est récupérée au niveau de l'abattoir communal de Batna. Les autres métapodes surtout ceux issus des femelles ovines et caprines sont récupérés au niveau de certains abattoirs privés.

**Tableau (01)** : Répartition des animaux en fonction du sexe et de l'espèce.

Espèce	Nombre de mâles	Nombre de femelles	Effectif total
Ovine	29	27	56
Caprine	12	34	46
<b>Total</b>	<b>41</b>	<b>61</b>	<b>102</b>



**Figure (10)** : Répartition des animaux en fonction du sexe et de l'espèce.

- **Les classes d'âge** La séparation des individus en classes est basée sur deux critères, le premier nécessite la maîtrise des dates de chute, de remplacement et d'usure des dents. Le second, est celui du degré d'ossification (synostose de l'épiphyse distale). Voir tableau (02).

**Tableau (02) :** Définition des classes d'âges.

<b>Classe</b>	<b>Age approximatif</b>	<b>Effectif</b>
<b>C1</b>	Inférieur à 07 mois	19
<b>C2</b>	De 07 à 11 mois	29
<b>C3</b>	De 01 ans à 03 ans	19
<b>C4</b>	Plus de 03 ans.	35

## 1.2. Matériel de préparation des métapodes

- Une trousse de dissection :
  - Bistouri ;
  - Pincés ;
  - Ciseaux droits.
- Une grande marmite appartenant au service d'anatomie comparée du département vétérinaire de Batna.

## 1.3. Matériel de mesure

### 1.3.1. Mesures ostéométriques

#### ▪ Description de l'appareil

Pour les mesures ostéométriques nous avons utilisé un pied à coulisse digital (voir photo 01), fourni par le service d'anatomie comparée du département des sciences vétérinaires de Batna dont les caractéristiques techniques sont les suivantes :



**Photo (01)** : le pied à coulisse digital.

▪ **Caractéristiques techniques du pied à coulisse**

- **Échelle mesuré** : 0-200 mm / 0-8 in.
- **Sensibilité** : 0.01 mm.
- **Résolution** : 0.01 mm / 0.005 in.
- **Précision** : +-0.03 mm / 0.001in.
- **Repeatability**: 0.01mm/0.005 in.
- **Système de mesure** : capacité de mesure linéaire de 0-200 mm.
- **Affichage** : LCD.
- **Vitesse maximale de mesure** : 1.5 m/sec.
- **Température du travail** : 5°-40°c.
- **Influence d'humidité** : pas d'effet à une humidité relative inférieure à 80%.

**1.3.2. Mesures durométriques**

Pour les mesures de la dureté mécanique, nous avons utilisé un duromètre fourni par le département de mécanique « hall de technologie : laboratoire de RDM : résistance des matériaux ».

➤ **Description du duromètre** (Voir photo 02)

- **SOCIETE:** " WOLPERT"
- **Modele:** DIA TESTOR 2 RC.
- **Caractéristiques:** 220 V- 0.5 A- 50 HZ.
- **Capacité:** HV1-HV50.
- **Made in:** Germany en 1989.



**Photo (02)** : le duromètre.

➤ **La scie électrique** (Voir photo 03)

La découpe des os a nécessité une scie fournie par un boucher.



**Photo (03)** : la scie électrique.

➤ **La Machine à polissage** (Voir image 04)

Une machine à polissage a été également utilisée dont les caractéristiques sont les suivantes:

➤ **Description**

- **Société:** "PRESI"
- **Model:** "MECAPOL P 251"
- **Tour/minute:** 150-300.
- **Caractéristiques:** 380 V, 50 Hz.
- **Fabriquée en** France



**Photo (04)** : la machine à polissage.

## 2. Méthodes utilisées

### 2.1. Séparation et préparation des métapodes

#### ☞ Séparation des métapodes

Cette étape nécessite l'usage d'un simple bistouri qui nous a permis de séparer le membre du reste du corps.

#### ☞ Mise à l'ébullition des métapodes

Le but de cette opération est d'assurer une séparation complète du métapode du reste des autres tissus. Cette dernière nécessite l'usage d'une grande marmite. En pratique une durée de cinq heures est largement suffisante.

#### ☞ Préparation des métapodes

Après la mise à l'ébullition, les métapodes seront bien cuits et les tissus mous associés se détachent facilement. Le métapode ainsi extrait sera nettoyé à l'eau puis séché à l'air libre.

## 2.2. Réalisation des mesures

### 2.2.1. Mesures ostéométriques

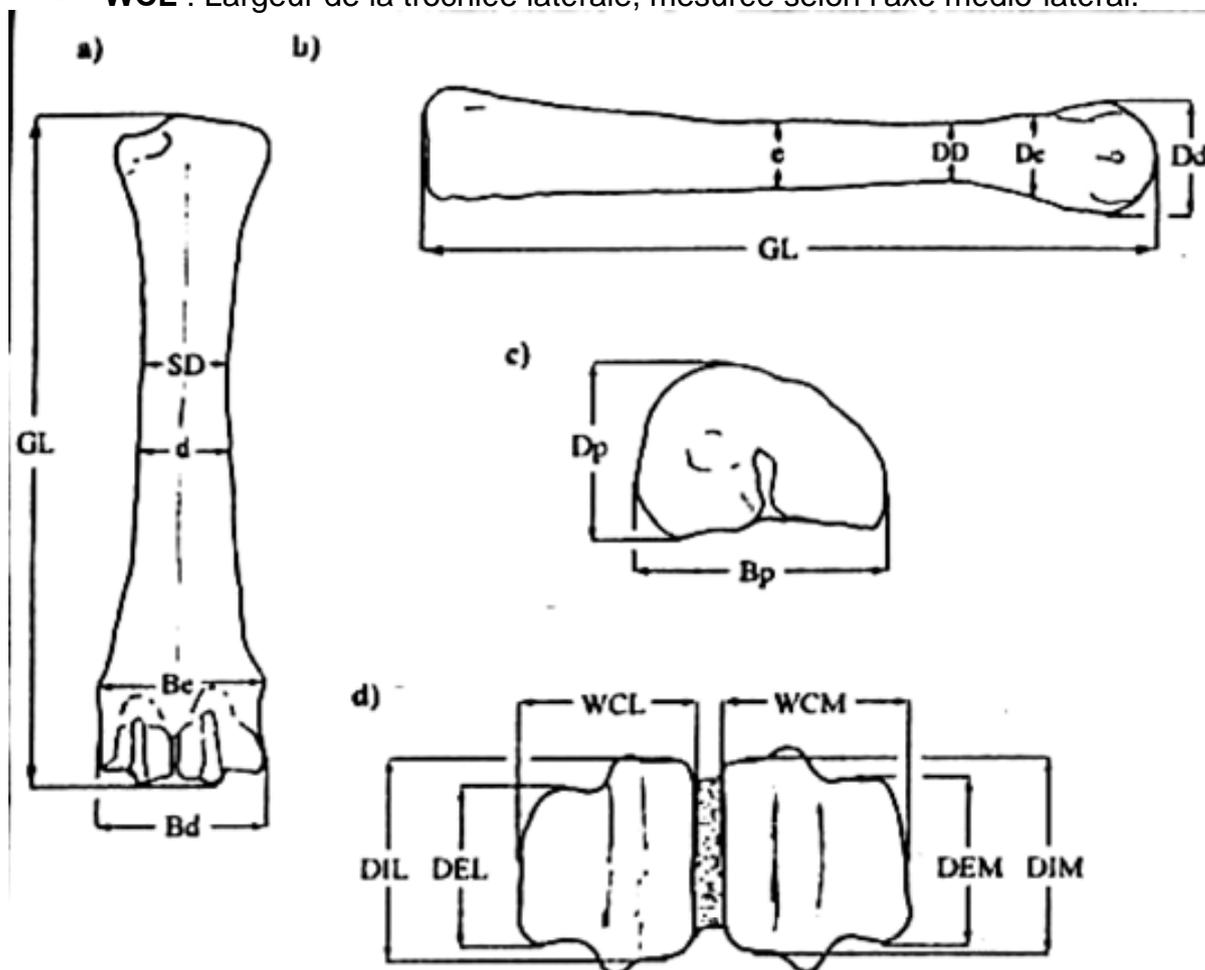
#### ➤ Origines

Les mesures effectuées sont fournies par la littérature (Lallemend, 2002) et appliquées sur des métapodes de l'espèce ovine (pour connaître leurs origines voir annexe nomenclature). Dans le cadre de cette étude toutes les définitions des mensurations suivantes seront appliquées à la fois aux métapodes des ovins et des caprins.

#### ➤ Définitions (voir figure 15)

- **GL** : Longueur maximale du métapode, mesurée selon le grand axe de l'os.
- **Bp** : Largeur maximale de la surface articulaire proximale, mesurée selon l'axe médio latéral.
- **Dp** : Epaisseur maximale de la surface articulaire proximale, mesurée selon l'axe dorso-palmaire.
- **d** : Largeur à mi-hauteur de la grande longueur de la diaphyse, mesurée selon l'axe médio-latéral.
- **e** : Epaisseur à mi-hauteur de la grande longueur de la diaphyse, mesurée selon l'axe dorso-palmaire.
- **SD** : Largeur minimale de la diaphyse, mesurée selon l'axe médio-latéral.
- **DD** : Epaisseur minimale de la diaphyse, mesurée selon l'axe dorso-palmaire.
- **Bd** : Largeur maximale de l'articulation distale, mesurée selon l'axe médio-latéral.
- **Dd** : Epaisseur maximale de la surface articulaire distale, mesurée selon l'axe dorso-palmaire.
- **Be** : Largeur du métapode au niveau de la zone distale de jonction métaphyse- épiphyse, mesurée selon l'axe médio-latéral.
- **De** : Epaisseur du métapode au niveau de la zone distale de jonction métaphyse- épiphyse, mesurée selon l'axe dorso-palmaire.
- **DIM** : Diamètre dorso-palmaire du condyle axial de la trochlée médiale.

- **DEM** : Diamètre dorso-palmaire du condyle abaxial de la trochlée médiale.
- **DIL** : Diamètre dorso-palmaire du condyle axial de la trochlée latérale.
- **DEL** : Diamètre dorso-palmaire du condyle abaxial de la trochlée latérale.
- **WCM** : Largeur de la trochlée médiale, mesurée selon l'axe médio-latéral.
- **WCL** : Largeur de la trochlée latérale, mesurée selon l'axe médio-latéral.



**Figure (13)** : Illustration des principales mesures caractéristiques des métapodes (Guintard et lallemand, 2003).

### ➤ Rapports calculés

Les 03 rapports retenus dans le cadre de cette étude sont définis comme suit:

- **I = d/GL** : utilisé par Guintard (1996) pour caractériser la gracilité des métapodes chez les bovins
- **U = SD/GL**: utilisé par Boessneck et al (1964) pour la différenciation entre le mouton et la chèvre. Il est utilisé également par Guintard et Betti (1999) pour caractériser la gracilité des ruminants domestiques.
- **V = Bp/GL** : utilisé par Guintard (1996) pour le sexage des bovins.

## 2.2.2. Mesure de la dureté osseuse

### 2.2.2.1. préparation de l'échantillon

Après avoir effectué l'ensemble des mesures précédentes, le métapode sera sectionné à l'aide d'une scie électrique en trois parties dont la médiane (corps de la diaphyse) fera l'objet de notre mesure. Cette dernière nécessite à son tour une préparation particulière dont le but est l'obtention d'un fragment osseux d'aspect cubique qui présente une disposition parallèle des surfaces (dorsale et palmaire ou plantaire). Pour effectuer ce traitement, on a utilisé une machine à polissage fournie par le département de mécanique "hall de technologie " Université de Batna.

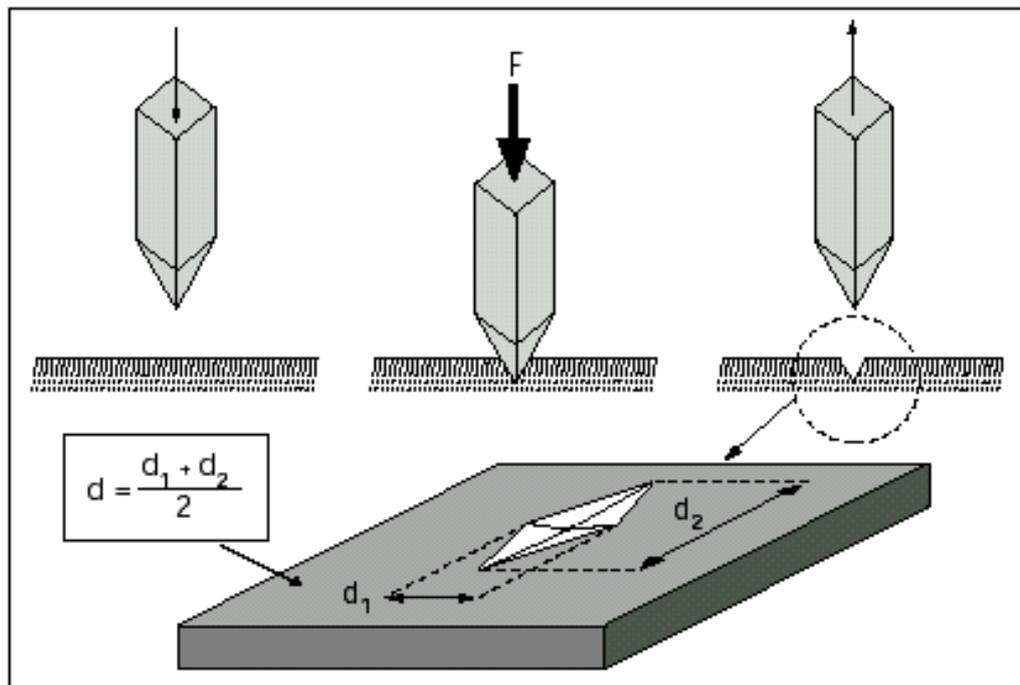
### 2.2.2.2. Choix du pénétrateur

La signification physique de l'indentation est fondée sur la résistance qu'oppose un solide à la déformation locale par poinçonnement (Tabor, 1951 in: Gautier et al ; 2002). Dans le cas de matériau ductile un pénétrateur dur est appliqué sur la surface à caractériser, le choix de ce dernier est en fonction de la nature du matériau lui-même. Quand il s'agit d'un biomatériau (comme le cas de l'os), Plancher (1990) a utilisé pour caractériser la dureté de l'os le pénétrateur **Vickers** (une pyramide à base carrée). Egalement Gauthier et al; (2002) ont utilisé le même procédé. Dans notre expérimentation, nous avons choisi le même procédé qui sera décrit comme suit:

### 2.2.2.3. Procédé de mesure

Le principe de l'essai de dureté Vickers est basé sur la mesure de la longueur des deux diagonales de l'empreinte produite par poinçonnement lors de l'application du pénétrateur Vickers sur la surface de l'os. La dureté Vickers **HV** est donnée par la relation suivante : où **F** est exprimée en **N**, et **d** en **mm**<sup>2</sup>.

$$\text{HV} = \frac{\text{charge appliquée}}{\text{aire latérale de l'empreinte pyramidale}}$$



**Figure (14) :** Procédure d'un essai de dureté Vickers.

De cette manière, le fragment osseux ainsi préparé, est posé sous le pénétrateur du duromètre. On appliquera une charge, la plus appropriée dans notre expérimentation est de **HV 03**: avec  $F=29.41$  N. Graduellement, le pénétrateur va perforer la surface de l'os, on aura après enlèvement du bras une petite perforation avec empreinte carrée ou pyramidale, immédiatement et grâce à un système lumineux approprié et un écran d'agrandissement, l'empreinte devient visuelle, et on mesure les deux diagonales (fig. 15). L'opération doit être répétée **10** fois pour donner une valeur finale moyenne des deux diagonales. Cette valeur sera par la suite comparée avec celle fournie par la table de référence de la machine. Finalement on obtient une valeur approximative de dureté de l'os dans sa face dorsale.



**Figure (15) :** Impressions résiduelles typiques d'indentation sur l'os (Vickers  $100 \mu\text{m}$ ).

### 3. Analyses des données

#### 3.1. Présentation des données

Les résultats seront présentés sous forme de tableaux, L'annexe **01** présente respectivement les mesures brutes obtenues sur les métacarpes et sur les métatarses. Ces tableaux indiquent les caractéristiques signalétiques des animaux et les mesures ostéo-durométriques associées.

#### 3.2. Méthodes statistiques

Les méthodes statistiques utilisées dans le cadre de cette étude sont comme suit:

- ☞ Des statistiques de base ont été effectuées pour préciser la moyenne (**m**) et l'écartype ( **$\sigma$** ).
- ☞ **Test utilisé** : pour la comparaison des deux moyennes d'ensemble de variables indépendantes (non appariées), nous avons choisi le test **Student "T"**.
- ☞ l'analyse en composante principale (**ACP**) a été réalisée sur une matrice des données relative aux paramètres de la dureté (espèce, âge et sexe). Celle-ci permet de mettre en évidence les variables entre elles (caractères de ressemblance) ainsi que les variables non liées (caractères de dissemblance).
- ☞ En ce qui concerne les corrélations, on a utilisé le coefficient classique de corrélation "**r**".
- ☞ Les résultats sont exprimés en **millimètres** pour les mesures ostéométriques et en **Newton / millimètre** pour les mesures de dureté.

## I. Etude ostéométrique

### 1. Présentation des données

Les résultats relatifs aux paramètres ostéométriques des métapodes des ovins et des caprins sont rassemblés dans les tableaux 14 et 15 de l'annexe 02. Ces tableaux indiquent les valeurs des moyennes, des valeurs maximales et minimales ainsi que l'écart type de chaque paramètre concerné.

### 2. Essai de création d'un modèle mathématique ostéométrique (espèce, sexe et âge)

#### 2.1. Espèce

Comme on l'a déjà évoqué dans des textes précédents, le rapport **SD/GL** permet d'après Boessneck et al (1964) une différenciation Mouton/Chèvre. Dans ce qui suit, on va essayer de donner une fourchette définitive permettant une différenciation nette entre les métapodes des petits ruminants.

**Tableau (03):** Etude comparative de **SD/GL** des métapodes des petits ruminants.

Espèce (SD/GL)	OV	Métacarpes		Métatarses	
		n : (54) M : 0.10 $\sigma$ : 0.01	DDL: 97	n : (55) M : 0.08 $\sigma$ : 0.01	DDL: 96
	CP	n : (45) M : 0.13 $\sigma$ : 0.01	T <sub>obs</sub> :-14.70  Ds : (***)	n : (43) M : 0.10 $\sigma$ : 0.01	T <sub>obs</sub> : -08.34  Ds : (***)

**n** : effectif, **M** : moyenne arithmétique, **O** : écart-type, **DDL**: degré de liberté, **T<sub>obs</sub>**: valeur de t observé, **Ds**: degré de signification, **OV**: ovins, **CP**: caprins, **SD/GL**: rapport entre la largeur minimale de la diaphyse selon l'axe médio-latéra et la grande longueur du métapode.

Le tableau ci-dessus (**tableau 03**), montre une différence hautement significative au seuil 05 pour 1000 des métacarpiens et des métatarsiens des deux espèces. La deuxième remarque qui attire vraiment notre attention concerne les écarts types de chaque série qui restent de l'ordre de **01%** (valeur vraiment faible) A partir de ces résultats on peut établir une fourchette de variation définitive qui permettrait de connaître l'espèce d'un os inconnu quelque soit son âge et son état physiologique à partir d'un simple rapport: **SD/GL**.

- **SD/GL** des métacarpiens: **(0.10 +- 0.01)** : espèce ovine.  
**(0.13 +- 0.01)** : espèce caprine.
  
- **SD/GL** des métatarsiens: **(0.08 +- 0.01)** : espèce ovine.  
**(0.10 +- 0.01)** : espèce caprine.

## 2.2. Sexage

Le sexage des bovins d'après Guintard (1996) est basé sur le rapport **Bp/GL**, nous allons dans ce qui suit essayer d'appliquer ce rapport sur les petits ruminants dont le but, de voir s'il est possible de séparer nos petits ruminants en fonction du sexe à partir de ce simple rapport. (Voir tableau 04)

**Tableau (04):** Etude comparative de **Bp/GL** (sexage des ovins et caprins).

		Métacarpes		Métatarses	
Espèce ovine (Bp/GL)	Ma	n : (28) M : 0.18 $\sigma$ : 0.01	DDL: 52  T <sub>obs</sub> : 3.09	n : (29) M : 0.15 $\sigma$ : 0.01	DDL: 53  T <sub>obs</sub> : 1.98
	Fe	n : (26) M : 0.17 $\sigma$ : 0.02	Ds : (**)	n : (26) M : 0.14 $\sigma$ : 0.01	Ds : (*)
Espèce caprine (Bp/GL)	Ma	n : (12) M : 0.22 $\sigma$ : 0.02	DDL: 43  T <sub>obs</sub> : 02.02	n : (11) M : 0.18 $\sigma$ : 0.01	DDL: 41  T <sub>obs</sub> : 03.92
	Fe	n : (33) M : 0.21 $\sigma$ : 0.02	Ds : (*)	n : (32) M : .16 $\sigma$ : 0.01	Ds : (***)

n : effectif, M : moyenne arithmétique,  $\sigma$  : écart-type, DDL: degré de liberté, T<sub>obs</sub>: valeur de t observé, Ds: degré de signification, Ma: mâles, Fe: femelles, SD/GL: rapport entre la largeur minimale de la diaphyse selon l'axe médio-latéra et la grande longueur du métapode.

L'examen attentif des résultats obtenus lors du traitement statistique précédent montre des moyennes très proches (Ex: les métacarpiens des ovins mâles et femelles montrent

des moyennes de rapport **Bp/GL** respectivement **0.18, 0.17** et du même concernant les métatarsiens des ovins mâles et femelles ayant respectivement les moyennes **Bp/GL, 0.15, 0.14**). A partir de ces résultats et malgré l'existence des différences significatives et la faiblesse des écarts types, il ressort qu'il est impossible de séparer les individus de notre expérimentation en fonction du sexe et de donner une fourchette de variation définitive. L'issue la plus probable pour expliquer cette constatation est que : les lots des animaux utilisés dans le cadre de cette étude sont hétérogènes (individus issus de croisements entre plusieurs races).

### **2.3. Age**

Comme on l'a déjà constaté concernant le sexage, l'hétérogénéité des individus empêche la possibilité de créer un modèle mathématique permettant de connaître le sexe de l'individu en fonction d'un simple rapport ostéométrique. Ces défauts liés à l'échantillonnage empêchent aussi la création d'une fourchette de variation pouvant connaître l'âge de l'individu. Il faut donc recourir aux critères anatomiques dans la détermination de l'âge des individus.

## **II. Etude de la dureté osseuse**

### **1. Influence globale des paramètres: étude graphique multivariée**

#### **1.1. Gestion des données**

Le but de cette étude est de rechercher la discrimination de l'ensemble des paramètres étudiés. Au cours de la gestion des données nous avons jugé de considérer tous ces paramètres comme variables même s'il s'agit d'un caractère qualitatif (sexe et espèce),

## 1.2. Résultats d'ACP (analyse en composante principale)

### ✓ Aperçu sur la matrice de corrélation

Comme le montre le **Tableau (05)**, les variables sont faiblement corrélées avec un coefficient de corrélation **R** qui varie de **(0.01– 0.72)**, mais dans leur ensemble, ces résultats resteront analysables. Par ailleurs, ce tableau montre une corrélation négative entre l'espèce et la dureté (soit membre antérieur ou postérieur), alors qu'elle est positive entre l'âge et la dureté. Ce qui signifie que:

❖ **La dureté osseuse d'un canon, est beaucoup plus élevée chez les ovins que chez les caprins.**

A contrario concernant l'âge, nous avons constaté pour ce dernier que :

**Chez les petits ruminants, les os des métapodes des sujets âgés possèdent une dureté mécanique beaucoup plus élevée que ceux des jeunes animaux.**

**Tableau (05):** Corrélations entre les variables considérés.

	<b>ESP</b>	<b>SEX</b>	<b>AGE</b>	<b>DRA</b>	<b>DRP</b>
<b>ESP</b>	1.00				
<b>SEX</b>	-0.23	1.000			
<b>AGE</b>	-0.01	-0.38	1.00		
<b>DRA</b>	-0.34	-0.03	0.51	1.00	
<b>DRP</b>	-0.38	-0.07	0.53	0.72	1.00

**ESP:** espèce, **SEX:** sexe, **AGE:** âge, **DRA:** dureté du métapode antérieur **DRP:** dureté du métapode postérieur.

### ✓ Aperçu sur le pouvoir explicatif des principaux axes

En considérant le **Tableau (06)** des contributions des axes aux variables totales. Nous constatons que le premier axe explique **46,70 %** et le second, explique **27.8 %** alors que le 3<sup>ème</sup> est de **12.40%**. A la lumière de ces données, nous pouvons constater, que les deux

premiers axes (I et II) expliquent à eux seuls **74.50 %** de la variation totale de la répartition des variables et individus alors que l'axe (I et III) est de **59.10 %**. Ces données nous amènent à considérer le plan factoriel principal comme le meilleur plan de projection de la population considérée.

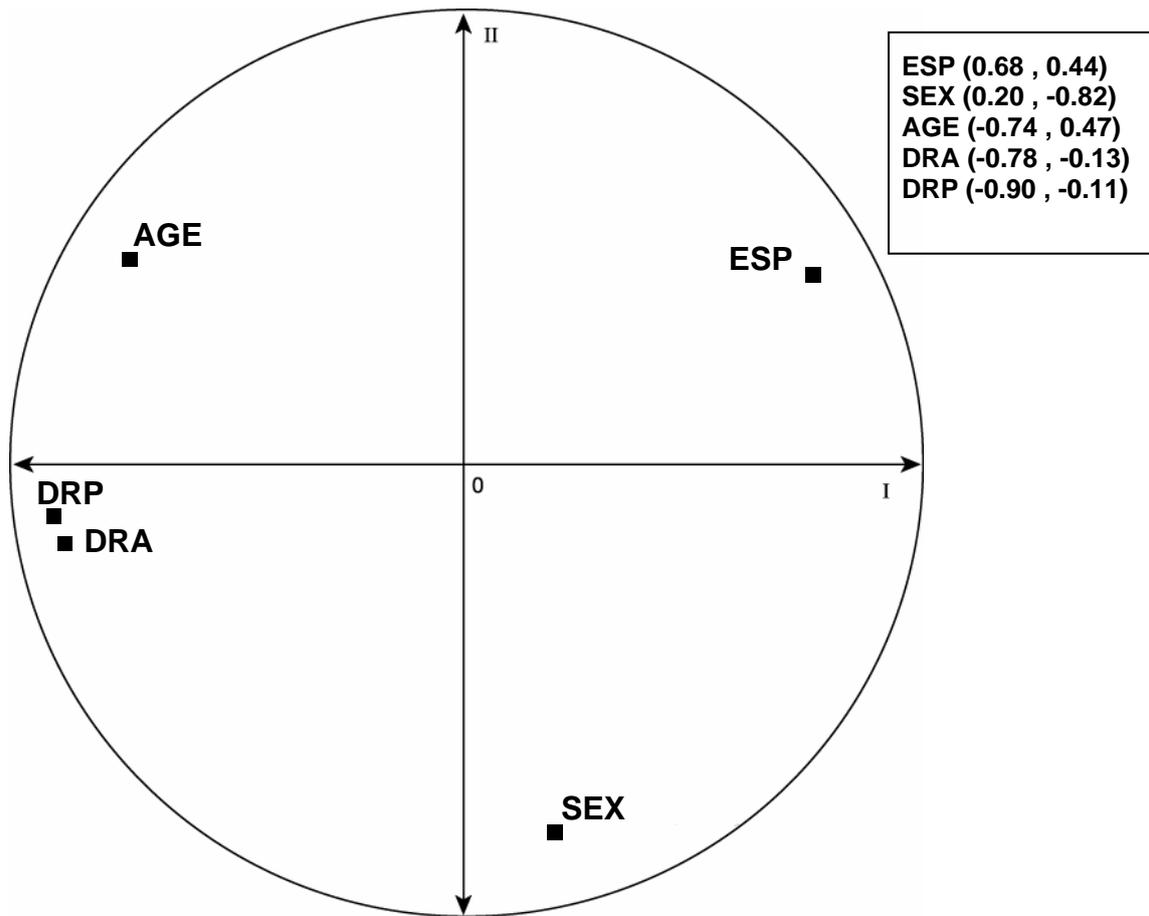
**Tableau (06):** Contribution à la variation totale des principaux axes

Axes	I	II	III
% Inertie	46.70	27.8	12.40

### 1.3. Projection des variables et caractérisation des principaux axes

#### ✓ principaux axes

Sur la figure (16), qui représente le cercle des corrélations résultant de la projection des contributions des différentes variables sur les composantes I et II.



**ESP:** espèce, **SEX:** sexe, **AGE:** âge, **DRA:** dureté du membre antérieur, **DRP:** dureté du membre postérieur

**Figure (16):** projection des variables (sexe, espèce, âge dureté des métapodes antérieurs et dureté des métapodes postérieurs) sur le plan factoriel principal.

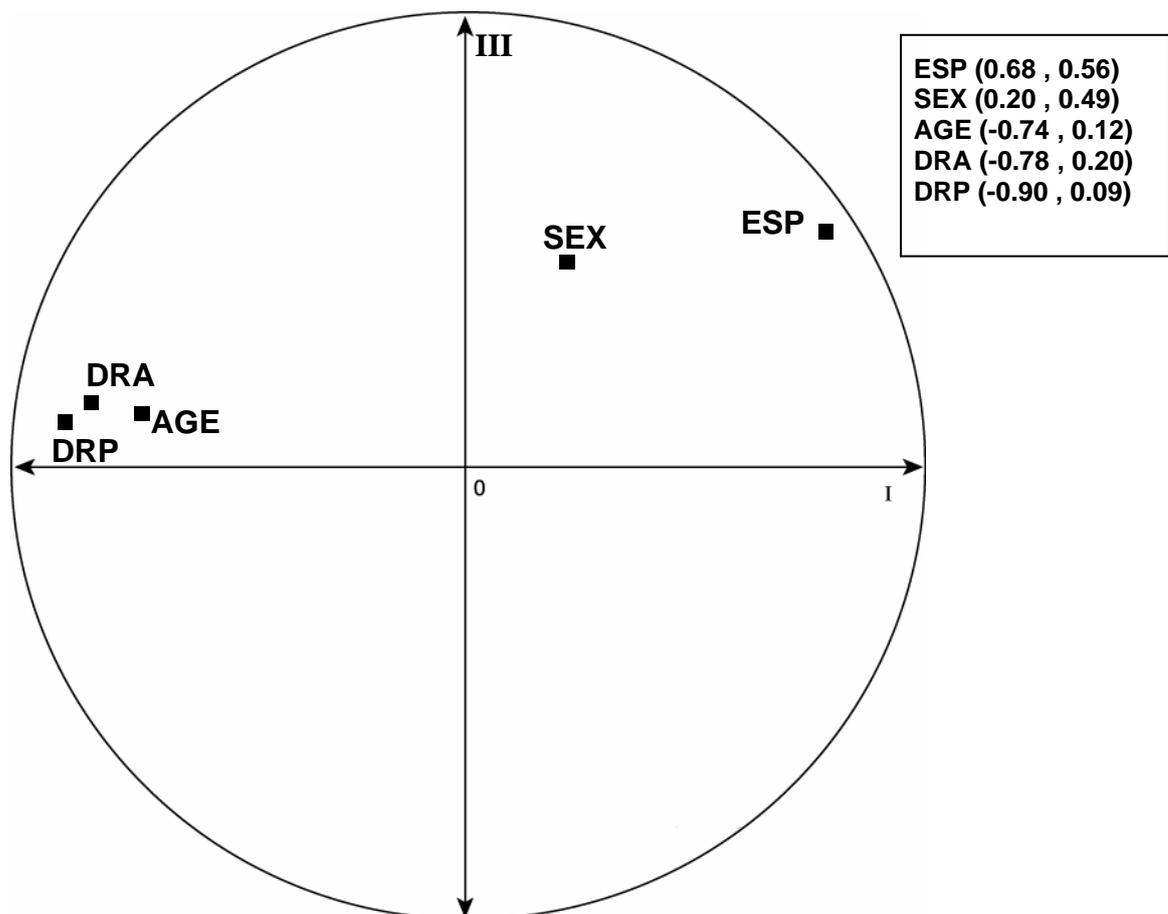
On remarque tout d'abord la position périphérique de toutes les variables considérées à expliquer, signe de leur fort pouvoir discriminant.

#### ✓ caractéristiques de l'axe I

Sur la figure précédente, on remarque que l'axe I ou composante I a tendance à expliquer les variables suivantes (espèce, sexe, dureté du métapode antérieur et postérieur). Cet axe peut être considéré comme celui de la dureté, de l'âge et du sexe.

### ✓ caractéristiques d'axe II

Sur l'axe II, il est évident que l'axe a une forte tendance à expliquer la variable sexe avec un haut pouvoir discriminant de la variable considérée ( $-0.82$  "corrélation d'axe et non pas de la matrice"). Ainsi on considère cet axe comme l'axe de sexe mais son effet sur la dureté restera ambigu (voir les limites de l'analyse en composante principale). Nous pouvons également remarquer l'effet discriminant du sexe dans le 2<sup>ème</sup> plan (fig. 17), mais son effet sur la dureté restera l'objet d'une autre investigation.



**Figure (17):** projection des variables (sexe, espèce, âge dureté des métapodes antérieurs et dureté des métapodes postérieurs) sur le plan factoriel secondaire.

A rang égal, le plan secondaire (2<sup>ème</sup> plan), confirme nos constatations qui sont déjà évoquées mais l'effet du sexe sur la dureté de l'os canon restera à expliquer autrement (voir plus loin).

### 1.4. projections des individus

A partir des projections obtenues auparavant (cercle de corrélations), nous avons constaté que tous les paramètres considérés sont doués d'un fort pouvoir discriminant. Pour cette raison et pour éviter toutes sortes de confusion (problème de répétitions: les individus qui se rassemblent se projettent sur le même point), nous avons juger qu'il n'est pas utile d'aller à la projection des individus.

## 2. Etudes et analyses monovariées

### 2.1. Espèce

En ce qui concerne l'effet de l'espèce sur la dureté de l'os canon; il est apparu nettement si on examine la matrice de corrélation issue de l'analyse en composante principale. Pour beaucoup de précisions, nous allons effectuer le traitement statistique suivant, qui nous a permis de donner des fourchettes de variations de la dureté osseuse des deux espèces.

**Tableau (07):** Comparaison de la dureté osseuse d'un métapode (antérieur et postérieur) en fonction de l'espèce

	Dureté osseuse de métacarpe		Dureté osseuse de métatarse	
<b>Ovins</b>	n : (56) M : 34.03 $\sigma$ : 08.34	DDL: 100	n : (56) M : 33.95 $\sigma$ : 07.29	DDL: 100
<b>Caprins</b>	n : (46) M : 29.32 $\sigma$ : 6.93		T <sub>obs</sub> : 3.11 Ds : ***	

N : effectif, M : moyenne arithmétique, O : écart-type, DDL: degré de liberté, T<sub>obs</sub>: valeur de t observé, Ds: degré de signification

## ❖ Résultats et discussion

A partir du traitement statistique précédent, nous avons constaté d'abord que la dureté osseuse d'un antérieur et/ou postérieur est considérablement différente d'une espèce à une autre (Ds: \*\*\* hautement significatif pour les deux variables). Pour les métacarpiens, la dureté osseuse est beaucoup plus élevée chez les ovins que chez les caprins, et du même concernant les métatarsiens, ces résultats confirment la différence entre les deux espèces du point de vue taille et poids (les ovins sont beaucoup plus lourds que les caprins avec une hauteur au garrot nettement supérieure chez les ovins que chez les caprins. Les études biodynamiques ont montré que le métapode était un os particulièrement solide (Filipove et Paskalev, 1988) et qu'il enregistrait les contraintes mécaniques liées au poids de l'animal et à sa hauteur au garrot. Pour ces raisons, il nous semble évident que la masse corporelle agisse d'une manière directe sur la muraille osseuse en augmentant sa dureté.

### 2.2. Effet du sexe et de l'âge sur la dureté osseuse

A partir des résultats obtenus au préalable (**ACP**), il est évident que l'âge exerce un effet important sur le degré de la dureté osseuse. A son tour, le sexe est aussi doué d'un fort pouvoir discriminant, Nous allons essayer maintenant de rechercher la différence de dureté pouvant exister entre les deux os canons d'individus de même sexe et de même âge.

**Tableau (08):** Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 1<sup>ère</sup> classe d'âge  
(comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).

Espèce	Dureté	Classe I			
		Mâles		Femelles	
Ovins	DRA	n : (02) M : 35.05 $\sigma$ : 9.40	DDL: 2  Tobs : 0.52	n : (05) M : 23.51 $\sigma$ : 02.97	DDL: 09  Tobs : 0.17
	DRP	n : (02) M : 31.45 $\sigma$ : 2.40	Ds : (--)	n : (06) M : 23.02 $\sigma$ : 05.86	Ds : (--)
Caprins	DRA	n : (09) M : 24.18 $\sigma$ : 05.04	DDL: 15  Tobs : - 0.04	n : (08) M : 22.05 $\sigma$ : 3.95	DDL: 13  Tobs : -1.37
	DRP	n : (08) M : 24.28 $\sigma$ : 04.64	Ds : (--)	n : (07) M : 25.57 $\sigma$ : 5.72	Ds : (--)

**N** : effectif, **M** : moyenne arithmétique, **O** : écart-type, **DDL**: degré de liberté, **Tobs**: valeur de t observé, **Ds**: degré de signification, **DRA**: dureté osseuse du métacarpien antérieur, **DRP**: dureté osseuse du métatarsien

Le traitement des résultats obtenus dans le tableau (08) révèle une absence totale des différences significatives. Pour expliquer cette éventualité, il convient d'abord de rappeler les notions physiologiques du remaniement et du degré d'ossification (Riggs et al, 1993 in Dauvillier, 2004). En effet, la population considérée concerne des sujets jeunes; ces derniers présentent des os mous avec une intensité élevée des processus de remaniement liée aux exigences du développement du corps. En ce qui concerne la répartition de la masse corporelle, cette dernière restera la même et les contraintes

appliquées sur les membres antérieurs et postérieurs seront pratiquement égales pour les deux sexes. Toutes ces raisons sont à l'origine de l'absence des différences significatives.

**Tableau (09):** Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 2<sup>ème</sup> tranche d'âge (comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).

Espèce	Dureté	Classe II			
		Mâles		Femelles	
Ovins	DRA	n : (18) M : 36.26 $\sigma$ : 04.81	DDL: 34  T <sub>obs</sub> : 0.52	n : (02) M : 28.95 $\sigma$ : 07.78	DDL: 02  T <sub>obs</sub> : - 0.25
	DRP	n : (18) M : 35.38 $\sigma$ : 04.54	Ds : (--)	n : (02) M : 30.95 $\sigma$ : 06.58	Ds : (--)
Caprins	DRA	n : (01) M : 22.20 $\sigma$ : -	DDL: -  T <sub>obs</sub> : -	n : (02) M : 28.80 $\sigma$ : 07.28	DDL: 02  T <sub>obs</sub> : 1.47
	DRP	n : (01) M : 23.6 $\sigma$ : -	Ds : -	n : (02) M : 21.02 $\sigma$ : 01.66	Ds : (--)

**N** : effectif, **M** : moyenne arithmétique, **O** : écart-type, **DDL**: degré de liberté, **T<sub>obs</sub>**: valeur de t observé, **Ds**: degré de signification, **DRA**: dureté osseuse du métacarpien antérieur, **DRP**: dureté osseuse du métatarsien

Les résultats du tableau (09), nous ont permis d'extrapoler les mêmes informations évoquées lors d'examen des résultats de la première tranche d'âge. Donc l'effet du sexe

sur la dureté des métapodes des mêmes individus de la même classe d'âge, restera toujours l'objet d'une autre investigation.

**Tableau (10):** Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 3<sup>ème</sup> tranche d'âge (comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).

Espèce	Dureté	Classe III			
		Mâles		Femelles	
Ovins	DRA	n : (09) M : 28.63 $\sigma$ : 07.51	DDL: 16  T <sub>obs</sub> : - 0.16	n : (7) M : 37.19 $\sigma$ : 02.62	DDL: 12  T <sub>obs</sub> : 0.33
	DRP	n : (09) M : 28.10 $\sigma$ : 06.43	Ds : (--)	n : (07) M : 36.64 $\sigma$ : 03.50	Ds : (--)
Caprins	DRA	n : (03) M : 35.85 $\sigma$ : 09.75	DDL: 04  T <sub>obs</sub> : 0.66	n : (07) M : 30.30 $\sigma$ : 4.02	DDL: 11  T <sub>obs</sub> : 0.48
	DRP	n : (03) M : 31.76 $\sigma$ : 4.27	D0s : (--)	n : (06) M : 29.09 $\sigma$ : 0545	Ds : (--)

**N** : effectif, **M** : moyenne arithmétique, **O** : écart-type, **DDL**: degré de liberté, **T<sub>obs</sub>**: valeur de t observé, **Ds**: degré de signification, **DRA**: dureté osseuse du métacarpien antérieur, **DRP**: dureté osseuse du métatarsien

En ce qui concerne la troisième tranche d'âge, l'essai précédent pour différencier la dureté des métapodes pour les mêmes individus (même âge) a échoué, dans ce contexte aucune différence significative n'a été décrite. Néanmoins, le point qui attire notre attention

et qui mérite d'être discuté ; chez les ovins, la dureté osseuse a tendance à diminuer considérablement dans cette troisième tranche d'âge si on fait à titre d'exemple la comparaison suivante:

- ✦ DRA mâle C1. **Vs** DRA mâles C3: **(36.26 +- 04.81)** contre **(28.18 +- 07.51)**.
- ✦ DRP mâle C1. **Vs** DRP mâles C3: **(35.28 +- 04.54)** contre **(28.10 +- 06.43)**.

Deux issues sont probables pour expliquer cette défaillance, L'ensemble de la population des individus à étudier rentre dans un stade physiologique bien précis, c'est celui du remodelage et du remaniement. Comme nous l'avons vu dans l'étude bibliographique, des forces gravitationnelles et mécaniques (les exigences de développement du corps) influencent le modelage et le remodelage pour maintenir un os métaboliquement et biomécaniquement compétent, déterminant ainsi leurs variations structurelles (Marie, 2001 in Toppets et al ; 2004). En outre lors des processus de remaniement, la nouvelle population des ostéones est douée d'un faible apport calcique et sa minéralisation est lente (Bloom et Fawcett, 1994 in Dauvillier, 2004). Toutes ces raisons contribuent à expliquer la diminution de la dureté des métapodes de cette classe d'âge.

**Tableau (11):** Effet du sexe sur la dureté osseuse pour la 4<sup>ème</sup> tranche d'âge (comparaison de la dureté d'un métacarpien et métatarsien).

Espèce	Dureté	Femelles	
Ovins	DRA	n : (08) M : 37.43 $\sigma$ : 03.33	DDL: 14 Tobs : - 02.30 Ds : (*)
	DRP	n : (08) M : 42.21 $\sigma$ : <b>04.84</b>	
Caprins	DRA	n : (08) M : 32.91 : 03.84	DDL: 14 Tobs : - 2.00 Ds : (*)
	DRP	n : (08) M : 36.55 $\sigma$ : 03.4	

**N** : effectif, **M** : moyenne arithmétique, **O** : écart-type, **DDL**: degré de liberté, **T<sub>obs</sub>**: valeur de t observé, **Ds**: degré de signification, **DRA**: dureté osseuse du métacarpiens antérieur, **DRP**:dureté osseuse du métatarsien

### ❖ Discussion et conclusion

Le tableau (**tableau 11**) permet de démontrer une différence nettement significative au seuil (05 %) entre la dureté osseuse d'un métacarpien et son homologue métatarsien. Ce résultat confirme nos constatations concernant l'effet du poids (contraintes appliquées) sur les propriétés mécaniques osseuses. Cette différence pourrait être due d'après (Bezille et al, 1978) à une répartition complètement inégale du poids. Chez les mâles adultes et âgés le poids du corps a tendance à s'accumuler dans le quartier antérieur (poids de la tête et encolure massive). Au contraire chez la femelle gestante et/ou allaitante, il est beaucoup plus réparti dans le quartier postérieur. En fonction de ces données, l'issue la plus probable pour expliquer la différence de la dureté osseuse entre membre antérieur et postérieur chez ces femelles âgées, avec un degré de dureté beaucoup plus élevé dans les métapodes postérieurs: le poids excessif du fœtus et de la mamelle pleine s'ajoute au poids de l'animal ce qui engendre beaucoup plus de contraintes sur le métapode concerné et par conséquent une dureté osseuse élevée (voir que la dureté osseuse des postérieurs chez ces femelles de cette classe (**C4**), est beaucoup élevée que celles des antérieurs).

Un autre point qui mérite notre attention, concerne le mode d'élevage lui-même des petits ruminants basé sur les parcours même s'il s'agit de femelles pleines. Cette biodynamique au cours des longs trajets pour ces femelles permet aux métapodes postérieurs d'acquérir des propriétés mécaniques beaucoup plus élevées.

❖ **Les métatarses des femelles âgées (plus de trois ans) présentent une dureté osseuse nettement supérieure à celle des métarpes.**

### III. Etudes des corrélations (ostéométrie – dureté osseuse)

#### 1. choix du type osseux

Pour étudier les corrélations dureté osseuse – ostéométrie, nous avons jugé d'utiliser les métacarpiens des caprins. Cette catégorie présente le maximum d'homogénéité (même sexe "femelles", même âge "plus de 03 ans) ce qui permet de s'affranchir de toutes sortes de confusion (les mécanismes de remaniements et de remodelage sont amoindris pour les sujets âgés).

## 2. Paramètres retenus

Tous les paramètres ostéométriques seront utilisés dans le contexte des corrélations. Néanmoins, il nous semble utile d'ajouter les paramètres de gracilité des métapodes (**I**:d/GL et **U**: SD/GL) dont le but est d'établir la relation existante entre l'ostéométrie et la dureté osseuse.

## 3. Etude globale des corrélations pour les métacarpiens

### 3.1. Présentation des matrices de corrélations

Les corrélations obtenues sont regroupées dans le tableau ci-dessous (tableau 12)

**Tableau (12):** Présentation détaillée des couples de corrélation entre variables (ostéométrie-dureté osseuse)

Couples de corrélations	Coefficient de corrélation "r"	Couples de corrélations	Coefficient de corrélation "r"
(DRA-GI)	- 0.23	(DRA-De)	- 0.07
(DRA-Bp)	0.11	(DRA-DIM)	- 0.28
(DRA-Dp)	0.09	(DRA-DEM)	- 0.19
(DRA-d)	0.23	(DRA-DIL)	0.04
(DRA-e)	0.09	(DRA-DEL)	- 0.12
(DRA-SD)	0.42	(DRA-WCM)	- 0.06
(DRA-DD)	0.03	(DRA-WCL)	- 0.01
(DRA-Bd)	- 0.07	(DRA-I)	0.20
(DRA-Dd)	- 0.30	(DRA-U)	0.36
(DRA-Be)	0.13	(DRA-DRA)	1

### 3.2. Interprétation

Les résultats obtenus dans le tableau (12) laisse apparaître de faibles corrélations de (**0.01 à 0.42**), et parfois mêmes des corrélations négatives (**ex:** le couple "**DRA – GI**" avec **r** : - **0.23**). La bonne corrélation est enregistrée entre la dureté osseuse du métapode

antérieur et la largeur minimale de la diaphyse, mesurée selon l'axe médio-latéral. Elle est de **0.42** et est positive. Cette corrélation signifie que l'augmentation de la largeur de la diaphyse se traduit quasi totalement par une augmentation du degré de dureté osseuse. Cette éventualité peut être justifiée aussi par la corrélation existant entre l'indice de gracilité **U** et la dureté de l'os canon (voir que " r " du couple " **DRA – U** " est de **0.36**).

### 3.3. Discussion et conclusion

❖ **L'augmentation de la largeur de la diaphyse du métapode se traduit par une augmentation de la dureté osseuse.**

Pour expliquer cette conclusion, il est utile de rappeler les notions qui concernent la variabilité des métapodes. D'après Lallemand (2002), la partie diaphysaire est l'axe le plus privilégié de variation de métapodes. Cette variation est liée selon (Filipove et Paskalev, 1988), aux contraintes et exigences pouvant se produire à ce niveau des métapodes. L'animal, pour supporter l'excès du poids, remaniera sa charpente osseuse "métapode" par l'augmentation de la largeur de la diaphyse.

☞ **L'augmentation de la grande longueur, se traduit par une diminution du degré de dureté osseuse.**

Cette éventualité sera également confirmée par le recours à l'indice de gracilité lui-même, c'est à dire quand ce dernier augmente, le métapode est moins gracile (Guintard, 1996) et par conséquent la dureté de l'os diminue.

## CONCLUSION GENERALE

L'étude expérimentale réalisée sur un échantillon de **102** individus a permis de montrer que :

L'analyse ostéométrique des métacarpes des ovins et caprins permet de déterminer l'espèce à partir de l'indice **SD/GL** dont les fourchettes de variations pour les ovins sont de **(0.10 +- 0.01)** et pour les caprins de **(0.13 +- 0.01)**. Concernant les métatarses, le même rapport donne les fourchettes de variations suivantes: **(0.08 +- 0.01)** pour les ovins et **(0.10 +- 0.01)** pour les caprins.

Les mesures obtenues avec la pénétro-durométrie ont permis de montrer des variations de la dureté osseuse du métapode en fonction des paramètres caractéristiques signalétiques des animaux (espèce, âge et sexe).

Enfin, l'étude des corrélations existantes entre l'ostéométrie et la dureté osseuse confirme une hypothèse relative à l'existence d'un lien entre la gracilité des métapodes et le degré de dureté osseuse. Notre expérimentation a permis de montrer que l'augmentation de la largeur du métapode s'accompagne de l'augmentation de sa dureté contrairement à l'augmentation de l'indice de gracilité qui se traduit par une diminution de la dureté osseuse.

## PERSPECTIVES

Les perspectives extrapolées à partir de cette étude sont établies comme suit:

- **Domaine de pathologie**

A partir de cette base de données relative aux paramètres ostéométriques, le praticien vétérinaire y trouvera la définition d'un état ostéologique sain pouvant servir de référence à des études ultérieures sur la pathologie osseuse.

- **Domaine de chirurgie et orthopédie:**

Cette étude, est considérée pour les concepteurs des biomatériaux, comme une base de référence qui aide et permet à ces derniers de construire un biomatériau apte d'être implanté, et qui conserve le maximum des propriétés morpho-biomécaniques assez proches d'un os naturel.

- **Domaine de zootechnie**

En ce qui concerne le domaine de la zootechnie, plusieurs travaux sont déjà évoqués et précisés par des textes précédents, concernant surtout ceux qui traduisent les relations entre le métapode de l'animal et sa hauteur au garrot, ainsi que son poids. A partir de ces notions, il est possible d'établir des relations biométriques avec des fourchettes de variations définitives permettant d'estimer la taille et le poids des ruminants à partir d'un simple calcul ostéométrique ou encore à l'aide d'un rapport biométrique.

- **Domaine d'archéozoologie et d'expertise**

Cette étude fournit aux chercheurs s'intéressant au domaine de l'archéozoologie, une base de données concernant la variabilité des métapodes des petits ruminants. Elle précise en effet des fourchettes de variabilité des mensurations des métapodes qui permettent de connaître l'espèce d'un individu inconnu.

**ANNEXE 01:**

Données brutes (paramètres signalétiques et mesures ostéodurométriques associées).

**Annexe 01 :** Données brutes (paramètres signalétiques et mesures ostéo-durrométriques associées).

N°	Esp	Sex	Age	MB	GI	Bp	Dp	d	e	SD	DD	Bd	Dd	Be	De	DIM	DEM	DIL	DEL	WCM	WCI	I	U	V	Durt	
1	O	M	07 m	A	153.09	28.72	20.37	16.23	12	15.5	11.46	31.13	18.95	34.73	20.1	15.93	13.33	15.53	12.39	14.42	13.86	0.10	0.10	0.19	28.40	
				P	164.99	24.66	24.85	13.97	12.56	13.21	11.95	28.52	18.72	31.77	19.41	15.56	13.22	15.42	11.59	13.17	12.04	0.09	0.08	0.14	0.14	0.14
2	O	M	07 m	A	154.96	28.03	20.75	15.96	11.56	16.48	15.72	31.39	19.67	36.81	19.56	16.45	13.91	14.73	12.43	14.75	14.59	0.10	0.11	0.18	0.18	41.70
				P	164.37	25.42	25.37	13.75	12.46	12.93	11.61	29.35	19.23	33.37	20.09	15.41	13.36	15.46	12	14.05	12.91	0.08	0.08	0.15	0.15	0.15
3	O	F	06 m	A	134.06	26.33	18.03	14.44	10.49	13.48	10.07	27.39	17.23	29.70	16.65	14.57	12.41	14.47	11.02	12.90	12.25	0.10	0.10	0.10	0.20	32.05
				P	143.33	22.52	22.3	12.23	10.52	11.82	10.3	26.51	18.18	29	17.35	13.99	11.57	14.02	10.24	12.47	11.11	0.09	0.08	0.16	0.16	0.16
4	O	F	07 m	A	133.76	23.56	17.76	13.85	10.50	13.48	9.63	27.88	17.06	29.41	16.62	13.88	11.64	13.86	10.22	13.62	13.54	0.10	0.10	0.18	0.18	28.10
				P	143.07	21.64	21.82	12.26	11.99	11.85	10.65	26.06	16.87	26.53	17.08	13.86	10.45	13.77	09.50	12.60	11.48	0.09	0.08	0.15	0.15	0.15
5	O	F	04 m	A	132.06	24.93	17.84	11.52	9.47	11.09	9.27	24.24	17.16	27.13	16.86	13.90	11.54	13.89	10.34	11.69	11.19	0.09	0.08	0.19	0.19	22.25
				P	141.92	20.96	21.53	10.09	9.81	9.85	9.38	23.76	16.83	25.17	16.42	13.54	10.76	13.41	9.83	11.65	10.29	0.07	0.07	0.15	0.15	0.15
6	O	F	04 m	A	124.48	24.23	16.99	11.50	8.83	11.30	8.53	25.28	17.23	26.07	15.29	13.70	11.24	13.23	9.51	11.85	11.03	0.09	0.09	0.19	0.19	24.10
				P	133.32	21.56	19.96	10.38	8.16	10.28	8.83	24.80	17.81	25.37	14.58	15.25	10.05	14.60	10.61	11.53	11.76	0.08	0.08	0.16	0.16	0.16
7	O	F	04 m	A	122.44	24.31	16.19	11.28	8.44	11.02	8.29	23.45	16.12	27.47	16.34	13.25	10.69	13.05	9.17	11.41	10.75	0.09	0.09	0.20	0.20	
				P	-	20.7	20.71	-	-	10.31	9.05	-	-	25.23	16.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
8	O	F	04 m	A	128.42	23.92	17.13	12.33	9.43	11.90	9.32	24.96	17.74	27.66	16.62	13.72	11.51	13.54	10.08	12.35	11.34	0.10	0.09	0.19	0.19	20.05
				P	138.77	20.95	21.15	11.02	9.77	10.89	9.64	23.68	17.68	26.51	15.37	13.93	10.45	13.94	9.33	11.70	10.64	0.08	0.08	0.15	0.15	0.15
9	C	M	3.5 m	A	97.22	19.80	14.33	11.67	08.06	11.00	08.18	23.27	14.80	25.56	14.27	11.96	08.68	12.09	08.02	10.42	10.28	0.12	0.11	0.20	0.20	33.10
				P	102.35	17.58	16.79	9.02	7.96	8.53	7.99	20.89	14.06	22.91	13.24	11.47	8.36	11.72	8.10	9.31	9.06	0.09	0.08	0.17	0.17	0.17
10	C	M	04 m	A	95.38	22.25	15.37	13.96	8.48	12.59	8.66	-	15.73	28.14	13.89	12.98	9.23	13.05	8.85	11.64	11.36	0.15	0.13	0.23	0.23	27.75
				P	100.29	18.87	17.35	10.88	8.69	9.43	8.72	23.55	14.94	24.10	13.63	12.04	8.99	12.56	8.36	10.50	10.14	0.11	0.10	0.19	0.19	0.19
11	C	M	04 m	A	128.44	29.12	20.45	20.46	12.31	18.40	12.50	32.36	20.25	35.73	19.69	16.67	12.43	16.79	11.93	15.19	14.70	0.16	0.14	0.23	0.23	35.20
				P	136.29	24.07	22.69	16.20	12.65	14.54	12.59	29.13	19.66	31.37	18.48	16.24	11.78	16.54	11.08	13.58	13.24	0.12	0.11	0.18	0.18	0.18
12	C	M	06 m	A	99.95	22.16	15.36	13.71	9.16	12.55	8.70	26.36	15.28	27.42	15.84	12.64	8.99	12.92	8.99	11.81	11.85	0.14	0.13	0.22	0.22	17.25
				P	105.09	18.57	17.40	10.83	9.11	9.60	49.53	23.33	14.98	24.37	13.69	12.20	9.28	12.87	8.74	11.17	10.52	0.10	0.09	0.18	0.18	0.18
13	C	M	06 m	A	101.01	22.79	15.73	13.24	8.74	12.13	44.62	25.30	16.86	26.79	14.58	13.84	10.06	14.02	9.41	12.02	11.54	0.13	0.12	0.23	0.23	20.60
				P	105.14	18.63	17.38	10.00	8.56	9.08	8.48	22.82	16.28	24.02	13.66	12.93	9.23	13.19	8.86	10.82	10.41	0.10	0.09	0.18	0.18	0.18
14	C	M	06 m	A	96.93	22.52	15.29	11.77	9.61	11.18	7.65	23.83	16.66	25.01	14.31	13.14	9.45	13.39	9.43	11.12	11.15	0.12	0.12	0.23	0.23	20.60
				P	-	8.60	17.16	-	-	-	-	22.67	15.63	24.13	13.69	12.81	09.65	13.20	09.21	11.00	10.48	-	-	-	-	-
15	C	M	07 m	A	91.82	22.00	16.27	12.72	7.87	10.99	7.79	25.71	16.36	25.81	13.92	13.10	09.70	12.98	9.15	11.66	11.78	0.14	0.12	0.24	0.24	24.85
				P	96.26	18.26	17.32	10.03	7.54	8.81	7.54	-	-	22.14	12.88	-	-	12.38	7.72	-	9.66	0.10	0.09	0.19	0.19	0.19
16	C	M	06 m	A	106.17	24.51	16.98	13.72	9.45	12.50	9.34	28.62	18.39	31.41	16.10	14.64	10.85	14.93	10.55	13.36	13.52	0.13	0.12	0.23	0.23	26.10
				P	113.20	20.86	19.14	10.75	9.35	9.77	8.97	25.45	16.54	26.40	14.82	14.64	10.94	15.00	10.95	11.60	11.39	0.09	0.09	0.18	0.18	0.18
17	C	F	3.5 m	A	97.50	22.64	14.91	12.79	8.22	11.87	8.25	24.86	16.17	26.19	14.55	13.10	9.02	13.48	9.00	11.30	11.00	0.13	0.12	0.23	0.23	24.75
				P	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	C	F	06 m	A	106	25.2	17.34	12.50	12.5	-	--	27.59	17.53	21.84	13.58	14.68	9.99	14.46	9.01	13.14	12.74	0.12	-	0.24	0.24	19.40
				P	110.30	20.59	19.14	-	-	-	11.83	24.77	16.58	24.83	14.62	14.00	9.04	13.82	8.91	11.46	11.20	-	-	0.19	0.19	0.19
19	C	F	04 m	A	109.76	25.96	18.47	14.10	9.08	12.89	8.78	27.35	18.92	30.59	16.51	14.92	11.33	15.06	10.04	12.94	12.52	0.13	0.12	-	-	29.40
				P	117.7	21.2	19.3	9.7	9.5	9.8	9.3	23.8	18.1	25.9	14.7	14.3	10.0	14.3	9.7	11.6	10.6	0.08	0.08	0.18	0.18	0.18
20	C	F	07 m	A	111.54	25.55	17.81	15.38	9.89	14.02	9.59	28.67	19.49	30.51	16.41	15.36	11.60	15.27	10.15	13.34	12.72	0.14	0.13	0.23	0.23	24.20
				P	118.29	21.52	20.15	11.65	9.60	10.46	9.46	21.39	17.87	26.12	14.70	14.35	10.71	14.41	9.90	11.10	10.60	0.10	0.09	0.19	0.19	0.19
21	C	F	07 m	A	106.27	25.45	18.13	13.70	9.04	13.01	8.91	27.12	18.76	27.38	15.34	14.78	10.84	15.13	9.32	13.06	12.43	0.13	0.12	0.23	0.23	24.95
				P	113.76	20.53	19.79	11.21	9.30	10.05	9.22	24.39	14.95	24.96	13.91	11.00	14.41	14.34	10.28	11.64	10.83	0.10	0.09	0.18	0.18	0.18
23	C	F	06 m	A	109.59	23.45	16.21	13.00	8.55	12.07	8.37	25.73	17.40	27.33	15.50	14.16	10.42	14.27	9.68	11.79	11.94	0.12	0.11	0.21	0.21	23.45
				P	115.08	19.94	18.94	10.41	8.96	9.77	8.92	23.99	15.98	23.94	14.10	13.57	9.35	13.69	9.18	11.18	11.23	0.09	0.08	0.17	0.17	0.17
24	C	F	05 m	A	96.16	20.17	14.35	11.47	7.48	10.73	7.40	22.94	15.37	24.03	13.71	12.60	49.83	12.89	9.12	10.86	10.66	0.12	0.11	0.21	0.21	19.50
				P	101.76	17.64	15.																			

**Annexe 02:** Données brutes (paramètres signalétiques et mesures ostéo-durrométriques associées).

N°	Esp	Sex	Age	MB	GI	Bp	Dp	d	e	SD	DD	Bd	Dd	Be	De	DIM	DEM	DIL	DEL	WCM	WCI	I	U	V	Durt
1	O	M	09 m	A	158.11	28.7	19.87	15.2	11.63	14.46	11.25	30.17	20.38	32.99	18.67	16.3	14.11	16.64	12.93	14.3	13.83	0.10	0.09	0.19	28.45
				P	167.77	25.48	26.08	12.67	11.87	12.11	11.25	28.01	20.43	29.42	18.99	16.62	13.7	16.29	12.42	13.32	12.12	0.08	0.07	0.17	32.05
2	O	M	09 m	A	151.4	28.55	20.63	15.51	11.82	13.44	11.29	30.18	19.89	34.17	20.5	16.32	14.33	16.39	13.09	14.31	14.04	0.10	0.08	0.19	37.05
				P	161.72	25.46	24.73	13.51	13.42	13.05	11.88	28.6	16.62	31.65	21.25	15.78	13.35	15.6	14	13.45	12.46	0.08	0.08	0.16	33.70
3	O	M	09 m	A	156.86	31.02	20.51	17.52	12.92	16.45	12.1	31.26	20.75	35.5	19.62	17.01	14.94	17.35	13.56	14.81	14.5	0.11	0.10	0.20	37.55
				P	164.93	26.5	26.16	14.98	13.66	14.17	12.76	30.51	20.49	33.135	20.01	16.89	14	17	12.6	14.28	12.57	0.09	0.09	0.16	30.90
4	O	M	09 m	A	162.7	29.14	21.96	16.72	12.06	16.12	11.53	30.98	19.66	35.49	20.03	16.35	13.39	16.28	12.58	14.76	14.15	0.10	0.10	0.18	33.95
				P	170.59	24.6	24.48	14.27	13.18	13.64	11.91	29.04	19.42	32.55	19.38	15.64	12.68	15.57	11.56	13.98	12.59	0.08	0.08	0.14	32.65
5	O	M	09 m	A	151	29.53	21	16.78	11.64	15.56	11.34	21.52	20.05	37.78	20.63	16.75	14.43	16.7	13.07	15.28	14.91	0.11	0.10	0.20	33.95
				P	165.86	25.09	25.5	14.14	12.71	12.95	12.18	32.87	19.58	34.58	20.55	16.43	13.5	16.27	12.84	15.48	12.54	0.09	0.08	0.15	36.10
6	O	M	09 m	A	153.54	31.03	22.46	17.07	12.27	16.36	11.67	32.21	20.78	37.28	20.35	16.53	15.08	16.71	14.15	15.11	15.37	0.11	0.10	0.20	31.75
				P	166.59	27.14	27.16	14.92	14.33	13.86	12.22	31.61	20.72	35.39	20.16	16.5	14.41	16.81	13.25	14.24	13.76	0.09	0.08	0.16	32.65
7	O	M	09 m	A	-	30.12	21.105	-	-	16.56	12.84	31.86	21.32	36.76	21.34	16.46	16.39	16.16	13.94	14.85	14.61	-	-	-	30.00
				P	174.87	26.79	26.61	15.47	13.55	17.66	23.76	30.89	20.67	34.63	22.13	17.21	14.02	17.28	13.09	14.09	13.14	0.09	0.10	0.15	32.70
8	O	M	09 m	P	158.38	29.64	21.05	16.98	11.79	16.33	10.92	32.93	20.48	37.56	21.69	16.49	15.08	15.79	12.93	14.66	16.21	0.10	0.10	0.19	28.85
				A	172.51	24.96	25.09	15.22	12.95	14.1	12.24	30.04	20.3	33.9	21.2	16.03	14.02	16.56	12.47	14.34	12.86	0.09	0.08	0.14	28.60
9	O	M	09 m	P	161.24	30.27	21.17	17.57	12.95	16.66	12.55	31.71	20.49	34.92	20.38	17.29	13.98	17.56	13.5	14.61	14.8	0.10	0.10	0.19	32.10
				A	173.69	26.05	26.02	15.87	13.69	14.70	13.135	30.75	20.51	33.13	20.16	16.38	13.5	16.88	12.43	14.38	13.45	0.09	0.08	0.15	32.45
10	O	M	10 m	P	152.86	27.68	19.11	16.48	12.55	14.4	11.58	28.95	19.54	33.76	20.52	16.37	13.64	16.41	12.87	13.85	13.31	0.10	0.09	0.18	38.50
				A	165.86	24.19	25.41	13.64	13.55	13.46	12.44	27.6	19.37	29.99	24.68	15.97	12.75	15.9	11.85	12.95	11.73	0.08	0.08	0.14	38.00
11	O	M	09m	P	160.06	28.72	20.89	15.67	11.93	15.01	11.78	31.54	19.42	28.19	28.345	16.39	13.66	16.45	12.58	14.76	14.7	0.10	0.09	0.18	38.60
				A	168.83	25.97	25.71	13.76	12.84	13.18	11.9	29.07	19.16	26.87	26.55	15.95	14.1	15.68	11.68	13.86	12.55	0.08	0.08	0.15	32.15
12	O	M	09m	P	156.94	27.83	23.81	17.21	11.89	17.23	11.29	32.05	19.68	37	19.97	16.3	13.75	16.06	12.43	15.25	14.68	0.10	0.10	0.18	43.50
				A	169.55	25.06	25.97	14.35	13.18	14.08	11.98	29.62	19.43	33.74	20.31	12.74	15.75	15.68	11.31	14.25	12.87	0.08	0.08	0.15	38.50
13	O	M	08 m	P	159.15	28.05	20.1	17.04	11.93	16.6	11.3	28.98	19.65	33.36	19.22	16.33	13.63	16.13	12.08	14.06	13.34	0.10	0.10	0.18	38.00
				A	172.46	23.96	23.8	14.41	13.3	14	12.52	28.27	19.54	31.16	18.88	15.33	12.83	15.63	11.76	13.52	12.27	0.09	0.09	0.15	33.10
14	O	M	10 m	P	158.58	27.59	20.72	16.88	12.6	16.5	11.87	31.39	18.6	34.93	19.69	16.23	14	16.33	13.26	14.65	14.42	0.11	0.11	0.17	44.75
				A	167.89	24.33	24.46	14.32	13.76	13.96	12.18	29.35	18.47	32	19.58	15.7	13.07	15.72	11.78	13.69	12.54	0.09	0.08	0.15	41.75
15	O	M	09m	P	162.97	27.62	22.13	16.72	12.21	16.25	12.00	29.19	20.12	28.56	27.98	17.01	13.88	16.79	12.82	13.81	13.29	0.10	0.10	0.17	42.50
				A	174.70	23.12	23.70	14.77	13.02	14.14	12.55	27.84	19.81	32.47	20.70	16.68	13.11	16.35	12.01	13.29	12.14	0.09	0.08	0.13	39.60
16	O	M	08m	P	150.50	27.18	19.18	15.82	11.76	15.65	11.54	28.72	18.66	32.04	20.19	15.99	13.02	15.76	11.48	13.43	12.83	0.11	0.10	0.18	39.60
				A	161.78	22.8	23.72	13.78	12.26	13.56	11.64	27.74	18.63	18.67	18.94	15.16	12.62	15.45	10.5	12.63	11.33	0.09	0.09	0.14	46.70
17	O	M	10m	P	159.91	26.73	19.30	15.89	12.16	15.25	11.60	29.70	19.04	33.47	19.82	16.44	13.20	16.24	12.49	14.12	13.43	0.10	0.10	0.17	37.05
				A	168.90	24.21	23.22	13.71	12.47	13.26	11.91	26.71	19.02	31.20	19.75	16.53	12.46	16.14	11.96	12.81	11.97	0.08	0.08	0.14	40.10
18	O	M	08m	P	158.81	28.86	20.37	17.26	12.74	16.76	12.59	30.91	20.11	38.37	21.58	16.62	13.87	16.89	12.70	14.85	14.20	0.11	0.11	0.18	36.60
				A	167.80	24.03	24.75	14.56	13.84	13.50	13.09	29.19	19.59	35.42	21.48	16.09	12.94	16.27	11.73	14.05	13.25	0.09	0.08	0.14	38.10
19	O	F	08m	P	136.91	25.44	18.19	14.90	10.93	13.74	10.81	25.93	18.33	31.42	18.36	15.19	12.54	15.19	11.32	12.30	11.99	0.11	0.10	0.19	34.45
				A	147.30	21.64	22.50	12.37	11.28	11.49	11.09	24.96	18.05	27.46	17.52	14.65	10.85	14.45	10.40	11.99	10.87	0.08	0.08	0.15	35.60
20	O	F	08m	P	142.27	24.34	18.11	13.20	10.14	12.88	9.74	25.83	16.52	28.06	16.18	13.70	11.76	13.67	10.88	12.65	11.99	0.09	0.09	0.17	23.45
				A	153.83	21.31	21.01	11.64	11.30	11.52	10.58	23.96	16.06	26.30	16.88	13.36	10.72	13.13	9.96	11.21	10.41	0.08	0.07	0.14	26.30
21	C	M	08 m	P	117.64	26.90	18.13	18.37	10.66	16.12	10.23	29.39	19.00	31.48	17.41	15.15	11.46	15.30	10.80	14.05	13.42	0.16	0.14	0.23	20.20
				A	123.64	21.96	19.96	13.54	10.72	12.04	10.56	26.37	18.03	26.92	15.55	13.67	10.68	14.58	10.80	12.58	11.88	0.11	0.10	0.18	23.60
22	C	F	08m	P	108.90	24.59	17.05	14.65	9.65	13.40	9.41	26.21	17.54	28.97	15.94	14.01	10.48	14.09	9.82	12.58	12.21	0.13	0.12	0.23	33.95
				A	115.07	20.86	18.63	11.37	9.61	10.50	9.53	22.88	16.05	23.98	13.88	13.46	9.42	13.60	9.39	10.89	10.34	0.10	0.10	0.18	22.20
23	C	F	08 m	A	108.15	26.23	17.47	15.09	9.36	14.33	9.27	26.93	18.09	28.40	15.64	14.21	10.36	14.22	9.26	12.93	12.60	0.14	0.13	0.24	23.65
				P	115.34	21.27	19.67	12.16	9.41	11.49	9.31	23.91	17.50	25.29	14.01	14.06	12.06	14.00	10.08	11.07	11.15	0.11	0.10	0.18	19.85

**Annexe 03 :** Données brutes (paramètres signalétiques et mesures ostéo-durrométriques associées.)

N°	Esp	Sex	Age	MB	GI	Bp	Dp	d	e	SD	DD	Bd	Dd	Be	De	DIM	DEM	DIL	DEL	WCM	WCI	I	U	V	Durt
1	O	M	02 A	A	162.69	31.41	21.66	16.78	12.49	16.04	12.13	31.81	21.92	35.43	19.14	17.99	14.98	18.29	13.85	15.05	14.39	0.10	0.10	0.19	18.45
				P	173.50	26.67	25.31	14.63	13.46	13.86	12.44	30.73	21.98	31.25	19.01	17.79	14.28	17.50	12.28	14.82	13.47	0.08	0.08	0.15	18.15
2	O	M	02 A	A	159.02	27.53	21.41	16.49	12.38	16.10	12.04	28.69	19.93	34.79	19.43	17.04	13.59	16.98	14.61	13.02	13.35	0.10	0.10	0.17	29.50
				P	168.96	23.06	25.07	14.15	13.17	13.56	12.32	28.31	20.21	31.23	19.24	16.54	13.63	16.78	12.55	13.42	12.35	0.08	0.08	0.14	18.40
3	O	M	02 A	A	165.51	29.20	22.04	15.65	12.99	15.27	11.96	30.07	20.07	32.61	18.62	17.68	14.20	17.78	13.17	14.25	13.83	0.09	0.09	0.18	19.80
				P	167.95	24.10	25.60	14.12	14.03	14.08	12.79	29.67	20.94	28.87	18.34	16.78	14.35	16.90	12.20	14.28	13.06	0.08	0.08	0.14	29.05
4	O	M	02 A	A	170.15	28.91	21.11	17.04	12.72	16.85	12.28	30.60	21.05	36.90	20.29	17.35	14.95	17.19	13.40	14.81	13.97	0.10	0.10	0.17	23.20
				P	180.87	24.54	23.76	14.95	14.00	14.06	13.02	31.06	16.94	32.99	19.73	16.69	13.57	16.74	12.51	14.02	12.64	0.08	0.08	0.14	33.20
5	O	M	02 A	A	169.86	28.86	21.69	16.43	12.10	15.96	11.48	31.52	20.61	34.16	19.07	17.34	14.75	17.22	13.26	14.73	14.40	0.10	0.09	0.17	36.60
				P	177.82	25.43	25.25	14.53	13.23	13.90	12.55	29.13	19.47	31.36	20.18	16.64	13.66	16.66	12.31	13.98	12.64	0.08	0.08	0.14	32.70
6	O	M	02 A	A	164.24	31.50	22.14	17.43	12.80	16.81	12.05	31.32	19.91	34.33	20.31	16.76	14.34	16.61	12.61	14.82	14.67	0.11	0.10	0.19	25.75
				P	175.60	26.79	25.50	15.04	13.60	14.18	12.85	30.12	20.64	30.41	19.66	16.70	13.25	16.87	12.22	14.22	13.17	0.09	0.08	0.15	26.30
7	O	M	03 A	A	172.52	28.71	20.54	17.34	12.87	16.82	12.75	30.95	19.85	35.53	20.08	17.63	13.36	17.56	14.80	14.18	14.36	0.10	0.10	0.17	30.70
				P	182.36	24.13	24.98	15.12	13.85	14.45	13.40	29.60	19.75	32.83	20.67	16.76	13.63	16.66	12.63	14.12	12.85	0.08	0.08	0.13	30.10
8	O	M	02 A	A	175.07	31.66	23.29	19.6	14.16	18.46	14.12	33.74	22.3	37.54	21.99	18.13	15.23	18.26	14.82	15.79	15.64	0.11	0.11	0.18	33.10
				P	188.29	27.23	26.86	21.54	15.84	15.63	14.60	31.83	22.11	32.73	20.89	17.93	14.58	17.89	13.57	15.14	13.48	0.11	0.08	0.14	27.80
9	O	M	01 A	A	163.60	30.82	21.58	17.68	12.75	16.90	12.43	31.93	20.25	36.15	21.11	16.61	14.10	16.90	12.72	15.26	14.73	0.11	0.10	0.19	40.60
				P	176.52	26.73	26.39	15.50	14.00	14.99	13.47	30.13	20.21	33.80	21.24	16.66	13.80	16.65	12.35	14.61	13.39	0.09	0.08	0.15	37.20
10	O	F	02 A	A	119.38	21.84	15.79	13.56	10.10	13.24	9.64	25.25	16.86	26.81	12.98	13.77	10.45	13.73	9.77	11.94	11.32	0.11	0.11	0.18	34.80
				P	127.23	20.12	18.51	12.99	11.4	12.09	10.05	24.95	17.35	24.2	14.05	14	10.27	14.41	9.69	12.02	11.50	0.10	0.10	0.16	35.60
11	O	F	03 A	A	156.11	25.20	17.93	15.60	11.16	14.91	10.56	26.73	17.74	28.87	16.31	14.58	12.72	14.79	11.53	12.11	11.78	0.10	0.10	0.16	40.20
				P	167.17	23.00	22.30	13.50	12.60	13.00	11.44	25.88	18.21	27.02	16.41	14.73	11.97	14.67	10.59	12.09	10.77	0.08	0.08	0.14	41.75
12	O	F	02 A	A	142.39	26.76	19.30	14.31	11.15	14.33	9.89	27.29	18.19	28.10	14.72	15.23	13.06	15.13	11.96	12.78	12.51	0.10	0.10	0.19	37.55
				P	154.70	22.50	22.00	12.36	12.42	19.43	14.50	26.78	17.87	25.59	15.23	14.55	12.10	14.53	10.75	12.67	11.60	0.08	0.08	0.15	35.55
13	O	F	03 A	A	151.01	25.65	18.35	15.85	12.05	15.50	11.24	27.46	17.75	27.89	16.29	15.13	12.74	15.04	12.15	13.09	12.55	0.11	0.10	0.17	37.55
				P	165.80	22.14	22.07	12.86	12.07	12.57	10.62	27.65	18.45	27.03	16.31	14.70	12.44	14.93	11.26	13.54	12.18	0.08	0.08	0.13	34.85
14	O	F	03 A	A	153.86	27.21	19.84	16.91	11.73	16.06	10.68	30.18	18.40	29.97	14.61	14.97	12.91	15.36	11.90	13.88	13.55	0.11	0.10	0.18	40.60
				P	167.20	23.52	23.18	14.54	13.07	13.64	11.66	28.22	18.31	28.39	15.28	15.24	12.03	14.98	11.20	13.28	12.33	0.09	0.08	0.14	40.60
15	O	F	01 A	A	146.78	26.25	17.92	14.47	11.27	13.86	10.90	27.18	17.77	28.97	17.41	14.59	12.26	14.71	10.94	12.58	12.66	0.10	0.09	0.18	36.05
				P	153.44	23.09	22.49	12.50	12.24	12.36	11.25	26.63	17.85	26.57	17.94	14.72	11.25	14.50	10.05	12.57	11.29	0.08	0.08	0.15	36.60
16	O	F	1.5A	A	149.18	25.34	18.42	13.84	11.15	13.26	10.29	27.30	18.35	27.41	16.99	15.12	12.75	14.92	11.76	12.90	12.58	0.09	0.09	0.17	33.55
				P	163.42	22.36	21.98	12.54	12.15	11.95	11.41	26.25	18.44	26.56	16.79	15.30	11.57	15.23	12.69	11.54	12.87	0.08	0.07	0.14	31.60
17	C	M	03 A	A	113.00	24.54	16.47	15.64	18.83	15.66	10.27	26.75	16.50	26.83	13.37	13.40	10.19	13.55	9.62	12.00	11.74	0.14	0.14	0.21	35.40
				P	124.49	19.41	18.10	12.57	10.88	12.02	9.00	23.34	16.07	23.26	12.69	13.16	9.89	13.39	9.39	10.79	10.48	0.10	0.10	0.16	34.90
18	C	M	03 A	A	142.86	27.82	18.76	18.62	12.50	16.94	12.11	31.88	19.98	32.06	17.06	15.86	12.76	16.10	12.09	14.93	14.81	0.13	0.12	0.19	46.25
				P	147.63	22.33	22.00	15.34	12.40	13.52	19.47	27.52	18.52	27.30	16.00	15.23	11.32	16.01	11.22	13.10	12.66	0.10	0.11	0.19	33.50
19	C	m	02 A	A	133.28	32.23	21.88	21.03	13.40	19.47	13.42	34.57	22.86	35.33	18.85	17.81	13.48	18.32	12.56	15.90	15.97	0.16	0.15	0.24	26.90
				P	138.27	25.50	23.68	16.75	12.91	15.53	12.86	30.47	21.34	30.69	17.98	16.80	12.79	17.31	11.80	14.29	13.93	0.12	0.11	0.18	26.05
20	C	F	03 A	A	128.93	25.79	18.09	17.07	12.21	14.85	11.79	29.65	18.70	29.94	14.50	14.99	11.74	15.04	10.80	13.76	13.54	0.13	0.12	0.20	32.30
				P	135.89	22.40	19.68	13.13	11.75	12.10	11.44	24.94	17.56	25.82	15.00	14.19	10.78	14.54	10.41	11.95	11.26	0.10	0.09	0.16	-
21	C	F	01 A	A	119.08	22.94	16.83	15.55	10.36	14.25	10.20	26.63	17.90	27.87	15.73	14.46	11.45	14.06	9.96	12.46	11.87	0.13	0.12	0.19	33.70
				P	125.35	19.57	18.33	13.21	10.04	11.93	9.71	23.91	16.71	24.90	14.08	14.03	10.53	13.67	9.72	10.97	10.33	0.11	0.10	0.16	38.05
23	C	F	03 A	A	120.60	24.25	18.78	15.86	10.71	14.04	9.98	27.13	18.21	26.96	14.15	14.21	11.82	14.79	10.60	13.05	12.27	0.13	0.12	0.20	31.60
				P	127.59	19.60	19.24	12.39	10.70	11.34	09.52	24.18	17.35	23.25	12.97	13.75	10.84	13.67	10.22	11.66	10.84	0.10	0.09	0.15	27.50
24	C	F	02 A	A	101.71	23.95	12.92	15.03	09.24	13.62	09.14	25.59	16.46	28.28	15.59	13.24	10.16	13.33	09.25	11.87	11.58	0.15	0.13	0.24	27.50
				P	110.18	19.81	18.16	11.66	10.00	10.65	09.82	22.31	15.65	24.54	14.88	12.87	09.78	12.98	08.19	10.87	09.97	0.11	0.10	0.18	20.10

**Annexe 04 :** Données brutes (paramètres signalétiques et mesures ostéo-durrométriques associées).

N°	Esp	Sex	Age	MB	GI	Bp	Dp	d	e	SD	DD	Bd	Dd	Be	De	DIM	DEM	DIL	DEL	WCM	WCI	I	U	V	Durt
1	C	F	02 A	A	119.85	26.02	17.74	15.63	10.64	15.31	10.03	26.14	17.32	27.97	15.01	13.95	9.90	13.42	9.87	12.68	11.70	0.13	0.13	0.22	25.85
				P	129.00	20.66	19.85	13.66	11.42	12.76	10.08	24.24	16.47	25.05	14.28	13.53	9.66	13.33	9.69	10.89	10.53	0.11	0.10	0.16	29.80
2	O	F	05 A	A	150.89	26.02	18.75	14.29	10.85	13.69	9.49	27.02	17.23	28.10	14.20	13.94	12.33	14.05	10.89	12.84	12.06	0.09	0.09	0.17	33.95
				P	164.43	22.14	21.87	12.78	11.92	11.98	10.34	26.1	17.5	26.33	15.45	13.58	11.55	13.68	9.77	12.44	11.4	0.08	0.07	0.14	46.70
3	O	F	04 A	A	163.48	25.92	18.04	15.13	11.88	14.60	10.61	27.84	19.27	28.07	15.38	16.45	13.58	16.64	12.33	12.94	12.81	0.09	0.09	0.16	41.45
				P	171.89	22.85	23.08	13.55	12.70	13.29	11.47	27.94	19.11	26.99	15.57	16.37	12.82	16.18	11.74	12.58	11.27	0.08	0.08	0.13	51.15
4	O	F	06 A	A	154.84	24.95	17.77	15.52	12.64	15.13	10.57	27.95	18.18	30.02	14.79	15.18	13.01	15.05	12.03	13.19	12.55	0.10	0.10	0.16	47.50
				P	164.98	21.55	22.30	13.25	12.91	12.91	10.63	25.95	18.00	27.24	14.91	14.23	11.82	14.47	10.53	12.29	11.18	0.08	0.08	0.13	35.60
5	O	F	04 A	A	165.31	25.05	18.82	12.28	10.71	12.15	9.64	26.47	18.6	27.23	14.56	15.68	13.25	15.73	12.16	12.56	12.04	0.07	0.07	0.15	45.40
				P	172.60	21.21	20.19	11.40	11.58	11.13	9.93	25.91	18.29	25.66	14.66	14.80	12.13	14.72	11.10	11.58	11.64	0.07	0.06	0.12	28.10
6	O	F	06 A	A	151.82	26.04	17.92	15.73	11.69	14.87	10.48	29.02	18.53	29.08	16.74	15.80	13.23	15.62	12.51	13.76	13.55	0.10	0.01	0.17	34.80
				P	168.18	22.06	22.56	12.06	12.17	12.03	9.99	25.59	17.76	26.09	14.5	14.77	11.9	14.81	11.16	12.03	10.74	0.07	0.07	0.13	40.60
7	O	F	04 A	A	144.65	23.63	16.40	13.73	10.57	13.35	9.13	26.24	17.24	26.23	12.53	14.17	11.87	13.94	10.19	12.52	12.18	0.09	0.09	0.16	44.90
				P	153.53	20.34	20.26	11.84	12.33	11.78	9.21	24.88	17.25	24.6	12.78	13.92	10.78	13.84	9.78	11.7	10.95	0.08	0.08	0.13	34.80
8	O	F	04 A	A	163.36	27.12	20.35	14.92	11.77	14.48	10.71	28.64	19.44	28.89	15.44	16.18	13.32	16.04	12.03	13.61	12.87	0.09	0.09	0.17	41.00
				P	177.14	23.74	23.80	12.84	13.18	12.54	11.46	26.97	19.18	26.56	15.93	15.60	12.59	15.68	11.21	12.98	11.74	0.07	0.07	0.13	43.55
9	O	F	05 A	A	153.35	19.53	18.99	13.98	11.27	20.47	14.53	27.46	18.01	28.93	15.50	14.95	12.58	15.02	11.14	12.84	12.54	0.09	0.13	0.12	43.15
				P	164.38	21.89	22.36	12.47	12.20	12.01	11.21	26.09	17.79	27.02	15.95	14.55	11.70	14.61	10.57	12.45	11.93	0.08	0.07	0.13	38.60
10	O	F	05 A	A	134.80	24.13	17.72	13.81	10.56	13.46	8.93	26.58	16.08	27.93	13.74	13.43	11.74	13.69	10.83	12.27	11.90	0.10	0.10	0.18	41.70
				P	145.02	20.19	20.98	11.60	11.52	11.39	9.71	24.90	15.97	24.88	14.14	13.20	10.67	13.42	10.07	11.41	10.68	0.08	0.08	0.14	40.70
11	O	F	06 A	A	148.01	24.44	17.59	13.88	10.06	13.15	8.93	26.57	17.64	28.43	15.20	14.50	12.14	14.53	11.29	12.39	12.29	0.09	0.09	0.17	36.15
				P	158.27	20.96	21.82	12.40	10.63	11.54	9.91	25.60	17.40	26.21	15.71	14.05	11.17	14.16	10.21	11.96	11.09	0.08	0.07	0.13	35.60
12	O	F	06 A	A	153.92	25.76	18.24	14.68	11.39	14.18	9.69	27.13	18.06	28.24	14.14	15.48	12.97	15.50	12.08	12.53	12.35	0.10	0.09	0.17	35.60
				P	161.18	23.38	22.78	12.98	12.52	12.43	10.67	26.34	17.73	26.56	17.60	15.24	11.87	15.13	10.44	12.86	12.09	0.08	0.08	0.15	39.55
13	O	F	04 A	A	157.82	24.67	18.07	15.34	11.86	14.57	11.08	27.34	17.98	28.43	15.59	14.92	12.64	14.79	11.51	12.96	12.30	0.10	0.09	0.16	34.80
				P	167.55	20.64	20.96	13.86	13.04	13.27	11.36	26.17	17.49	26.66	16.03	14.47	11.63	11.49	10.55	12.28	11.17	0.08	0.08	0.12	39.75
14	C	F	04 A	A	111.96	23.10	16.62	14.28	10.80	13.38	10.28	26.17	21.43	26.77	13.37	13.48	9.90	13.38	8.94	12.30	12.04	0.13	0.12	0.21	31.75
				P	120.26	18.97	18.42	11.38	10.53	10.75	9.76	23.65	15.94	23.11	13.41	13.20	10.04	13.16	9.23	11.20	10.68	0.10	0.09	0.16	32.30
15	C	F	05 A	A	120.87	27.08	19.56	17.37	11.83	15.73	11.32	29.50	19.27	30.61	15.28	15.66	11.30	15.75	10.65	13.78	13.55	0.14	0.13	0.22	36.45
				P	129.88	22.39	20.77	13.42	11.53	12.25	10.52	26.28	18.75	26.64	15.01	15.36	10.49	15.46	10.85	12.57	11.77	0.10	0.10	0.17	41.30
16	C	F	3.5 A	A	112.70	24.77	17.45	17.58	10.51	15.45	10.47	28.75	17.16	29.10	14.09	13.89	10.33	13.81	9.42	13.44	13.37	0.16	0.14	0.22	30.80
				P	121.50	20.17	19.00	13.22	10.58	12.06	10.11	24.91	16.11	24.91	14.13	13.06	9.47	13.42	5.40	11.90	11.33	0.11	0.10	0.17	37.55
17	C	F	04 A	A	116.30	24.45	17.64	13.47	10.52	13.57	9.21	26.82	17.98	27.12	12.87	14.56	10.84	14.64	10.29	12.34	12.03	0.12	0.12	0.21	29.40
				P	124.92	19.97	19.37	11.19	10.63	11.27	09.15	23.83	17.42	23.97	12.90	14.18	10.88	14.15	09.63	11.32	10.19	0.09	0.09	0.16	24.10
18	C	F	04 A	A	114.84	25.21	17.71	16.44	11.03	15.91	9.91	26.95	17.03	28.55	12.99	14.03	10.86	13.96	10.03	12.68	12.40	0.14	0.14	0.22	41.85
				P	120.90	21.91	19.89	12.61	10.80	12.45	9.50	23.82	16.26	24.00	12.86	13.58	10.32	13.66	09.67	11.45	10.93	0.10	0.10	0.18	36.60
19	C	F	05 A	A	122.80	23.48	16.78	14.78	10.78	14.45	10.10	26.90	16.49	28.04	12.84	13.72	10.33	13.96	10.27	12.45	12.31	0.12	0.12	0.19	31.95
				P	129.71	19.46	18.29	12.67	10.77	18.00	13.00	23.80	14.91	25.05	13.64	13.62	10.13	13.51	9.52	11.04	10.23	0.10	0.14	0.15	32.45
20	C	F	05 A	A	116.50	23.35	16.04	13.35	9.76	13.77	9.10	25.67	16.58	25.86	12.80	13.15	9.67	13.18	8.74	11.79	11.67	0.11	0.12	0.20	36.10
				P	125.89	19.66	17.79	11.11	10.07	11.14	8.87	22.60	16.04	22.28	12.52	12.94	8.91	12.92	08.56	10.74	10.04	0.09	0.09	0.16	31.15
21	C	F	06 A	A	96.78	22.39	14.95	13.65	09.00	12.44	08.57	26.36	16.58	26.15	14.09	13.42	09.90	13.56	10.54	12.19	12.41	0.14	0.13	0.23	34.80
				P	102.43	28.11	17.15	9.12	7.80	8.64	7.40	21.66	15.13	21.67	12.27	11.89	8.85	11.78	8.81	10.61	9.89	0.09	0.08	0.27	18.75
22	C	F	04 A	A	122.54	25.65	18.75	15.74	10.46	14.70	09.96	28.16	18.55	28.68	13.33	14.52	11.65	14.55	10.80	13.13	12.74	0.12	0.12	0.20	36.60
				P	131.42	21.16	20.41	12.31	10.54	11.90	09.33	24.67	17.78	24.35	12.23	14.06	10.79	14.02	09.77	11.65	11.20	0.09	0.09	0.16	38.50
23	C	F	05 A	A	125.66	26.92	19.46	17.67	11.93	16.74	10.66	29.58	19.51	30.17	14.91	14.94	11.39	15.26	10.63	13.95	13.54	0.14	0.13	0.21	39.15
				P	138.48	22.37	21.84	14.22	12.55	13.20	10.74	25.91	18.41	26.51	14.63	14.96	10.93	15.25	10.53	12.35	11.54	0.10	0.10	0.16	41.75
24	C																								

**ANNEXE 02:**

Présentation des données.

## 1. Présentation des données des métacarpiens

**Tableau (13):** Valeurs des paramètres mesurés des métacarpiens en fonction du sexe et de l'espèce.

Espèce Paramètres	Ovine			Caprine		
	Mâles	Femelles	Effectif Total	Mâles	Femelles	Effectif total
<b>GL</b>	n = 28 m = 160.13 (175.07; 150.50) $\sigma = 6.42$	n = 28 m = 145.01 (165.31; 119.38) $\sigma = 12.87$	n = 28 m = 152.71 (175.07; 119.38) $\sigma = 12.59$	n = 12 m = 110.31 (142.96; 91.82) $\sigma = 31.65$	n = 34 m = 113.46 (128.93; 96.16) $\sigma = 08.52$	n = 46 m = 112.64 (142.64; 91.82) $\sigma = 11.14$
<b>Bp</b>	n = 29 m = 29.09 (31.66; 26.73) $\sigma = 01.99$	n = 27 m = 24.91 (27.21; 19.53) $\sigma = 01.61$	n = 56 m = 27.07 (31.66; 19.53) $\sigma = 02.58$	n = 12 m = 24.72 (32.23; 29.80) $\sigma = 04.04$	n = 34 m = 24.24 (27.08; 20.17) $\sigma = 0.16$	n = 46 m = 24.37 (32.23; 19.80) $\sigma = 02.26$
<b>Dp</b>	n = 29 m = 21.10 (23.81; 19.11) $\sigma = 01.11$	n = 27 m = 18.02 (20.35; 15.79) $\sigma = 01.00$	n = 56 m = 19.61 (23.81; 15.79) $\sigma = 01.88$	n = 12 m = 17.09 (21.88; 14.30) $\sigma = 02.61$	n = 34 m = 16.95 (19.56; 12.92) $\sigma = 01.41$	n = 46 m = 16.99 (21.88; 12.92) $\sigma = 01.66$
<b>d</b>	n = 28 m = 16.75 (19.60; 15.20) $\sigma = 0.88$	n = 27 m = 14.11 (16.91; 11.28) $\sigma = 01.41$	n = 55 m = 15.45 (19.60; 11.28) $\sigma = 01.77$	n = 12 m = 15.41 (21.03; 11.67) $\sigma = 03.34$	n = 34 m = 14.86 (17.67; 11.47) $\sigma = 01.55$	n = 46 m = 15.00 (21.03; 11.47) $\sigma = 02.13$
<b>e</b>	n = 28 m = 12.35 (14.16; 11.56) $\sigma = 0.57$	n = 27 m = 10.82 (12.54; 08.44) $\sigma = 1.00$	n = 55 m = 11.60 (14.16; 08.44) $\sigma = 01.11$	n = 12 m = 10.76 (18.83; 07.87) $\sigma = 03.02$	n = 34 m = 10.06 (12.50; 07.48) $\sigma = 01.13$	n = 46 m = 10.24 (18.83; 07.48) $\sigma = 01..86$
<b>SD</b>	n = 29 m = 16.10 (18.46; 13.44) $\sigma = 098$	n = 27 m = 13.86 (20.47; 11.02) $\sigma = 01.85$	n = 56 m = 15.02 (20.47; 11.02) $\sigma = 01.84$	n = 12 m = 14.13 (19.47; 10.99) $\sigma = 02.96$	n = 33 m = 13.96 (16.74; 10.73) $\sigma = 01.28$	n = 45 m = 14.01 (19.47; 10.73) $\sigma = 01.87$
<b>DD</b>	n = 29 m = 12.05 (15.72; 10.92) $\sigma = 0.96$	n = 27 m = 10.10 (14.53; 08.29) $\sigma = 01.19$	n = 56 m = 11.11 (15.72; 08.29) $\sigma = 01.45$	n = 11 m = 09.90 (13.42; 07.61) $\sigma = 01.93$	n = 33 m = 09.57 (11.79; 07.40) $\sigma = 0.89$	n = 44 m = 09.65 (13.42; 07.40) $\sigma = 01.24$
<b>Bd</b>	n = 29 m = 30.60 (33.74; 21.52) $\sigma = 02.15$	n = 27 m = 26.84 (30.18; 23.45) $\sigma = 01.44$	n = 56 m = 28.79 (33.74; 21.52) $\sigma = 02.63$	n = 11 m = 28.00 (34.57; 23.27) $\sigma = 06.04$	n = 34 m = 26.92 (29.65; 22.94) $\sigma = 01.47$	n = 45 m = 27.19 (34.57; 22.94) $\sigma = 02.22$
<b>Dd</b>	n = 29 m = 20.11 (12.30; 18.60) $\sigma = 0.86$	n = 27 m = 17.73 (19.44; 16.08) $\sigma = 0.83$	n = 56 m = 18.96 (22.30; 16.08) $\sigma = 01.46$	n = 12 m = 17.72 (22.86; 14.80) $\sigma = 02.80$	n = 34 m = 17.56 (21.43; 15.37) $\sigma = 01.31$	n = 46 m = 17.67 (22.86; 14.80) $\sigma = 01.64$
<b>Be</b>	n = 29 m = 34.87 (38.37; 28.19) $\sigma = 02.45$	n = 27 m = 28.32 (31.42; 26.07) $\sigma = 01.20$	n = 56 m = 31.71 (38.37; 26.07) $\sigma = 03.83$	n = 12 m = 29.30 (35.73; 25.01) $\sigma = 06.00$	n = 34 m = 27.48 (30.61; 21.84) $\sigma = 02.04$	n = 46 m = 2796 (35.73; 21.84) $\sigma = 02.68$
<b>De</b>	n = 28 m = 20.70 (28.35; 18.62) $\sigma = 02.23$	n = 27 m = 15.56 (18.36; 12.53) $\sigma = 01.36$	n = 56 m = 18.22 (28.35; 12.53) $\sigma = 03.18$	n = 12 m = 15.77 (19.69; 13.27) $\sigma = 02.25$	n = 34 m = 14.30 (17.10; 12.79) $\sigma = 01.35$	n = 49 m = 14.68 (19.96; 11.79) $\sigma = 01.68$
<b>DEM</b>	n = 29 m = 14.18 (16.39; 13.02) $\sigma = 0.75$	n = 27 m = 12.33 (13.58; 10.45) $\sigma = 08.00$	n = 56 m = 13.29 (13.39; 10.45) $\sigma = 01.21$	n = 12 m = 10.61 (13.48; 08.68) $\sigma = 01.57$	n = 33 m = 10.13 (11.82; 09.02) $\sigma = 0.79$	n = 45 m = 10.55 (13.48; 08.68) $\sigma = 01.04$
<b>DIL</b>	n = 29 m = 16.68 (18.29; 14.73) $\sigma = 0.79$	n = 27 m = 14.64 (14.64; 13.05) $\sigma = 0.90$	n = 56 m = 15.69 (18.29; 13.05) $\sigma = 01.33$	n = 12 m = 14.45 (18.32; 12.09) $\sigma = 01.91$	n = 34 m = 14.10 (15.75; 12.89) $\sigma = 0.78$	n = 46 m = 14.50 (18.32; 12.09) $\sigma = 01.15$

<b>DEL</b>	n =29 m = 13.12 (14.82; 11.41) $\sigma = 0.80$	n =27 m = 11.17 (12.51; 09.17) $\sigma = 0.92$	n = 56 m = 12.18 (14.82; 09.17) $\sigma = 01.20$	n =12 m = 10.12 (12.56; 08.02) $\sigma = 01.49$	n =34 m = 09.75 (10.80; 08.69) $\sigma = 0.64$	n =46 m = 09.85 (12.56; 08.02) $\sigma = 0.92$
<b>WCM</b>	n =29 m = 14.75 (15.79; 13.02) $\sigma = 059$	n =27 m = 12.68 (13.88; 11.41) $\sigma = 0.61$	n = 56 m = 13.66 (15.79; 11.41) $\sigma = 01.12$	n =12 m = 12.48 (18.90; 10.42) $\sigma = 01.73$	n =34 m = 12.63 (13.99; 10.86) $\sigma = 0.74$	n =46 m = 12.68 (15.90; 10.42) $\sigma = 01.09$
<b>WCL</b>	n =29 m = 14.29 (16.21; 12.83) $\sigma = 0.75$	n = 27 m = 12.24 (13.55; 10.75) $\sigma = 0.72$	n =56 m = 13.30 (16.21; 10.75) $\sigma = 001.26$	n = 12 m = 12.68 (15.97; 10.28) $\sigma = 01..70$	n = 34 m = 12.23 (13.71; 10.66) $\sigma = 0.76$	n = 46 m = 12.34 (15.79; 10.28) $\sigma = 01.11$
<b>I</b>	n =28 m = 0.10 (0.11; 0.09) $\sigma = 0.01$	n = 26 m = 0.10 (0.11; 0.07) $\sigma = 0.01$	n =54 m = 0.10 (0.11; 0.07) $\sigma = 0.01$	n = 12 m = 0.14 (0.16; 0.12) $\sigma = 0.01$	n = 34 m = 0.13 (0.16; .11) $\sigma = 0.01$	n = 46 m = .13 (0.16; 0.11) $\sigma = 0.01$
<b>U</b>	n =28 m = 0.10 (0.11; 0.08) $\sigma = 0.01$	n =26 m = 0.10 (0.13; 0.07) $\sigma = 0.01$	n =54 m = 0.13 (0.13; 0.07) $\sigma = 0.01$	n = 12 m = 0.18 (0.15; 0.11) $\sigma = 0.01$	n =33 m = 0.12 (0.15; 0.11) $\sigma = 0.01$	n =45 m = 0.12 (0.15; 0.11) $\sigma = 0.01$
<b>V</b>	n =28 m = 0.18 (0.20; 0.17) $\sigma = 0.01$	n =26 m = 0.17 (0.20; 0.12) $\sigma = 0.12$	n =54 m = 0.18 (0.20; .12) $\sigma = 0.01$	n =12 m = 0.69 (0.24; 0.16) $\sigma = 0.02$	n = 33 m = 0.21 (0.26; 0.19) $\sigma = 0.02$	n =45 m = 0.22 (0.26; 0.19) $\sigma = 0.02$

## 2. Présentation des données des métatarsiens

**Tableau (14):** Valeurs des paramètres mesurés des métatarsiens en fonction du sexe et de l'espèce.

Espèce Paramètres	Ovine			Caprine		
	Mâles	Femelles	Effectif total	Mâles	Femelles	Effectif total
<b>GL</b>	n =29 m = 170.95 (188.29; 161.72) $\sigma = 06.23$	n =26 m = 156.53 (177.14; 127.23) $\sigma = 13.09$	n =55 m = 164.13 (188.29; 127.23) $\sigma = 12.34$	n = 11 m = 117.51 (114.63; 96.26) $\sigma = 17.55$	n = 33 m = 125.63 (138.48; 101.76) $\sigma = 09.34$	n = 44 m = 120.60 (147.63; 96.26) $\sigma = 11.83$
<b>Bp</b>	n =29 m = 25.12 (27.23; 22.80) $\sigma = 01.26$	n =27 m = 21.81 (23.74; 20.12) $\sigma = 01.04$	n =56 m = 23.53 (27.23; 20.12) $\sigma = 02.02$	n = 12 m = 19.55 (25.50; 08.60) $\sigma = 04.25$	n =33 m = 20.53 (28.11; 17.64) $\sigma = 01.80$	n =45 m = 20.27 (28.11; 08.60) $\sigma = 02.66$
<b>Dp</b>	n = 29 m = 25.22 (27.26; 23.22) $\sigma = 0..99$	n = 27 m = 21.72 (23.80; 18.51) $\sigma = 01.14$	n =56 m = 23.54 (27.16; 18.51) $\sigma = 02.06$	n = 12 m = 19.08 (23.68; 16.79) $\sigma = 02.43$	n =33 m = 19.02 (21.84; 15.81) $\sigma = 01.22$	n =45 m = 19.03 (23.68; 15.81) $\sigma = 01.60$
<b>d</b>	n =29 m = 14.68 (21.54; 12.67) $\sigma = 01.49$	n = 26 m = 12.40 (14.54; 10.09) $\sigma = 01.01$	n =55 m = 13.60 (21.54; 10.09) $\sigma = 01.71$	n = 11 m = 12.36 (16.75; 09.02) $\sigma = 02.71$	n =32 m = 11.91 (14.22; 09.12) $\sigma = 01.21$	n = 43 m = 12.02 (16.75; 09.02) $\sigma = 01.69$
<b>e</b>	n =29 m = 13.37 (15.84; 11.87) $\sigma = 0.76$	n =26 m = 11.75 (13.18; 08.16) $\sigma = 01.18$	n =55 m = 12.60 (15.84; 08.16) $\sigma = 01.27$	n =11 m = 10.07 (12.92; 07.54) $\sigma = 01.94$	n =31 m = 10.22 (12.55; 07.80) $\sigma = 0.99$	n =42 m = 10.58 (12.91; 07.54) $\sigma = 01.28$
<b>DD</b>	n =29 m = 12.85 (23.76; 11.25) $\sigma = 02.21$	n =27 m = 10.61 (14.50; 08.83) $\sigma = 01.13$	n = 56 m = 11.77 (23.76; 08.83) $\sigma = 02.03$	n = 10 m = 10.62 (19.47; 07.54) $\sigma = 03.61$	n =33 m = 9.65 (13.00; 07.40) $\sigma = 01.03$	n =43 m = 09.87 (19.47; 07.40) $\sigma = 01.94$
<b>Bd</b>	n =29 m = 29.52 (32.87; 26.71) $\sigma = 01.41$	n =26 m = 25.85 (28.22; 23.68) $\sigma = 01.17$	n =55 m = 27.79 (32.87; 23.68) $\sigma = 02.25$	n = 11 m = 25.05 (30.47; 21.89) $\sigma = 03.00$	n =33 m = 23.76 (26.28; 20.85) $\sigma = 01.29$	n =44 m = 24.08 (30.47; 20.85) $\sigma = 01.91$
<b>Dd</b>	n =29 m = 19.72 (22.11; 16.62) $\sigma = 01.20$	n =26 m = 15.75 (19.18; 15.97) $\sigma = 0.76$	n =55 m = 18.79 (22.11; 15.79) $\sigma = 01.41$	n =11 m = 16.91 (21.34; 14.06) $\sigma = 02.23$	n = 33 m = 16.59 (18.75; 14.62) $\sigma = 01.17$	n =44 m = 16.67 (21.34; 14.06) $\sigma = 01.48$

<b>Be</b>	n =29 m = 31.74 (35.42; 18.67) $\sigma = 03.17$	n =27 m = 26.36 (29.00; 24.20) $\sigma = 01.07$	n =56 m = 29.15 (35.42; 18.67) $\sigma = 03.61$	n = 12 m = 25.63 (31.37; 22.14) $\sigma = 02.98$	n =33 m = 24.30 (27.79; 21.45) $\sigma = 01.45$	n =45 m = 24.66 (31.37; 21.45) $\sigma = 02.02$
<b>De</b>	n =29 m = 20.45 (26.55; 18.34) $\sigma = 01.70$	n =27 m =15.81 (17.94; 12.78) $\sigma = 01.23$	n =56 m = 18.21 (26.55; 12.78) $\sigma = 02.77$	n =12 m = 14.69 (18.48; 12.69) $\sigma = 01.94$	n =33 m = 13.63 (15.79; 11.52) $\sigma = 01.02$	n =45 m = 13.92 (18.48; 11.52) $\sigma = 01.38$
<b>DIM</b>	n =29 m = 16.24 (17.93; 12.74) $\sigma = 0.95$	n =26 m = 14.48 (16.37; 13.20) $\sigma = 0.75$	n =55 m = 15.41 (17.93; 12.44) $\sigma = 01.23$	n = 11 m = 13.74 (16.80; 11.47) $\sigma = 01.76$	n =33 m = 13.56 (15.36; 11.00) $\sigma = 0.92$	n =44 m = 13.61 (16.80; 11.00) $\sigma = 01.16$
<b>DEM</b>	n =29 m = 13.59 (15.75; 12.46) $\sigma = 0.70$	n =26 m = 11.43 (12.82; 10.05) $\sigma = 0.75$	n =55 m = 12.57 (15.75; 10.05) $\sigma = 01.31$	n =11 m = 10.26 (12.79; 08.36) $\sigma = 01.35$	n =32 m = 10.33 (14.41; 08.55) $\sigma = 01.30$	n =43 m = 10.31 (14.41; 08.36) $\sigma = 01.30$
<b>DIL</b>	n =29 m = 16.37 (17.89; 15.42) $\sigma = 0.67$	n =26 m = 14.34 (16.18; 11.49) $\sigma = 0.91$	n =55 m = 15.41 (17.89; 11.49) $\sigma = 01.29$	n = 12 m = 14.06 (17.16; 11.72) $\sigma = 01.80$	n =33 m = 13.70 (15.46; 11.78) $\sigma = 0.86$	n =45 m = 13.80 (17.31; 11.72) $\sigma = 01.14$
<b>DEL</b>	n =29 m = 12.26 (14.00; 10.50) $\sigma = 0.70$	n =26 m = 10.51 (12.69; 09.33) $\sigma = 0.75$	n =55 m = 11.43 (14.30; 09.33) $\sigma = 01.14$	n = 12 m = 09.69 (11.80; 07.72) $\sigma = 01.40$	n =32 m = 09.61 (10.85; 08.19) $\sigma = 0.66$	n =44 m = 09.63 (11.80; 07.73) $\sigma = 0.91$
<b>WCM</b>	n =29 m = 13.95 (15.48; 12.63) $\sigma = 0.66$	n = 26 m = 12.21 (13.54; 11.21) $\sigma = 0.59$	n =55 m = 13.12 (15.48; 11.21) $\sigma = 01.07$	n = 11 m = 11.78 (14.29; 09.31) $\sigma = 01.50$	n = 33 m = 11.28 (12.57; 09.87) $\sigma = 0.59$	n =44 m = 11.39 (14.29; 09.31) $\sigma = 0.90$
<b>WCL</b>	n =29 m = 12.69 (13.76; 12.33) $\sigma = 0.57$	n =26 m = 11.53 (12.87; 10.29) $\sigma = 0.62$	n =55 m = 12.06 (13.76; 10.29) $\sigma = 0.90$	n = 12 m = 11.15 (13.93; 09.06) $\sigma = 01.49$	n = 33 m = 10.70 (11.95; 09.45) $\sigma = 0.59$	n =45 m = 10.82 (13.93; 09.06) $\sigma = 0.92$
<b>I</b>	n =29 m = 0.09 (0.11; 0.08) $\sigma = 0.01$	n = 26 m = 0.08 (0.10; 0.07) $\sigma = 0.01$	n =55 m = 0.08 (0.11; 0.07) $\sigma = 0.01$	n =11 m = 0.10 (0.12; 0.09) $\sigma = 0.01$	n =32 m = 0.10 (0.11; 0.08) $\sigma = 0.01$	n =43 m = 0.10 (0.12; 0.08) $\sigma = 0.01$
<b>U</b>	n =29 m = 0.08 (0.10; 0.07) $\sigma = 0.01$	n =26 m = 0.08 (0.10; 0.06) $\sigma = 0.01$	n = 55 m = 0.08 (0.10; 0.06) $\sigma = 14.00$	n =11 m = 0.10 (0.11; 0.08) $\sigma = 0.01$	n =32 m = 0.09 (0.14; 0.08) $\sigma = 0.01$	n =43 m = 0.09 (0.14; 0.08) $\sigma = 0.01$
<b>V</b>	n =29 m =0.15 (0.17; 0.13) $\sigma = 0.01$	n =26 m = .14 (0.16; .12) $\sigma = 0.01$	n =0.14 m = 0.17 (0.12; 0.09) $\sigma = 0.01$	n = 11 m = 0.18 (0.19; 0.16) $\sigma = 0.01$	n =33 m = 0.17 (0.27; 0.15) $\sigma = 0.02$	n =44 m = 0.17 (0.27; .15) $\sigma = 0.02$

**ANNEXE 03**

La nomenclature ostéométrique.

## La nomenclature ostéométrique

- Les textes ayant servi de base à la définition des mesures sont organisés comme suit (Lallemand ,2002):
  - ☞ Le guide « Osteo », par Desse, Chaix et Desse-Berset (Desse et al, 1986).
  - ☞ A guide to the measurement of Animal Bones from Archaeological Sites, par Von den Driesch (Driesch von den, 1976).
  - ☞ Measurements of a Group of Adult Female Shetland Sheep. Skeletons from a Single Flock: a Baseline for Zooarchaeologists, par Davis (Davis, 1996). Cet auteur s'inspire lui-même de Von den Driesch (1976) et des recherches des membres du « sheep/goat measurement working party C, dont les résultats n'ont pas été publiés.
- Le tableau ci-dessous récapitule les origines bibliographiques de chaque mesure :

**Tableau (15): Origines des mesures, classées par source bibliographique (Lallemand ,2002) :**

Source bibliographique et année de publication	Mesures
<b>BOESSNECK J. et al :</b> <u>Die Tierknochenfunde aus dem Oppidum von Manching</u> . Wiesbaden : Franz Steiner Verlag GMBH, 1971, 280-281.	<b>GL, Bp, Bd, SD.</b>
<b>BÖKÖNYI S.:</b> <u>Animal Husbandry and Hunting in Tac-Gorsium. The Vertebrate Fauna of a Roman Town in Pannonia</u> . Budapest : Akadémiai Kiado, 1984, 165-173.	<b>GL, Bp, SD, Bd.</b>
<b>CLUTTON-BROCK J. et al:</b> <u>Osteology of the Soay sheep</u> . Bull. Br. Mus. nat. Hist ( Zool ), 1990, <b>56</b> (1), 1 56	<b>GL, Bp, Dp, Bd, Dd, SD, DIM.</b>
<b>COLLECTIF :</b> <u>Eketorp. Befestigung und Siedlung auf Öland/Schweden. Die Fauna</u> . Stockholm : Almqvist & Wiksell International, 1976, 118-120.	<b>GL, Bp, Bd, SD.</b>
<b>DAVIS S. :</b> <u>Measurements of a Group of Adult Female Shetland Sheep. Skeletons from a Single Flock : a Baseline for Zooarchaeologists</u> . Journal of Archaeological Science, 1996, , 593-612. <b>23</b>	<b>GL, Bp, SD, Bd, DIM, DEM, DIL, DEL, WCM, WCL.</b>

<p><b>DESSE J. &amp; CHAIX L. &amp; DESSE-BERSET N. : « <u>OSTEO Ć, Base-réseau de données ostéométriques pour l'archéozoologie. Procédures, codages, exploitation des données, organisation du réseau.</u> Paris : Ed. C.N.R.S., 1986, 146-147</b></p>	<p><b>GL, Bp, Dp, SD, DD, Bd, Dd.</b></p>
<p><b>DRIESCH A. von den : <u>A guide to the measurement of Animal Bones from Archaeological Sites.</u> Harvard : Peabody Museum Bulletins, 1, 1976, 1-137.</b></p>	<p><b>GL, Bp, Dp, SD, DD, Bd, Dd.</b></p>
<p><b>GUINTARD C. : <u>Ostéométrie des métapodes de bovins.</u> Revue Méd. Vét., 1998, 149(7), 751 -770.</b></p>	<p><b>GL, Bp, Dp, Bd, Dd, d, e.</b> (Ces mesures sont utilisées par Guintard chez les bovins, et transposées ici au mouton et chèvre)</p>
<p><b>GUINTARD C. et BETTIE : Osteometry of domestic ruminants metapodial bones (bos taurus and Ovis Aries ) : typology and sexing Mondial Vet Lyon. 26<sup>th</sup> World Veterinary Congress (26;1999-09-23/26, Lyon.Processings, Mondial Vet Lyon 99 (Cédérom)</b></p>	<p><b>GL, Bp, SD</b></p>
<p><b>HAAK D. : Metrische Utersuchungen an RÖHERNKNOCHEN bei deutschen Merinoslandschafen und heidschnuken. Th.Méd. Vét.: Munchen: 1965,90p.</b></p>	<p><b>GL, Bp, Bd, SD</b></p>
<p><b>REICHSTEIN H.: Die Fauna des Germanischen Dorfes Feddersen Wierde. Teil 2: Masstabellen und Taflen Stuttgrat: Franz steiner Verlag, 1991, 378-387.</b></p>	<p><b>GL, Bp, SD, Bd</b></p>

## LES REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- **BALAS, D.; PHILIP, P. (2001).**  
Cours histologie générale.  
<http://www.homepage.mac.com/danielbalas/HISTOLOGIE/HISTGENE/index.html>
  
- **BARON, R. (2001).**  
L'ostéoclaste et les mécanismes moléculaires de la résorption osseuse.  
Med.Sci.
  
- **BARONE, R. (1986).**  
Anatomie comparée des mammifères domestiques.  
Tome 1, Ostéologie, 3<sup>ème</sup> édition. Paris : vigot frères éditeurs, 523-565
  
- **BARONE, R. (1976).**  
Anatomie comparée des mammifères domestiques.  
Tome 1, ostéologie texte, 2<sup>ème</sup> édition, vigot frères éditeurs, p 42.
  
- **Bernaudin, J. (1997).**  
Atlas en couleur d'histologie.  
2<sup>ème</sup> édition française, édition Masson - Williams et Wilkins. Paris.
  
- **BEZILLE, J.; BOCCARA, H.; PARAGON, B. (1978).**  
Les pieds des bovins "hygiène. Soins. Boiteries".  
Éditer par l'institut technique de l'élevage Bovins, Paris.
  
- **BOBADILLA, B. (1981).**  
Contribution à l'étude des la mécano-structure des os du membre pelvien du cheval.  
Travail de recherche effectué au service d'anatomie de l' École Nationale Vétérinaire de Lyon.
  
- **Borrel, V. (2003).**  
Caractérisation d'un modèle de résection segmentaire diaphysaire de grande taille chez la brebis. Thèse doctorat Vétérinaire. École nationale vétérinaire d'alfort.
  
- **BOSSY, J. (1993).**  
Anatomie Ernest, G.; Donald, J.G0; Ronan; O.  
Volume I, office des publications universitaires, Alger, p 91.
  
- **CAZAEU, C. et al (2004).**  
Anatomie comparée de l'articulation de la cheville chez quelques classes des mammifères domestiques.  
Clinique de La Défense Nanterre (92).  
[www.maitriseorthop.com/corpusmaitri/orthopaedic/133\\_cazeau/](http://www.maitriseorthop.com/corpusmaitri/orthopaedic/133_cazeau/) - 56k –
  
- **CREVIER, N. (1991).**  
Imagerie radiographique normales des membres chez le poulain de 0 à 6 mois.  
Thèse doctorat, école nationale vétérinaire Lyon.

- **DAUVILLIER, S. (2004).**  
In : Les facteurs de fatigues chez le cheval.  
Thèse de doctorat vétérinaire, École nationale vétérinaire d'Alfort
- **DRIESCH, A. VON. DEN. (1976).**  
A guide to the measurement of Animal Bones from Archaeological Sites.  
Harvard: Peabody Museum Bulletins, 1-137.
- **FOUCAT, D. (2003).**  
Effet de la présence d'un grillage métallique au sein du ciment de scellement des cupules des prothèses totales de hanche "étude mécanique et thermique".  
Thèse Doctorat, INSA Strasbourg, 50.
- **FILIPOVE, J.; PASKALEV, M. (1988).**  
Etude sur la dureté de certains os chez les bovins avec l'appareil de BOYER.  
Revue médecine vétérinaire, 139 (12), 1151,1156.
- **GAUTHIER, O. et al (2002).**  
Caractéristiques mécaniques de reconstitution osseuse après comblement par un biomatériau injectable  
Ecole Nationale Vétérinaire Nantes (unité de chirurgie).
- **GRASSE, P. (1955).**  
Traité de zoologie. Anatomie, Systématique, Biologie.  
Tome XVII, premier fascicule. Mammifères, les ordres : anatomie, éthologie, systématique. Paris : Masson et Cie Editeurs.
- **GRIGNON, G. (1996).**  
Les cours du PCEM Cours HISTOLOGIE,  
Ellipses/édition marketing S.A.
- **GUINTARD, C. (1996).**  
Ostéométrie des métapodes des bovins: la race charolaise.  
Thèse de Doctorat en science, Muséum National d'histoire Naturelle, pp 752-770.
- **GUINTARD, C. (1994).**  
Le métapode: un bon marqueur génétique, Aurochs, le retour: aurochs, vaches et autres bovins de la préhistoire à nos jours, Centre Jurassien du patrimoine, Lons-le-Saunier, pp. 201-202.
- **GUINTARD, C.; BETTI, E. (1999).**  
Etude ostéométrique des métapodes de bovins : la race Charolaise.  
Th. Sci., Muséum National d'Histoire Naturelle : Paris, 5
- **GUINTARD, C.; LALLEMAND, M. (2003).**  
Osteometric study of metapodial bones in sheep (*Ovis aries*, L.1758),  
Annals of anatomy. ENVN, Laboratoire d'Anatomie Comparée, route de Gachet, BP4 0706,F-44307 Nantes cedex ,France.

- **LACROIX, P. (1949).**  
L'Organisation des os 230p, 15 x 24, Paris, Masson
- **LALLEMANDE, M. (2002).**  
Etude ostéométrique des métapodes de mouton (*Ovis aries*, L.)  
thèse de Doctorat en science vétérinaire, Ecole Nationale Vétérinaire Nantes.
- **PRUGNOLLE, H; THOREAU, F. (1996).**  
Histologie PCEM.  
Édition ESTEM, Paris.
- **PLANCHER, R. et al (1990).**  
Etude de quelques caractéristiques mécaniques des éléments osseux de l'articulation temporo-mandibulaire dans certaines classes de mammifères par durométrie et pénétrométrie.  
Bulletin de l'association des Anatomistes, 74, pp.23 à 27.
- **TOPETTS et al (2004).**  
Morphologie, croissance et remaniement du tissu osseux.  
Formation Continue– article de synthèse, Ann. Méd. Vét., 148, 1-13.