

**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie**

**Département des Sciences Biologiques**



**Mémoire de Master Académique**

**Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie**

**Filière : Sciences Biologiques**

**Spécialité : Biochimie Appliquée**

**THEME**

**INTITULÉ**

**Contribution à l'étude des propriétés structurales et physico-chimiques du collagène extrait à partir de l'os camelin**

**Présenté par :**

**Guiroud Loubna & Hamaki Oum Aïman**

**Soutenu publiquement :**

**Le 18 /06/2023**

**Devant le jury :**

M. HENNI Hamza Abdellah	Président	Pr	UKMO
M. ADAMOU Abdelkader	Promoteur	Pr	UKMO
Mlle IMALHAYENE Meriem	Co-promotrice	Doctorante	UKMO
M. CHAICH Khaled	Examineur	MCA	UKMO
M. REDJEB Ayad	Examineur	MA	UKMO

**ANNÉE UNIVERSITAIRE 2022/ 2023**



Le présent **Mémoire de Master** est inscrit  
dans le projet de partenariat International intitulé :

***Camel breeding systems: actors in the sustainable economic  
development of the northern Sahara territories through innovative  
strategies for natural resource management and marketing.***



Entrant dans le cadre du programme **PRIMA**



# Remerciements



*Avant tout, nous tenons à remercier notre DIEU, notre créateur : pour nous avoir donné la force pour accomplir ce travail.*

*Nous tenons à exprimer nos vifs remerciements à tous les professeurs qui nous ont aidés tout au long de notre cursus universitaire et l'encadrent PR : ADAMOU Abd Elkader pour ses conseils et l'aide qu'il nous a apportés.*

*Nous adressons également nos sincères remerciements particulier au Dr : IMELHAYENE Meriem Siray Co-encadreur de nous avoir orienté, aidé et conseillé. Pour le temps qu'il a consacré à nous apporter les outils méthodologiques indispensables à la conduite de cette recherche.*

*Merci à Mr BOUZAGAG Ismail chef de service au labo pour son soutien morale et pour son aide pratique et qui toujours nous a accordé un peu de son temps pour nous orienter et nous conseiller.*

*Comme je tiens à remercier Mr. BELKHALFA Hakim Directeur du labo CRAPC qui a mis à nous disposition les outils et l'équipement nécessaire pour nous étude ainsi que Mr. RAHMANI Youcef Doctorant et que nous remercie infiniment pour son aide .*

*Nous envoyons également nos remerciements les plus dévoués au membre de jury : Mr Président HENNI Hamza Abdellah et Mr CHAICH Khaled et Mr AYAD Ryab pour avoir gentiment accepté de juger notre travail et qui nous avons honoré avec leurs présence*

*Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de nos familles, surtout nos parents qui nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et a qui on tient à les remercier.*

*Merci!*



# Dédicace

*Je dédie ce travail :*

*A ma chère mère, la prunelle de mes yeux ta présence à mes coté a touýours été ma source de force, ton affection me couvre et ta bienveillance me guide quoi que ye fasse ou ye dise, ye ne saurai point te remercier comme il se doit.*

*A mon cher papa Tu as touýours été à mes coté pour m'encourager et me soutenir, que ce travail traduit mon affection et ma gratitude*

*A ma chérie Almi houda Tu as touýours été à mes coté .*

*A mes très chère sœurs hassiba ahlem marwa samia*

*A mes très chère frères fateh adel nadýi*

*A mes belles rayan et houda pour vous encouragements*

*A mon très cher mari boukhenoufa oussama qui m'as aidé et me supporter dans les moments difficiles*

*A ma belle famille qui m'ont touýours encouragé.*

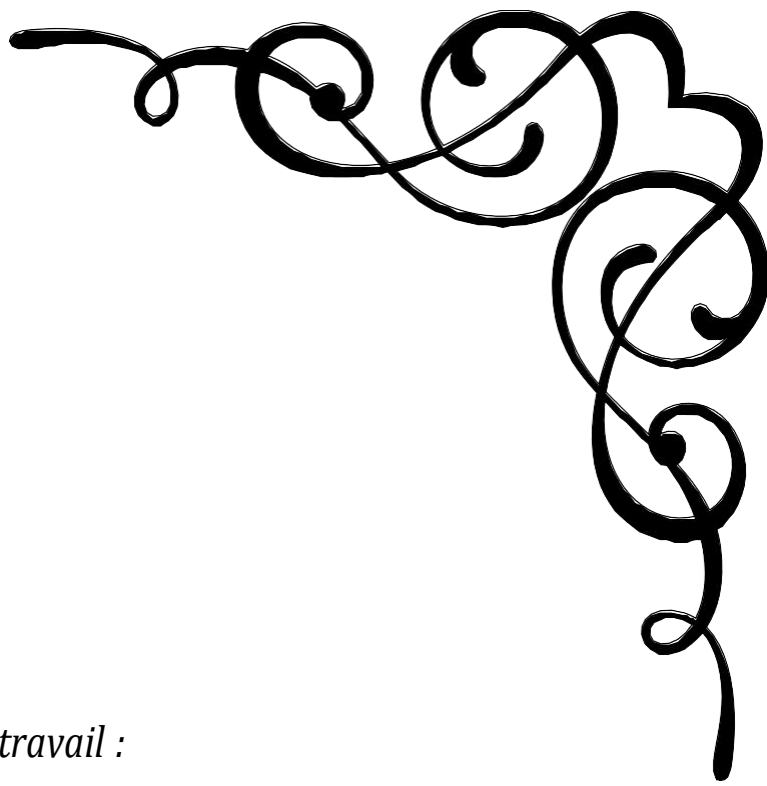
*A Mme imelhayene meriem pour pour tout ce qui nous a donné durant toute cette année, pour son aide et sa patience*

*A tous ceux qui m'ont aidé et ceux qui ont partagé avec moi les moments d'émotion lors de la réalisation de ce travail*

*Merci!*



# Dédicace



*Je dédie ce travail :*

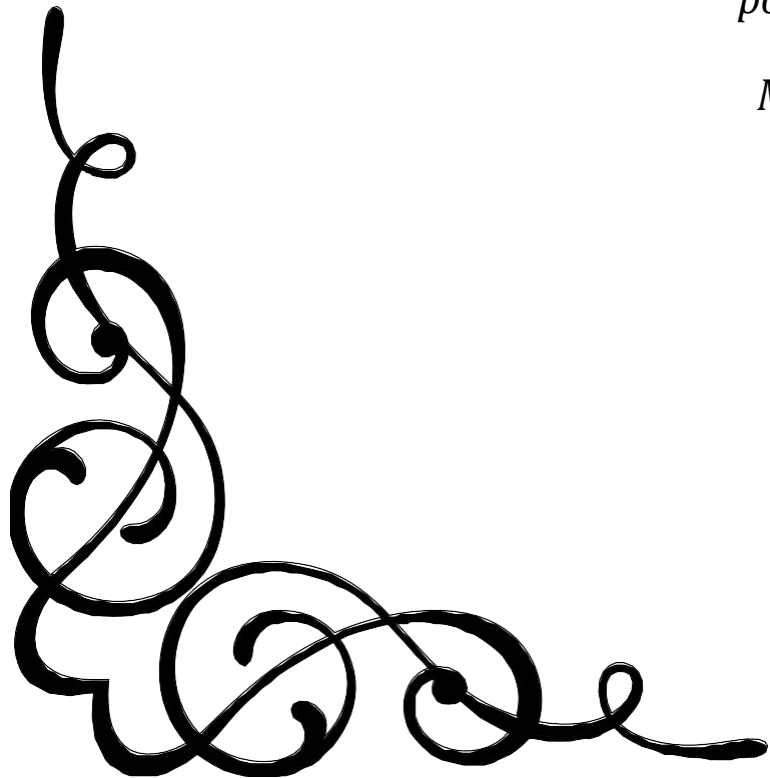
*A ma chère mère et à mon cher père qui n'ont jamais cessé de me supporter, et qui ont oublié ma fatigue, et m'ont soutenu pour continuer avec fierté et confiance.*

*A mes chers frères Mohamed et Younes; à mes chères sœurs Nabila, Rekia, Fardousse, Batoul et Arwa.*

*à toute ma chère famille ( Hamaki et Ben zidi ); à tous mes proches. à tous ceux qui m'ont soutenu et ont cru que je pouvais.*

*Merci!*

ʻoʻu<mffl ʻarikmʻa<nffl



# Sommaire

Liste Des Tableaux	IV
Liste Des Figures	V
Abr viations et symboles	VIII
INTRODUCTION G N RALE	1
Introduction g n rale	1
I G n ralit sur les os camelins	4
I.1 Introduction . . . . .	4
I.2 Vue g n rale sur l'anatomie du squelette du dromadaire . . . . .	5
I.3 Zoom sur l'anatomie osseuse du dromadaire . . . . .	7
I.3.1 La t te . . . . .	7
I.3.1.1 Vue dorsale . . . . .	7
I.3.1.2 Vue lat rale . . . . .	9
I.3.1.3 Vue ventrale . . . . .	11
I.3.1.4 Les mandibules . . . . .	13
I.3.1.5 Os de la colonne vert brale . . . . .	13
I.3.1.6 Os des cotes . . . . .	15
I.3.1.7 Os du sternum . . . . .	15

I.3.1.8	Os d' paule .....	16
I.3.1.9	Os de bras et avant-bras .....	16
I.3.1.10	Os du la main .....	17
I.3.1.11	Classi cation des os .....	18
I.3.2	organisation structurelle et biochimique des os .....	20
I.3.2.1	organisation biochimique des os .....	20
I.3.3	d veloppement de la structure et la composition chimique des os en fonction d' ge .....	23
<b>II</b>	<b>Le collag ne- g n ralit , description et caract ristiques</b>	<b>24</b>
II.1	Le collag ne et la matrice extracellulaire, quelle relation ? .....	24
II.2	D nition du collag ne .....	27
II.3	Structure du collag ne .....	28
II.3.1	Structure primaire .....	29
II.3.2	Structure secondaire .....	30
II.3.3	Structure tertiaire .....	31
II.3.4	Structure quaternaire .....	32
II.4	Organisation biochimique du collag ne .....	32
II.5	Classi cation et types de collag nes .....	35
II.6	Organisation macromol culaire des collag nes .....	37
II.7	Synth se et Assemblage du collag ne .....	40
II.8	Anomalies du collag ne : Origine de plusieurs maladies .....	42
II.9	Solubilit du collag ne .....	43
II.10	Processus d'extraction du collag ne .....	44
II.11	Les domaines d'application du collag ne .....	47
<b>III</b>	<b>Partie exp rimentale</b>	<b>48</b>



III.1	Mat riel et M thodes .....	48
III.1.1	Mat riel biologique.....	48
III.1.1.1	Extraction du collag ne.....	48
III.1.2	Caract ristiques physico-chimiques et structurelles du collag ne et des os camelins .....	51
III.1.2.1	le rendement de l'extraction .....	51
III.1.2.2	Compostions chimiques des os et du collag ne.....	52
<b>IVR</b>	<b>sultats et discussion</b>	<b>58</b>
IV.1	le rendement de l'extraction .....	58
IV.2	Caract ristiques physico-chimiques et structurelles du collag ne et des os camelins .....	60
IV.2.1	Compostions chimiques des os et du collag ne .....	60
<b>CONCLUSION G N RALE</b>		<b>71</b>

# Liste Des Tableaux

I.1	Aper ue sur la composition totale des os .....	21
I.2	Caract risation des di rents types des cellules osseuses .....	22
II.1	Certaines proc dures utilis es pour l'extraction du collag ne par- tir de d chets animaux. ....	46
IV.1	R sultats du rendement en fonction de la partie osseuse. ....	60
IV.2	R sultats de la teneur en humidit (H) et la mati re s che (MS). ....	61

# Liste Des Figures

I.1	L'anatomie du squelette de dromadaire .(El Allali et al., 2017). . .	6
I.2	Vue dorsale du cr ne de chameau . . . . .	8
I.3	Vue lat rale du cr ne d'un m le adulte (Ali,2013). . . . .	9
I.4	Vue lat rale de la r gion orbitale du cr ne du dromadaire adulte. .	10
I.5	D veloppement du processus nasal du maxillaire en fonction de l' ge chez le m le. ....	11
I.6	D tails de la r gion interm diaire de la vue ventrale du cr ne d'un m le. ....	12
I.7	Vue ventrale du cr ne d'un m le adulte. ....	12
I.8	Vue lat rale de la mandibule gauche d'une femelle adulte. ....	13
I.9	Atlas(gauche : face dorsale, droite : face ventrale). ....	14
I.10	Atlas(Axis).....	14
I.11	Sternum.....	16
I.12	Face dorsale de la carpe. ....	17
I.13	Extr mit digit e (gauche : face dorsale, droite :face palmaire).....	18
I.14	Extr mit digit e Os du scapula. ....	18
I.15	Extr mit digit e (Les os du pied).....	19
I.16	Extr mit digit e Tibia. f mur.....	19

I.17 Extr mit digite (Os vertbral).....	19
I.18 Les di rentes chelles d'organisation de l'os.....	20
I.19 Organisation structurelle des tissus osseux.....	22
II.1 Ultrastructure des matrices extracellulaires et composition en macromol cules de di rents tissus(Fichard et al.,2003).....	26
II.2 Sch ma d'une mol cule du collag ne(Bounebbal et Kirdi, 2022).....	29
II.3 repr sentation sch matique de l'organisation structurelle du collag ne.....	31
II.4 Projection simpli e de la disposition des atomes (Dumonet Luft, 2020). ....	32
II.5 Structure des trois acides amin s majoritaires de la triple h licedu collag ne : Gly, Pro et Hyp. ....	33
II.6 Organisation des brilles dans di rents organes.....	38
II.7 Formation des membranes basales partir du collag ne IV. ....	39
II.8 Repr sentation sch matique, des g nes codants pour les cha nes $\alpha 1$ et $\alpha 2$ du collag ne de type I (Saby, 2016).....	41
II.9 Processus d'assemblage des brilles de collag ne.....	42
III.1 pr paration des chantillons.....	49
III.2 La d min ralisation des os.....	50
III.3 Processus du pr traitement des os. ....	50
III.4 Processus de la puri cation et conservation du collag ne.....	51
III.5 Broyage des os.....	52
III.6 KJELDAHL.....	54
III.7 Spectrophotom tre XRF. ....	55
III.8 Spectrophotom tre UV.....	56

III.9 microscopie lectronique balayage (MEB).....	56
IV.1 le rendement selon l' ge. ....	58
IV.2 La variation du rendement de l'extraction en fonction de l' ge.....	59
IV.3 R sultat de la MM et la MO en % de la MS.....	62
IV.4 Comparaison de la composition approximative du collag ne et des os du dromadaire (gauche : collag ne ; droite : os).....	63
IV.5 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 2ans.....	64
IV.6 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 4ans.....	65
IV.7 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 7ans.....	65
IV.8 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 11 ans. ....	65
IV.9 Mesures d'absorption ultraviolette (UV).....	67
IV.10Microstructure d'un os de dromadaire(a : 2 ans ; b :4 ans ; c : 7 ans ; d :11 ans).....	68

# Abréviations et symboles

MEC : matrice extra cellulaire

MEC :protoglycanes

GLY :glycine

PRO :proline

HYP :hydroxyproline

C : corne

P :la peau

T :tendon

nm : nanomètre

P-4-H : prolyl-4-hydroxylase

HCL : chlorure d'hydrogène(acide chlorhydrique)

T :température

pH :potentiel hydrogène

NaOH : hydroxyde de sodium

h : heure

M : concentration molaire

C : degré celsius

AOAC : association of official analytical chemists (association professionnelle)

am ricaine ).

MS : mati re s che

H : humidit

MM : mati re min ral

MO : mati re organique

MAT : mati re azot total

ANOVA : analyse de la variance

IBM : international business machines corporation

SPSS : statistical package for the social sciences (logiciel informatique )

# INTRODUCTION G N RALE

L'levage de camelins est une activit qui existe depuis longtemps dans les zones rurales, fournissant des revenus aux chameliers et cr ant des emplois pour les bergers ( Bardou, 2017).

En raison des nombreuses richesses qu'il g n re gratuitement (viande, lait, poils, crottin et peau), le dromadaire est un animal g n reux et est la seule esp ce animale valorisant les parcours sahariens de faible productivit ( Kalla ,2020).

l'exemple du dromadaire comme auxiliaire de l'agriculture, certaines fonctions ont compl tement disparu. Cependant, gr ce aux progr s scienti ques qui ont d montr les vertus du lait de chamelle, le dromadaire a retrouv son statut de dromadaire laitier, ce qui a encourag l' mergence des mini-laiteries (Mian, 2008).

D'autre part, les produits et sous-produits sont utilis s l'image de l'os qui a t valoris exploit dans le domaine industriel Bien que son utilisation de l'os du dromadaire pour la fabrication de la collag ne Ce d chet repr sente une source potentielle de collag ne d'o la n cessit de r aliser des tentatives de valorisations, et c'est dans ce contexte que nous envisageons la pr sente tude pour permettre l'extraction du collag ne partir de l'os de dromadaire qui peut tre utilis e des ns alimentaire et pharmaceutique ( Kalla,2020).



La prot ine la plus abondante chez les vert br s est le collag ne. Il repr sente environ 30 % de l'ensemble des prot ines. Le collag ne est un composant important du tissu conjonctif, notamment de la peau, des muscles, des osselets, de la dentition, des tendons, du cartilage et des vaisseaux sanguins. Comme prot ine breuse, il joue un r le crucial en assurant la coh sion, l' lasticit et la r g n ration de tous ces tissus ( Froment, 2013).

Le collag ne pr sente un int r t majeur pour les applications biom dicales, pharmaceutiques, cosm tiques et agricoles en raison de ses bonnes propri t s biologiques et fonctionnelles ( Kurek et al., 2022).

Il existe un int r t croissant pour le proc d d'extraction du collag ne et de ses d riv s en raison de la tendance croissante utiliser cette prot ine pour remplacer les agents synth tiques dans divers proc d s industriels, ce qui conduit une augmentation de l' valuation des sous-produits de l'abattage des animaux (Babahoum, 2022).

Les propri t s du collag ne d pendent de la mati re premi re et des conditions d'extraction qui d terminent ensuite son application. Il est g n ralement d riv des sous-produits de l'abattage des animaux, en particulier des esp ces marine et ovine, bovine et porcine (Boukhari et al ., 2022 ).

Les principales sources de collag ne sont la peau, les tendons, le cartilage et les os Cette tude propose l'int gration d'une nouvelle source de collag ne : l'os camelin comme ressource bio-renouvelable qui soutient la diversi cation de la production et le d veloppement de la li re viande cameline dans les zones arides et semi-arides (Soltani et al ., 2022).

Ceci a permis de trouver en le collag ne une source naturelle halal r pondant aux besoins de la soci t des prix raisonnables et en proposant un produit local (Bahlouli et al ., 2015).

L'objectif de la présente étude est d'opter pour une stratégie innovante en vue d'une valorisation des déchets d'abattage du dromadaire l'exemple des os dans le contexte d'obtenir un produit haute valeur biologique et économique di rents usages et variabilité des applications ; Cette étude s'intéresse également :

- définir la relation (matière première (os camelin)-Age-collagène)
- déterminer les caractéristiques physico-chimiques de l'os camelin en fonction de plusieurs catégories d'âge
- optimiser les conditions l'extraction du collagène par rapport l'âge
- étudier la qualité physico-chimique et structurale du collagène issu de l'os par rapport plusieurs âges.

De plus, découle la grande question de notre problématique Est-il intéressant d'extraire de le collagène partir de l'os camelin tant sur le plan de rendement que sur le plan qualitatif même de valoriser ce déchet d'abattage en créant une valeur ajoutée conséquente de l'activité cameline ? De cette interrogation, découle deux hypothèses :

L'hypothèse 1 :

Les os contiennent beaucoup de substances minérales et organiques, dont la plus importante est le collagène, qui interagit positivement avec la pepsine, de sorte que le résultat de l'extraction sera directement du collagène osseux.

L'hypothèse 2 :

La technique d'extraction du collagène pourrait être coûteuse par rapport au prix que procurerait le collagène. Pour répondre à la problématique, nous avons opté pour la méthodologie et ce après avoir donné un aperçu sur les deux mots clés de la thèse savoir l'os camelin et le collagène

# Chapitre I

## Généralité sur les os camelins

### I.1 Introduction

Les animaux des zones arides et désertiques sont soumis une gamme de conditions environnementales extrêmement difficiles. Contrairement au plus petit mammifère du désert, le chameau (*Camelus dromedarius*), continuellement exposé à la chaleur, au rayonnement solaire, au manque d'eau, à la rareté et au secret de la disponibilité de la nourriture, une variété de stratégies d'adaptation pour gérer cela avec précision et un environnement hostile (Faye, 2011).

Ces caractéristiques font du chameau d'Arabie l'un des animaux les plus adaptés aux milieux désertiques. Malgré cela, le nombre d'articles publiés chaque année sur ce sujet est encore très petit et insuffisant surtout en anatomie osseuse (El Allali et al., 2017).

## I.2 Vue générale sur l'anatomie du squelette du dromadaire

Le squelette du crâne, comme celui du cheval, compte tenu de sa taille, il a une crête occipitale proéminente et forte laquelle est attaché un tendon cervical fort et naturel. Soutenir un si gros tige sur un si long cou. Le fait que les sinus soient larges et profonds indique que le dromadaire s'est adapté à la vie désertique (Faye, 2011).

En effet, le dromadaire a une poche aveugle sinusale latérale qui n'a jamais été vue chez aucune autre espèce. Une telle anatomie lui permet de capter une partie importante de l'eau au moment de l'expiration par les voies nasales. De plus, ceux-ci sont reliés à l'extérieur via des voies nasales entièrement obturables, empêchant l'assèchement du mucus nasal et maintenant un environnement humide dans les voies respiratoires supérieures (Faye, 2011). Comme pour l'absence presque totale de mammifères ; Le dromadaire a sept vertèbres thoraciques et un long cou.

Malgré le soutien de la bosse, les apophyses pineuses des arbres thoraciques et lombaires ne sont plus globalement. La longueur des yeux des membres réduit la distance entre le thorax et le ventre de l'animal et le sol lorsqu'il est suspendu la tête en bas. Le dromadaire possède à la fois des dents temporaires (dents de lait) et permanentes, comme la majorité des mammifères. La première formule dentaire contient 22 dents. La formule dentaire permanente de l'animal adulte compte 34 dents au total et est renforcée par la présence de molaires (Figure I.1) (Faye, 2011).

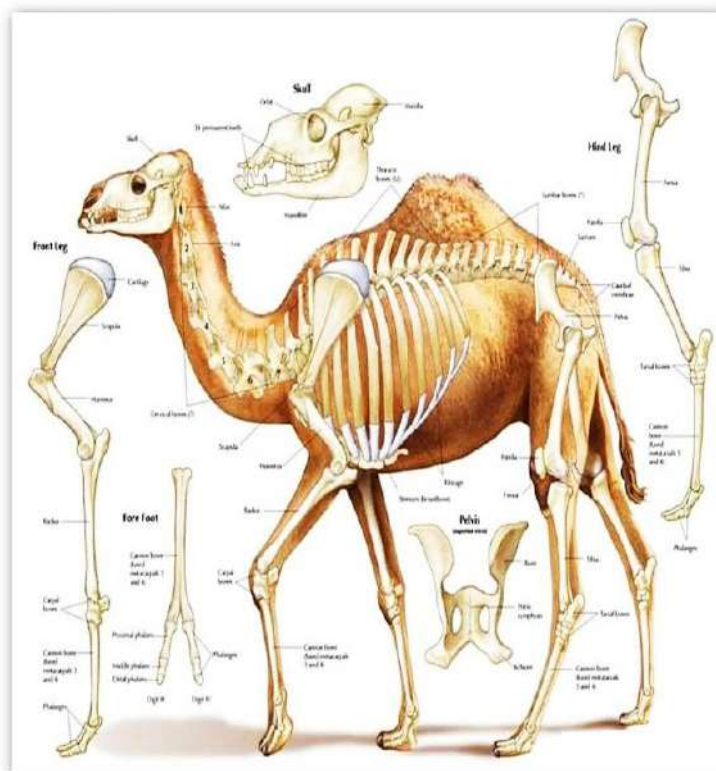


Figure I.1 L'anatomie du squelette de dromadaire .(El Allali et al., 2017).

skeleton = squelette ; skull = cr ne ; Orbit = Orbite ; Maxilla = Maxillaire ; Mandible = Mandibule ; 34 Permanent teeth = 34 Dents permanentes ; Atlas = Atlas ; Axis = Axe ; Thoracicbone (12) = Os thoracique (12) ; Lumbarbones (7) = Os lombaires (7) ; Sacrum = Sacrum ; Caudalvertebrae = Vert bres caudales ; Pelvis = atlas ; Patella = Rotule ; Femur = F mur ; Tibia = Tibia ; Tarsalbone = Os du tarse ; Cannon bone (fusedmetatarsals 3and 4 ) = Os de canon (m tatarsiens 3 et 4 fusionn s) ; ilium =ilion ; Pubis symphysis = Symphyse pubienne ; Ischium = Ischium ; Ribcage = Cage thoracique ; Sternum ( breastbone ) = Sternum (sternum) ; Cervical bones (7) = Os cervicaux (7) ; Scapula = Omoplate ; Humerus = Hum rus ; Radius = Rayon ; Carpalbones = OS du carpe ; Cannon bone ( fusedmetacarpals 3and4) = Os de canon (m tacarpiens fusionn s 3 et 4) ; Front Leg = Jambe avant ; Cartilage = Cartilage ; Phalanges = Phalanges ; Proximal phalanx = Phalange proximale ; Middle phalanx = Phalange moyenne ; Distal phalanx =Phalange distale ; Digit III

et IV = Chi re III et IV ; Fore foot = Avant-pied ; HindLeg = Patte post rieure ; Patella = Rotule .

## I.3 Zoom sur l'anatomie osseuse du dromadaire

### I.3.1 La t te

L'ost ologie compar e du cr ne comprend galement l' tude des vues dorsale, ventrale et lat rale.

#### I.3.1.1 Vue dorsale

##### a. R gion cr niale

Cette surface est entour e d'une cr te nucale notable (Cristanuchae) et pr sente un d veloppement important d'une cr te sagittale externe (Crista sagittales externat), qui d limite de part et d'autre une d pression temporale expansive et profonde (Figure a I.2). En cons quence, la cr te sagittale externe est plus pro minente chez les dromadaires que chez les chameaux de Bactriane et atteint son d veloppement maximal chez les adultes. 3 4 foramens temporaux peuvent tre vus dans la fosse temporale.

Les jeunes chameaux n'ont pas la cr te sagittale externe, qui est remplac e par une large zone plate ressemblant au planum pari tale et est d limit e lat ralement par deux li- n ale temporalis(Figure b I.2). En cons quence, le cr ne du b b chameau peut tre confondu avec celui d'autres esp ces car il semble di rent de celui du chameau adulte.Les deux lineae temporalis convergent progressivement au fur et mesure que l'animal vieillit, provoquant un r tr cissement cauda-rostral du planum, un d placement vers l'avant, et progressivement la formation et l' l vation de la cr te sagittale externe (Figure b,c I.2). Les deux lineae tem-

poralis divergent sous la suture pari to-frontale pour former la cr te sagittale externe, qui merge de la protub rance occipitale externe (Protuberantia occipitals externat). La cr te sagittale externe d veloppe une pro minence accrue avec le vieillissement et ressemble une v ritable colonne vert brale chez les hommes adultes (El Allali et al., 2017).

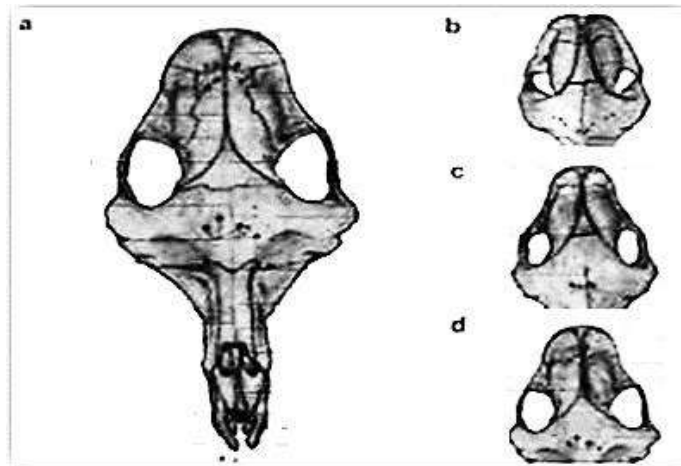


Figure I.2 Vue dorsale du cr ne de chameau

a : m lede 7 ans ; b : m lede 2 ans ; c : m lede 4 ans ; d : m lede 13 ans.

### b. R gion interm diaire

Cette r gion se situe entre la suture fronto-nasale et la suture pari to-frontale (Figure I.2. a). Il y a une concavit m diaire sur la surface frontale de l'os, et un ou deux foramens supraorbitaux principaux (Foramen supraorbitale) sont visibles de chaque c t de celui-ci, ainsi que plusieurs foramens auxiliaires. Chauveau (1879) a d'abord appel ces crat res les ouvertures des conduits intra-osseux, un sillon supra-orbitaire moins d velopp (sulcus supraorbitalis) que celui observ chez les porcs et les ruminants peut tre observ dans certains cr nes.

Cependant, le chameau de Bactriane n'a pas cette rainure. Une encoche est ajout e la marge supraorbitale, ou Margo supraorbitalis, cr ant l'Incisura Infratrochlearis.

(Figure I.2)(El Allali et al., 2017).

### c. Région faciale

Par rapport au cheval, la région faciale du crâne du chameau est moins développée. Le Dorsum Nasi est ancré devant l'orbite et a une concavité primaire de chaque côté de celle-ci. L'os nasal, ou Os nasale, est plus petit que d'habitude et semble plus long à l'extrémité qu'à la base. En conséquence, le chameau n'a pas le processus nasal rostral bien développé (Processus nasalis) que l'on trouve chez les chevaux, les petits ruminants et les porcs. Au lieu de cela, il existe deux processus microscopiques qui forment une minuscule concavité médiane avec l'opposé de l'autre côté, le processus latéral tant plus grand. Le processus médian est plus court (El Allali et al., 2017).

### I.3.1.2 Vue latérale

#### a. Région crâniale

La partie caudale de cette vue montre une grande et vaste fosse temporale et une protubérance externe crête sagittale comme décrit ci-dessus (Figure I.3).



Figure I.3 Vue latérale du crâne d'un mâle adulte (Ali, 2013).



b. R gion interm diaire

Cette r gion est galement appel e orbita le r gion comprenant la cavit orbitale et la fosse pt rygopalatine(Fosse pt rygopalatine). La cavit orbitale du chameau est principalement constitu par le frontal, le lacrymal (Os lacrimale),les os zygomatique et maxillaire (El Allali et al., 2017).

c. R gion faciale

Cette r gion est caract ris e par l'absencede la cr te faciale (Cristafacialis) et du tubercule facial(Tuber faciale) et l'existence d'une profonde d pression auc t m dio-rostral de chaque orbite (Figures I.2,I.3). Aubord dorso-lat ral de cette d pression, nous avons trouv un grand trou,qui n' tait pas bien d crite auparavant. Cette ouverture est situ e la jonction des voies lacrymale, frontale, nasale et maxillaire os (Figures I.2,I.3,I.4,I.5) et il s'ouvre galement dans le nezcavit (El Allali et al., 2017).

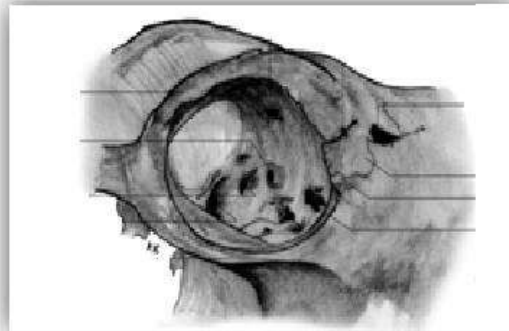


Figure I.4 Vue lat rale de la r gion orbitale du cr ne du dromadaire adulte.

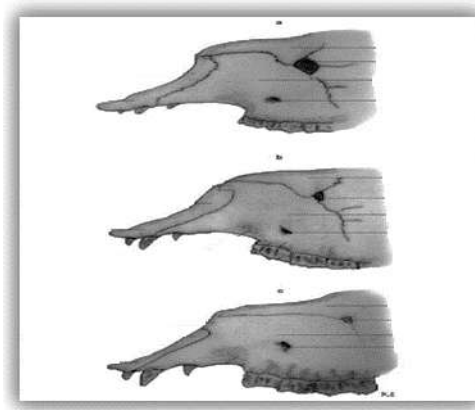


Figure I.5 D veloppement du processus nasal du maxillaire en fonction de l' ge chez le m le.

a : 2,5 ans ; b : 5 ans ; c : 9 ans.

### I.3.1.3 Vue ventrale

#### a. R gion cr niale

Cette zone se rapporte la partie caudale du cr ne et a che les bords du foramen magnum, qui sont s par s par les deux condyles occipitaux substantiels. (Condylus occipital). La ligne m diane n'est pas loin de ces condyles(EI Allali et al., 2017).

#### b. R gion interm diaire

Cette zone concerne l'ouverture naso-pharyng e des fosses nasales (Choanae). L'entr e des choanes n'est pas d limit e caudalement chez les chameaux, et l'os vomer le divise en deux compartiments. Ce dernier pousse plus caudalement et pr sente une forme sp ci que son extr mit (Figure I.6).

Celui-ci consiste en deux processus, un pais et un gros, qui recouvrent le corps basi-sph no de mais ne fusionnent pas avec lui(EI Allali et al., 2017).



Figure I.6 Détails de la région intermédiaire de la vue ventrale du crâne d'un mouton.

### c. Région faciale

Il présente une extension des choanes et est composé de quatre os ; l'os incisif, les processus palatin et alvéolaire de l'os palatin, les processus palatin et alvéolaire de l'os maxillaire et la partie horizontale de l'os palatin (Lamina horizontalis). Les lignes de fusion entre les deux os palatins et les deux os maxillaires produisent la suture palatine médiane (Sutura palatinamediana)(El Allali et al., 2017). Voir figure I.7.



Figure I.7 Vue ventrale du crâne d'un mouton adulte.

#### 1.3.1.4 Les mandibules

Le corps (Corpus mandibulae) et la branche montante sont deux plates parties liées de la mandibule (Figure I.8). Au début de la vie, la région incisive du corps s'unit son opposé pour former la symphyse mandibulaire, présente la naissance. Chez le dromadaire, ce dernier est surtout largi caudalement vers la deuxième dent pré molaire. La longueur totale de la mandibule est de 38 1,6 cm, la symphyse mesurant environ 13,2 0,8 cm.

En conséquence, c'est la symphyse la plus longue des mammifères domestiques. Chez le chameau de Bactriane, une longue symphyse mandibulaire de 10 12 cm de longueur également t not e. Trois incisives et une canine sont implantées de chaque côté de la région incisive (El Allali et al., 2017).

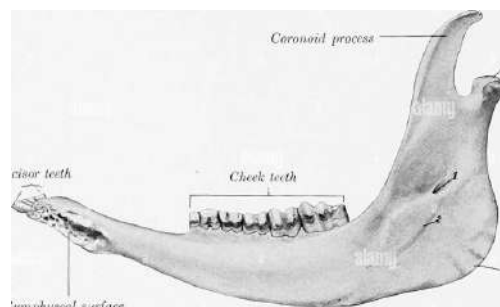


Figure I.8 Vue latérale de la mandibule gauche d'une femelle adulte.

#### 1.3.1.5 Os de la colonne vertébrale

La formule ordinaire des os de la colonne vertébrale est : 7 cervicales ; 12 dorsales ; 7 lombaires ; 5 sacrés ; 17 coccygiennes

##### a. Vertèbres cervicales

Représentent un tiers de la longueur totale de la colonne vertébrale ; Nous identifions deux parties principales : -Atlas : La région inférieure des ailes forme des arcs, dont les antérieurs, qui contiennent deux tubercules postérieurs pour stabiliser le muscle du cou, et

les postérieurs, qui portent leur tour des bosses de taille moyenne (Lesbre, 2022). (voir [figure I.9](#))



Figure I.9 Atlas(gauche : face dorsale, droite : face ventrale).

- Axis : la partie supérieure de l'articulation, tant mouss e et piquante ; Il ressemble une forme semi-cylindrique(Lesbre, 2022).(voir la gure [I.10](#))

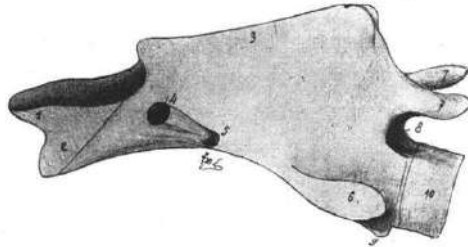


Figure I.10 Atlas(Axis).

#### b. Vert bre dorsale

Ils sont au nombre de 12 ; Sa longueur totale est de 45 cm partir de la longueur des vert bres cervicales, qui sont responsables de l'aplatissement lat ral du corps, un ensemble de contractions r sultant de l'enfoncement de la base transversale (Lesbre, 2022).

#### c. Vert bre lombaire

Repr sentent 7 paragraphes ; De courte longueur, ce sont les surfaces articulaires des corps vert braux (Forme convexe et forme plate) (Lesbre, 2022).

d. Sacres

Les chameaux se distinguent par la présence de trois trous au-dessus du sacrum et d'un groupe de trous sous le sacrum. Les deux premières de ces crêtes sont plus minces(Lesbre, 2022).

e- Coccygiennes

Le coccyx mesure de 50 à 55 cm de long ; Ils forment de petits cylindres creux situés entre les vertèbres au centre. Ces vertèbres se distinguent par leur clarté. Il s'estompe aussi avec le temps(Lesbre, 2022).

l.3.1.6 Os des côtes

Les chameaux ont 12 paires de côtes et 7 paires de museaux. Ces côtes sont larges et courbées ; Convexes et rapprochées, de longueur égale, jusqu'au dixième, où sa longueur est plus courte(Lesbre, 2022).

l.3.1.7 Os du sternum

En zoologie on l'appelle (l'appendice trachéal), et c'est un sternum massif et lourd représentant six sternbres augmentant en largeur du premier à la fin ; Il se termine par un cartilage aplati appelé "appendice xiphoïde"(Lesbre, 2022).

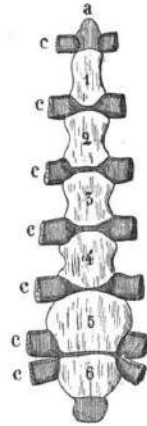


Figure I.11 Sternum.

### I.3.1.8 Os d'paule

La jonction breuse intramusculaire comprend ; Elle se caractérise par un tat non présent de la colonne acromiale ; Sa longueur est de 42 m et sa largeur de 27 m. L'g rement inclin vers l'avant et vers l'ext rieur(Lesbre, 2022).

### I.3.1.9 Os de bras et avant-bras

Il est considéré comme l'os le plus lourd ; il est plus long que chez les vaches ; Il est également très grand, aplati d'avant en arrière(Lesbre, 2022).

#### a. Radius

Représente une forme incurvée ; Concave de l'arrière et du bord extérieur. Par sa surface articulaire, il permet un centrage moyen, proportionné son développement avec la profondeur de l'humérus ; Il est considéré comme une cavité par une grande membrane synoviale s'étendant sur la suture sigmoïde du cubitus(Lesbre, 2022).

b. Cubitus

Il est classé comme le plus long de tous les os des membres ; On y identifie l'os double articulaire supérieur qui forme l'indentation sigmoïde contenant ces os, et on note la partie médiane du cubitus (la partie fortement atrophiée), formant une simple crête de radius de sorte qu'en trois points les deux os ne se rencontrent (Lesbre, 2022).

I.3.1.10 Os du la main

a. Carpe

Le poignet des camélidés est composé des os : le pisiforme ; pyramidale ; semi-circulaire ; scaphoïde irrégulier et Trapézodal (Lesbre, 2022). (voir la figure I.12)

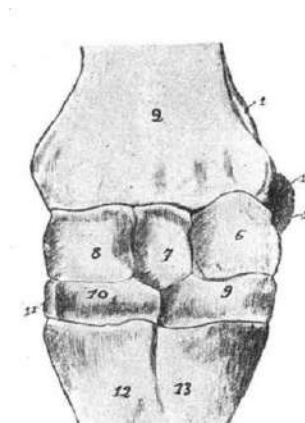


Figure I.12 Face dorsale de la carpe.

b. Métacarpe

L'os de canon mesure 4 m de long et 33 mm de diamètre (Lesbre, 2022).

c. Phalanges

ressemblent aux phalanges d'un cheval ; Le premier mesure 97 mm de long et 26 mm de diamètre au centre. Surtout restreint dans les parties médianes et large aux



extr mit s (Lesbre, 2022).(voir la gure I.13)

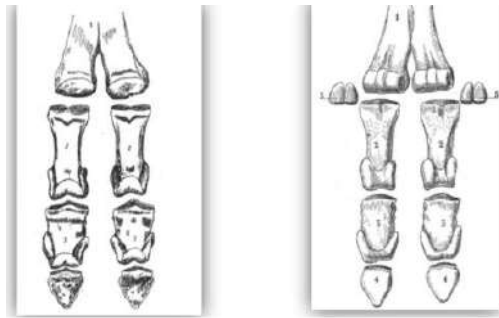


Figure I.13 Extr mit digite (gauche : face dorsale, droite :face palmaire).

### I.3.1.11 Classi cation des os

Nous en num rons quatre types (Hall, 2015).

#### a. OS plats : l'exemple de l'os de scapula

(voir la gure I.14)



Figure I.14 Extr mit digite Os du scapula.

#### b. Os courts : comme Les os du pied



Figure I.15 Extrémité digitale (Les os du pied).

c. Os longs : tel que le tibia et le fémur



Figure I.16 Extrémité digitale Tibia. fémur

d. Os irréguliers : l'exemple des os vertébraux



Figure I.17 Extrémité digitale (Os vertébral).

### I.3.2 organisation structurale et biochimique des os

#### I.3.2.1 organisation biochimique des os

Les os sont constitu s des deux types de matrices

##### a. La matrice organique

La matrice organique est compos e principalement de collag ne de type I. C'est la prot ine la plus abondante dans le corps humain. Le collag ne est une prot ine breuse et rigide qui, strati e, dispos e parall lement les unes aux autres, assure les propri t s lastiques et la r sistance la traction du tissu osseux (Figure I.18)(Boyer, 2014).

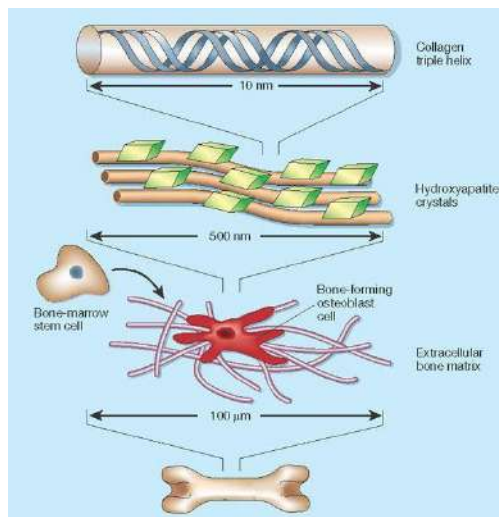


Figure I.18 Les di rentes chelles d'organisation de l'os.

##### b. La matrice min rale

La partie min rale de l'os repr sente environ 65 % de son poids total. La phase cristalline de cette partie min rale s'apparente de l'hydroxyapatite  $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ , not e HA.

Ces cristaux, qui prennent la forme de minuscules hexagones, s'attachent aux bres de collag ne de la matrice organique pour maintenir la rigidit des os. Les ions  $Ca^{2+}$  et  $PO_4^{3-}$  du tissu osseux sont des acteurs majeurs dans la r gulation du m tabolisme phosphocalcique de l'organisme. De multiples replacements chimiques apparaissent dans l'apatite osseuse : par exemple, des ions carbonates la place des ions phosphates ou hydroxydes ; ou encore la pr sence des ions magn sium ou sodium en substitution des ions calcium (Boyer, 2014).

Le tableau I.1 montrant les min raux et les substances organiques pr sentes dans les os et leur fonction dans l'organisme (Hall, 2015).

Table I.1 Aper ue sur la composition totale des os

Substance	Pourcentage	fonction
Carbonate de calcium et phosphate de calcium	60 70 du poids de l'os	Ces substances donnent l'os sa duret et sont la pression qui d termine sa r sistance
Collag ne	90% du poids des prot ines osseuses	Donne de la souplesse l'os et contribue sa r silience
$H_2O$	25 30 % du poids osseux total	Contributeur majeur la solidit des os
Hydroxyapatite (HA)(min ral)	65% du poids de l'os	Des acteurs majeurs dans la r gulation du m tabolisme phosphocalcique de l'organisme

Boyer(2014) a d clar que les tissus osseux sont constitu s des cellules class es en 2 types ; les cellules ost oformatrices ; les cellules ost or sorbantes. Le tableau 02 d nir les deux cat gories des cellules osseuses Tableau I.2 Caract risation des di rents types des cellules osseuses.

Table I.2 Caract risation des di rents types des cellules osseuses

cat gorie	nom de la cellule	Origine	Fonction
Les cellules os- t oformatrices	Les ost oblastes	M senchymateuse	s cr tant le collag ne type 1 pondent leur dif- f renciation ; s cr tant la phosphatase alcaline
Les cellules os- t oformatrices	Les ost ocytes	M senchymateuse	r seau fonctionnel per- met de sentir les ten- sions m caniques appli- qu es sur les os et de s - cr ter les di rents fac- teurs qui vont activer ou inhiber les ost oblastes et les cellules bordantes
Les cellules os- t oformatrices	Les cellules bor- dantes	M senchymateuse	IL prot ge le tissu os- seux, et galement de le remodeler
Les cellules os- t or sorbantes	Les ost oclastes	D'origine h mato- po tique	cellules capables de r - sorber la matrice ex- tracellulaire

Les cellules s'organisent en fonction de leurs r les dans les os comme il est montr dans la Figure I.19

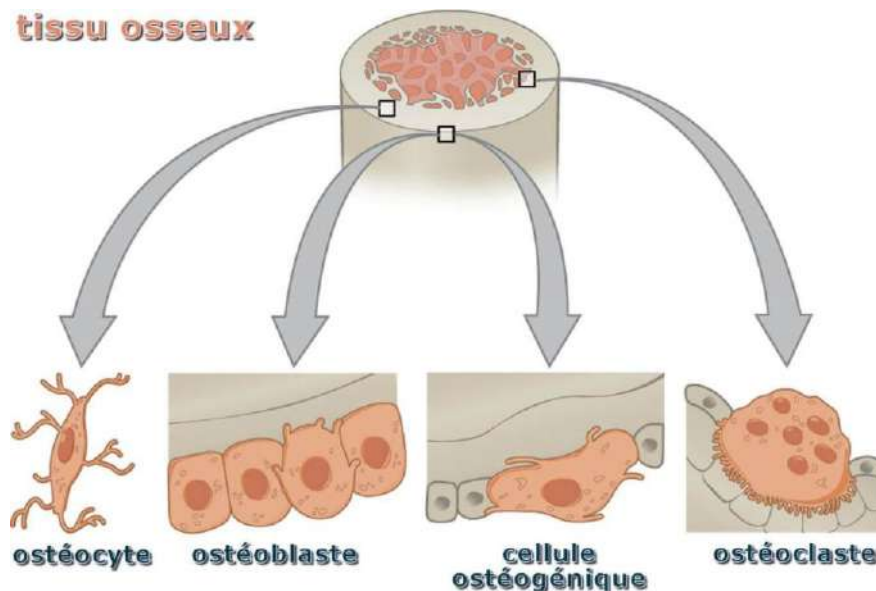


Figure I.19 Organisation structurelle des tissus osseux.

### I.3.3 Développement de la structure et la composition chimique des os en fonction de l'âge

La composition osseuse varie en fonction de l'âge, cause de la diminution progressive de la densité minérale de ces tissus augmente chez les animaux âgés. Ces changements diffèrent entre les mâles et femelles (Hochberg et al., 2021).

Au cours de la différenciation des cellules osseuses, des brilles de collagène, des protoglycanes et d'autres molécules complexes sont synthétisés ; Cette synthèse est soutenue par la phosphatase alcaline et la transformation chimique des protoglycanes (Meunier et al., 2008).

Le collagène donne l'élasticité et la rigidité à la structure osseuse, les protéoglycanes ont comparativement avec l'âge, on constate une diminution de la matière organique (collagène de type I), ce qui justifie l'éventualité d'une exposition des animaux âgés ostéopores. Quant aux minéraux, ils sont de même densité dans les os de tout âge. (Boskey et Coleman, 2010).

# Chapitre II

## Le collagène - généralité, description et caractéristiques

### II.1 Le collagène et la matrice extracellulaire, quelle relation ?

Dans les organismes multicellulaires, tous les composants qui entourent les cellules sont rassemblés dans une matrice appelée matrice extracellulaire (MEC) (Sherwood et al., 2016).

La matrice extracellulaire est principalement constituée de molécules de collagène et d'élastine, qui lui confèrent respectivement sa rigidité et son élasticité. Mais elle contient également d'autres molécules dont la fibrilline, la bronectine et la laminine ou protéoglycane (PGs) servent de renfort aux deux premières protéines et permettent également de relier les cellules entre elles (Bahlouli et Zitouni, 2015).

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE- GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

---

Donc La MEC est un réseau de molécules dont la synthèse assure à la fois la cohésion d'un tissu et la transmission de nombreuses communications intercellulaires (Atlan, 2016).

Outre l'aspect structural de ciment cellulaire, les MEC jouent un rôle actif dans l'interaction des cellules entre elles. Elles servent à stocker les protéines et les facteurs de croissance qui seraient libérés en cas de besoin (De Jaeger et Cherin, 2012) ou encore guider des cellules mobiles (Gourrier et Reiche, 2015).

Les cellules du tissu conjonctif vivent dans un milieu riche en eau qui contient de petites molécules dispersées (sels minéraux, sucres, polypeptides), ainsi que de grandes macromolécules protéiques. Certaines d'entre elles sont organisées en fibres facilement visibles au microscope à l'aide d'une source lumineuse, tandis que d'autres sont trop petites pour être observées (Cribier, 2023). Les macromolécules sont divisées en deux grandes catégories :

- Les brillantes avec le collagène, l'élastine et les brillines.
- Les non brillantes avec les protéoglycanes anioniques (non sulfatés) comme le hyaluronane, et les protéoglycanes sulfatés comme le chondrotine-sulfate, le kératine-sulfate, et l'héparane-sulfate (Boete, 2022).

C'est grâce à cette trame de connexions que se réalise la vie cellulaire (adhésion, morphogénèse, apoptose...) et que se forment les caractéristiques tissulaires (solidité, souplesse, transparence). Il est nécessaire de constater quel point des tissus aux propriétés aussi diverses que l'os, la peau, la corne ou encore les tendons sont structurés à partir des mêmes matériaux de base [II.1](#) et notamment à partir des collagènes (Gourrier et Reiche, 2015).



## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

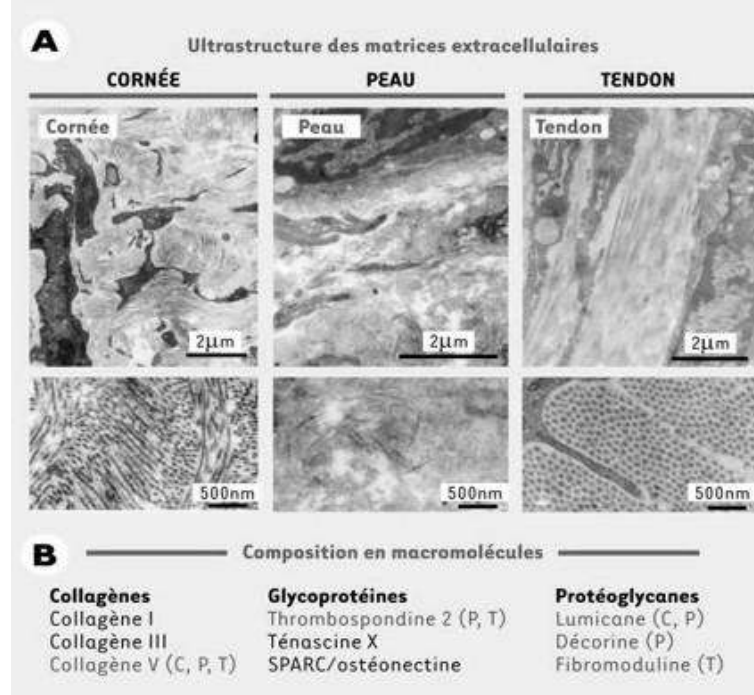


Figure II.1 Ultrastructure des matrices extracellulaires et composition en macromolécules de différents tissus (Fichard et al., 2003).

A. Organisation du réseau collagénique adaptée à la fonction des tissus : la cornée, où les fibres s'agencent en un contre-plaqué extrêmement régulier dont dépend la transparence de ce tissu ; la peau, où les fibres de collagènes, de section hétérogène, ne présentent aucune direction privilégiée et sont garantes de la cohésion de ce tissu particulièrement lastique et déformable ; le tendon, où les faisceaux de fibres, parallèles les uns aux autres, forment de solides câbles capables de résister aux forces de tensions considérables que subit ce tissu.

B. Composants matriciels présents dans quelques-uns des tissus cibles de l'EDS de type classique : la cornée (C), la peau (P) et le tendon (T). En vert, molécules dont l'absence totale ou une mutation provoquée affectent en priorité l'un des tissus présents (d'après les connaissances actuelles [3,26-30,33]).

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE- GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

---

La structure du réseau de collagène détermine la fonction et l'unicité du tissu. La corne, où les fibres s'organisent en un contre-plaqué incroyablement régulier, permet la transparence de ce tissu. L'emplacement des fibres de collagène dans la peau et le tendon, n'ont pas de directions privilégiées, et ont d'autres qualités qui assurent la cohésion de ce tissu particulièrement lastique et déformable. Les fibres du tendon sont parallèles les unes aux autres, formant des câbles solides capables de résister aux importantes pressions de tension auxquelles ce tissu est soumis (Portier, 2016).

Dans notre étude bibliographique, nous nous intéressons au collagène qui est le composant majeur de la matrice extracellulaire. Nous nous focalisons sur ses caractéristiques structurelles, mécaniques et ses rôles biologiques et biochimiques ainsi que ses applications dans différents domaines.

### II.2 Définition du collagène

Le terme "collagène" a été utilisé pour la première fois par les histologistes pour désigner le composant essentiel des tissus conjonctifs au XIX<sup>e</sup> siècle. Il s'agit d'un néologisme des mots latin "colle" et "gène", qui assurent ensemble la cohésion (Abdessater et al., 2022).

Le collagène est une glycoprotéine insoluble qui constitue une catégorie distincte des macromolécules structurelles de la matrice extracellulaire et des tissus conjonctifs. C'est la protéine la plus abondante du règne animal et l'une des plus remarquables chez les vertébrés, il représente 30 % des protéines de l'organisme et 80 % du poids des tissus conjonctifs. Pratiquement tous les tissus (peau, tendons, cartilages, os, dents, membranes, corne, vaisseaux de toutes sortes) en contiennent (Lekshmi et Kurup, 2019).

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE- GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

---

Le matériau du collagène possède une propriété unique de résister à l'érosion que l'acier (une brique de 1 mm de diamètre peut supporter 10 kg) (Deneufchatel, 2015).

Les fibres de collagène sont très bien identifiables au microscope d'après leurs rayures transversales, leur coloration histologique, leur capacité de gonflement et de contraction soudaine qu'elles subissent à une température de 60 °C. À cette température, une partie du collagène se dissout dans l'eau pour devenir gélatine ou matière visqueuse (Rony et al. 2021).

Le collagène a deux fonctions biologiques dans l'organisme :

1- Avec l'élastine et les glycoprotéines, il contribue à la cohésion des tissus et des organes.

2- D'autre part, le collagène confère des propriétés d'hydratation, de résistance, d'élasticité, d'insensibilité et d'intégrité des organes. Par exemple, chez le scorbut, où une carence en vitamine C empêche la production de la triple hélice de collagène, la gaine de collagène qui entoure les vaisseaux sanguins est fragile et porteuse de nombreuses hémorragies.

Les fibroblastes (cellules spécialisées dans la synthèse des protéines de la matrice extracellulaire), qui produiront ensuite des fibres jusqu'à ce que l'abrasion soit réparée, sont actifs lorsque la tension sur les fibres de collagène diminue lors d'un accouplement (Gorisse et al., 2016).

### II.3 Structure du collagène

Le collagène, constitue une superfamille, Chaque molécule de collagène est constituée de trois chaînes de polypeptides interconnectées (Figure II.2), appelées chaînes alpha pour créer un triple hélicoptère (Bonnesoeur, 2020).

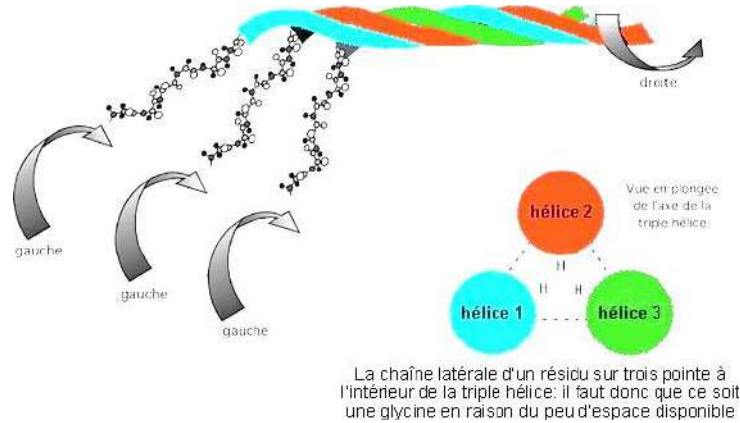


Figure II.2 Schéma d'une molécule de collagène (Bounebbal et Kirdi, 2022).

### II.3.1 Structure primaire

Chaque chaîne alpha présente une séquence primaire caractérisée par une succession de triplets (Gly-Xaa-Yaa)  $n$ , où une glycine (Gly) est insérée tous les 3 acides aminés, tandis que la proline (pro) est fréquente en position Xaa et sa forme hydroxylée, l'hydroxyproline (Hyp) en position Yaa (Figure II.2 (Vacheret, 2015)). La présence d'hydroxyproline est essentielle pour stabiliser la triple hélice et tout fait caractéristique des molécules de collagène (Tidu, 2016).

La structure primaire de la chaîne alpha du collagène type I est composée de la séquence suivante en acide aminé du 13<sup>me</sup> au 66<sup>me</sup> :

...Gly-Pro-Met-Gly-Pro-Ser-Gly-Pro-Arg-Gly-Leu-Hyp-Gly-Pro-Hyp-Gly-Ala-Hyp-Gly-Pro-Gln-Gly-Phe-Gln-Gly-Pro-Hyp-Gly-Glu-Hyp-Gly-Glu-Hyp-Gly-Ala-Ser-Gly-Pro-Met-Gly-Pro-Arg-Gly-Pro-Hyp-Gly-Pro-Hyp-Gly-Lys-Asn-Gly-Asp-Asp...

### II.3.2 Structure secondaire

L'hélice du collagène est une hélice de 1,5 rayon qui tourne gauche dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Il s'agit d'une structure hélicoïdale de polyproline II qui a une teneur élevée en acides aminés pour la stabiliser. On peut la comparer à l'hélice droite, qui a une hélice droite d'un diamètre de 2,24 mètres, s'élève de 1,53 mètres par résidu et compte 3,6 résidus par tour (Lassouedet al.,2019).

La conformation des triples hélices du collagène résulte de la forte attraction stérique entre les cycles de pyrrolidine des résidus de proline. Une autre différence avec l'hélice droite est qu'il n'y a pas de ponts hydrogène stabilisateurs entre les restes d'un seul hélice pliable.

Trois chaînes se rejoignent pour former une hélice droite d'un rayon de 2,88 et d'une circonférence de 85,51 (Terrien, 2015)(Figure II.3). La chaîne latérale de la glycine est constituée d'un atome singulier d'hydrogène toujours tourné vers l'intérieur.

La triple hélice est un assemblage très compact puisque les résidus des autres acides aminés pointent vers l'extérieur. Les liaisons hydrogène entre les résidus glycines d'une chaîne et les résidus des autres acides aminés pointent vers l'extérieur. La stabilité de la triple hélice est assurée par les liaisons hydrogènes entre les résidus glycines d'une chaîne et les groupements carboxyles d'une autre, et est encore renforcée par l'hydroxylation des prolines grâce à une électrostatique (Evenou, 2017).

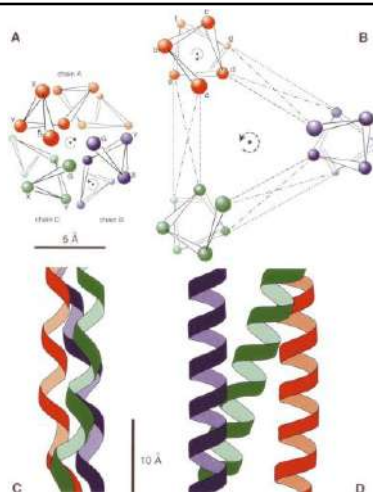


Figure II.3 Représentation schématique de l'organisation structurale du collagène.

Section transverse (A ; B) et longitudinale (C ; D) de la triple hélice du collagène (trois chaînes alpha) (A ; C) et d'une triple hélice composée de trois hélices alpha (B ; D) tracées la même échelle (Gonçalves, 2017).

### II.3.3 Structure tertiaire

La structure tertiaire (molécule de tropocollagène) est formée par l'enroulement de trois chaînes alpha en une superhélice droite avec un pas de 8,6 nm (Eklouh-Molinier, 2015).

Dans la molécule tropocollagène, toutes les trois chaînes sont maintenues côte à côte par des liaisons hydrogènes entre les chaînes voisines. Ces liaisons peuvent se produire seulement lorsque toutes les trois chaînes se rapprochent les unes des autres ; dans le cas du collagène, ceci est rendu possible par la présence de glycine toutes les troisièmes positions, c'est-à-dire un acide aminé sans chaîne voisine. La projection simplifiée de la structure tropocollagène le long de l'axe principale de la triple hélice est illustrée dans la figure II.4.

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRAL, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

---

Chacune des trois chaînes (A, B, C), se lie la chaîne voisine avec un atome alpha-carbonique allant de l'extérieur vers le centre du triple-faisceau, tandis que les hydrogènes des carbones-alpha de la glycine sont positionnés près du centre.

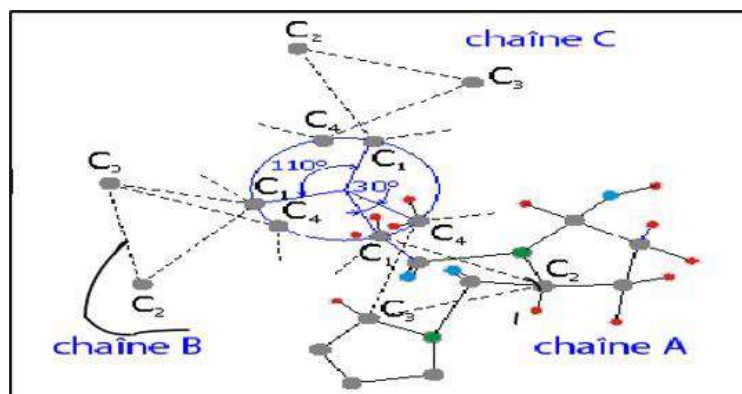


Figure II.4 Projection simplifiée de la disposition des atomes (Dumonet Luft, 2020).

### II.3.4 Structure quaternaire

Le domaine de la triple hélice est utilisé pour construire des collagènes brillaires. Ces brins vont se rejoindre pour former une fibre d'ordre supérieur (500 nm). Ces grosses fibres ont le potentiel de se transformer en une fibre de collagène de 1-10 μm. Le collagène, comme toutes les protéines de l'organisme se renouvellent en permanence. Sa durée de survie dans le derme est estimée deux mois (Vincourt, 2022).

## II.4 Organisation biochimique du collagène

La composition en acides aminés du collagène est unique. Ainsi, environ un tiers de ses résidus - 330 moles pour 1 000 moles d'acides aminés - sont des glycines (Gly). En effet, le seul composant de sa chaîne latérale est un atome d'hydrogène.

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRAL, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

Il est disposé dans la molécule de façon tout à fait régulière, c'est-à-dire qu'il compose chaque troisième acide aminé dans l'ordre des chaînes individuelles (Henri, 2017).

Cette disposition permet une liaison en dents de scie entre les chaînes polypeptidiques dans une triple hélice et favorise le regroupement et l'entrelacement des chaînes.

Entre 15 et 30 % de proline (Pro) et de 4-hydroxyproline (Hyp) composent le collagène (Larder, 2022). La chaîne latérale de la proline revient sur ses pas et se rapproche de son groupe aminé : La chaîne latérale est plus longue que l'axe principal de la chaîne polypeptidique.

Près de 10 % des acides aminés de la molécule de collagène sont de l'hydroxyproline.

La concentration de ce dernier est environ cinq fois plus élevée dans le collagène que dans toute autre protéine (la réticuline, qui contient également une quantité importante d'hydroxyproline, est généralement considérée comme un collagène de type III) (Roudot-Algaron, 2015).

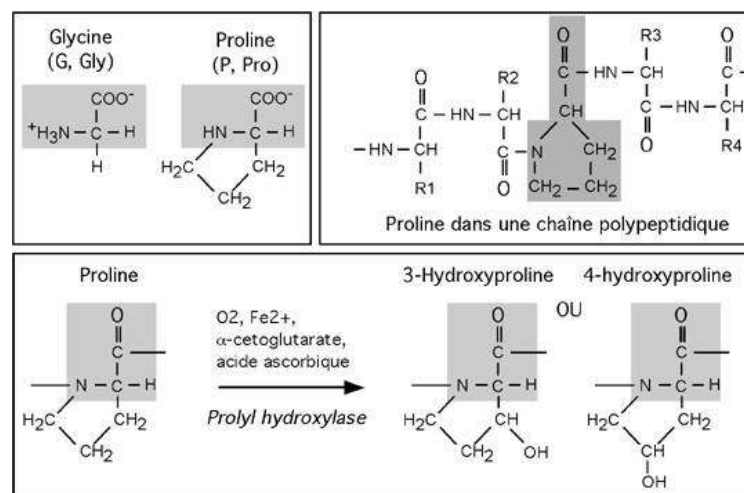


Figure II.5 Structure des trois acides aminés majoritaires de la triple hélice du collagène : Gly, Pro et Hyp.



## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRAL, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

Il est important de garder l'esprit que même si les trois chaînes polypeptidiques qui composent la molécule de collagène sont toutes de type I, leurs séquences primaires varient (Tableau 01).

$\alpha_2$  et  $\alpha_3$  Tableau 03 Composition en acides aminés des chaînes de types I,  $\alpha_2$  et  $\alpha_3$  constituantes du collagène de la peau (résidus / 1000 résidus totaux) (Germain, D. P. 2017).

amino-acide	Chaîne $\alpha$ , type et référence								
	Type I*		Type II**	Type III***	Type IV****		Type V*****		
	$\alpha_1(I)$	$\alpha_2$	$\alpha_1(II)$	$\alpha_1(III)$	$\alpha_1(I)$	$\alpha_2(IV)$	$\alpha_1(V)$	$\alpha_2(V)$	
hydroxy proline	3-	0.9	0.8	2.2	-	5	4	3	5
hydroxy proline	4-	102	100	103	125	116	98	106	110
acide aspartique		42	48	42	42	61	58	50	49
thréonine		19	19	26	13	22	42	29	21
sérine		29	29	26	39	64	55	34	23
acide glutamique		78	67	87	71	104	100	89	100
proline		118	118	115	107	53	69	107	130
glycine		330	329	329	350	277	252	331	332
alanine		129	102	104	96	38	50	54	39
valine		14	28	16	14	37	41	27	17
méthionine		8.5	6.0	11	8	7	10	11	9

(\*) D'après J. M. Lane et C. Weiss. Arthritis, Rheumatism, 18, 553, 1975, déterminé sur os (type I) et cartilage (type II) de poulet.  
 (\*\*\*) Type III de tissu humain, d'après Chung et Miller, Science, 183, 1200, 1974  
 (\*\*\*\*) Type IV d'après P G Robey et G R Martin, Collagen Research, 1, 27, 1981  
 (\*\*\*\*\*) Type V de placenta d'après R. K. Rhodes et EJ Miller. Biochemistry, 17, 3442, 1978

## II.5 Classification et types de collagènes

Il existe plusieurs familles de molécules de collagène, chacune présentant un ensemble unique de caractéristiques moléculaires, d'arrangements macromoléculaires et de fonctionnalités (Tableau 02). Il existe actuellement 23 variétés différentes de collagènes, numérotées de I à XXIII assemblées à partir de 41 chaînes génétiquement différentes (Heidet et al., 2016).

Leur caractéristique commune est l'existence d'un domaine en triple hélice qui leur confère une qualité inextensible et leur permet de résister à la traction (Young et al., 2015).

La différence entre les types de collagène se fait au niveau des domaines non collagéniques tel que les groupes carboxyles qui assurent la stabilité de la triple hélice et sont encore renforcés par l'hydroxylation des prolines en raison d'un effet électrochimique l'état stable (Ben Bouguerra et al., 2017).

CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

Tableau 04. Les différentes familles du collagène.

Collagen Family	Collagen type	Genes	Supramolecular organization in tissues (where known)
Collagènes fibrillaires	I	COL1A1	Fibrils in tendon, bone, skin, cornea and
		COL1A2	blood vessel walls
	II	COL2A1	Fibrils in cartilage
	III	COL3A1	Forms heterotypic fibrils with type I collagen
		COL5A1	
V	COL5A2	Forms heterotypic fibrils with type I	
		COL5A3	
Collagènes d'ancrage aux pithéliums	VII	COL7A1	Forms anchoring fibrils in skin at the dermal/epidermal junction (basement membrane)
Collagènes partiellement identifiés	XV	COL15A1	Specialized basement membranes, cleaved to produce antiangiogenic fragment (restin)
	XVIII	COL18A1	Cleaved to produce antiangiogenic fragment (endostatin)

## II.6 Organisation macromoléculaire des collagènes

On distingue deux superfamilles :

- Les collagènes brillaires : Il existe de nombreux types d'organisation de collagènes brillaires, dont on peut donner quelques exemples : Dans la corne, la taille des brilles est maintenue environ 35 nm et celles-ci sont organisées en lamelles dans les quelles toutes les brilles ont une même direction (Buckley et al., 2017).

La direction des brilles tourne d'environ 90° entre chaque lamelle et reste toujours parallèle à la surface de la corne, à la manière d'un contreplaqué (Figure II.6 (a)). Cette organisation très particulière est une des raisons de la transparence de la corne.

Dans le derme, les fibres ont des diamètres variables, ne sont pas parallèles entre elles et ne sont pas rectilignes. L'ensemble des fibres va former une sorte de pelote de fils qui va donner la peau ses propriétés de résistance à la tension mais aussi son pouvoir s'étirer (Ushiki, 2020) (Figure II.6 (b)).

Dans l'aorte, les fibres de collagène de l'adventice ne sont pas cylindriques, mais ressemblent des rubans qui entourent le média. Le collagène de l'adventice est là pour soutenir les cellules musculaires lisses et leur offrir une structure rigide sur laquelle s'appuyer (Ushiki, 2020) (Figure II.6(c)).

Dans les tendons, les fibres sont parallèles entre elles et, un âge donné, ont des diamètres assez proches. Toutefois, leur diamètre varie avec l'âge du tendon. Chez la souris, 4 jours les fibres font 64 ± 12 nm, 10 jours 102 ± 37 nm, 1 mois 195 ± 62 nm et 3 mois 223 ± 82 nm (Yamamoto et al., 2018) (Figure II.6 (d)).

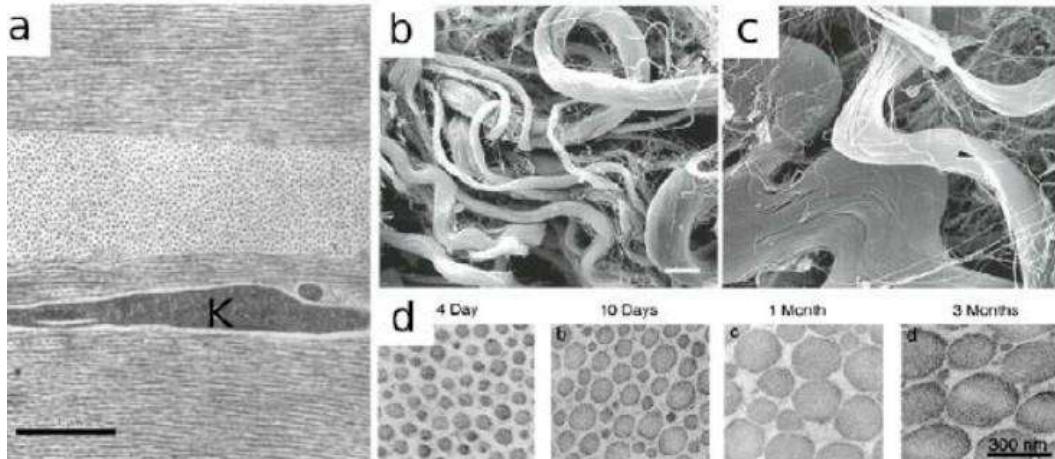


Figure II.6 Organisation des brilles dans différents organes.

(a) Image MET du stroma cornéen humain : toutes les brilles ont la même direction dans une même lamelle et un diamètre constant d'environ 35 nm (K = keratocyte, barre d'échelle = 1 µm) (Vincourt, 2022).

(b) Image SEM des brilles de collagène dans le derme humain : les brilles ont des diamètres très variables (barre d'échelle 5 µm). (c) Image SEM des brilles de collagène de l'adventice d'une aorte de rat : les brilles sont enroulées (b-c) (d) Image TEM de la structure des brilles pendant le développement (4 jours, 10 jours, 1 mois, 3 mois) d'un tendon de souris : les brilles sont cylindriques et leur diamètre augmente avec le temps (barre d'échelle 300 nm) (Ushiki, 2020). - Les collagènes non brillaires : Les domaines non collagéniques, ou ceux qui ne semblent pas être dans une hélice triple, empêchent le développement de brilles dans d'autres formes de collagène : En raison de ses domaines non collagéniques, le collagène IV s'assemble pour créer une structure du réseau qui sera ensuite stabilisée par des connexions entre les parties coopérantes (Figure II.7).

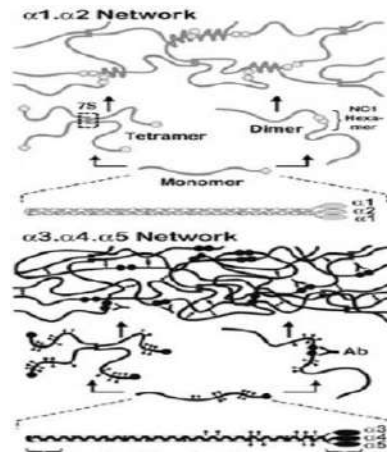


Figure II.7 Formation des membranes basales à partir du collagène IV.

Trois chaînes  $\alpha$  du collagène IV s'assemblent pour former une triple hélice. La structure supramoléculaire est formée par dimérisation des domaines C terminaux et par tétramérisation des domaines N terminaux. Lors de son développement, la membrane basale glomérulaire est d'abord composée d'un réseau  $\alpha1(\alpha2)$  (IV) qui est ensuite remplacé par un réseau possédant plus de ponts covalents  $\alpha3(\alpha4(\alpha5)$  (IV) et qui est aussi caractérisé par des boucles et des enroulements superhéliciaux (Boutaud et Gondran, 2022).

Pour connecter la membrane basale entre l'épiderme et le derme aux collagènes fibrillaires du derme, les collagènes IV et VII formeront des complexes, ou plaques d'ancrage (Boutaud et Gondran, 2022). Les collagènes transmembranaires ont un domaine extracellulaire composé de nombreux domaines triple-héliques, un domaine transmembrane court et un domaine intracellulaire N-terminal. Ces collagènes fonctionnent pour relier les cellules les unes aux autres et la membrane basale. Lorsque leur partie extracellulaire est séparée de leur partie intracellulaire par l'action des enzymes, elles fonctionnent comme des protéines de signalisation (Boutaud et Gondran, 2022).

## II.7 Synthèse et Assemblage du collagène

Le nombre d'exons dans les gènes qui codent pour le collagène varie, allant de 3 à 17, et ils sont séparés par des introns. Pour un gène donné, divers emplacements de démarrage de la transcription ou même l'intronage alternatif peuvent entraîner l'émergence de différentes protéines (Badara, 2016).

Pour le domaine hélicoïdal du collagène, chaque exon résulte de la duplication d'un exon primaire de 54 pb, qui code pour 18 acides aminés, ou environ 6 tours hélicoïdaux. Certains exons ont des multiples de 54 pb (108 pb = 2\*54 ou 162 pb = 3\*54, par exemple), tandis que d'autres sont perdus (gly X-X = 45 pb)(Badara, 2016).

Deux chaînes d'acides aminés (chaînes 1 et 2) forment la molécule de collagène de type I. Les codes COL1A1 pour la chaîne  $\alpha 1$  et Col1A2 pour la chaîne  $\alpha 2$ , faisant un total de deux gènes qui codent pour le collagène de type I. Les deux gènes pour cela sont situés sur deux surfaces différentes (Badara, 2016).

Les chromosomes ont des structures différentes, mais ils sont très similaires les uns aux autres et aux structures d'autres gènes qui codent pour le collagène triple(Figure II.8)(Badara, 2016).

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRAL, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

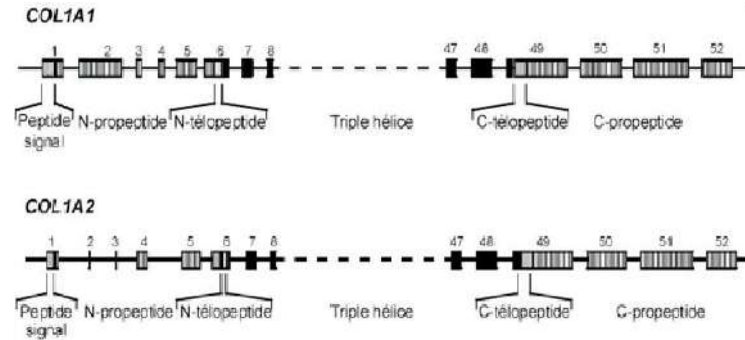


Figure II.8 Représentation schématique, des gènes codants pour les chaînes  $\alpha 1$  et  $\alpha 2$  du collagène de type I (Saby, 2016).

Chaque chaîne polypeptidique va subir des hydroxylations et des glycosylations (Leblanc, 2022). Au niveau des ribosomes, les chaînes alpha sont synthétisées dans la lumière du réticulum endoplasmique (translocation) où elles vont subir d'importantes modifications post-traductionnelles (ces modifications se produisent sur les résidus de proline et de lysine). Le peptide signal attaché au propeptide N-terminal, dont la nature n'est pas connue ce jour, est clivé. Certains résidus prolines et lysines du polypeptide vont être hydrolysés par la prolyl-4-hydroxylase (P-4-H) en 4-hydroxyproline et la lysylhydroxylase en hydroxylysine.

Le propeptide C-terminal est modifié par N-glycosylation et certaines hydroxylysines. Trois chaînes alpha seront alignées par divers changements post-transcriptionnels et le développement de ponts de disulfure entre les propeptides leur C-terminaux s'élargit comme une fermeture claire vers le N-terminus (Sharma et al., 2017).

Les collagènes triples, connus sous le nom de procollagène ce stade, sont ensuite emballés dans des vésicules dans l'appareil de Golgi et excrétés à l'extérieur de la cellule. Lorsque les trois molécules qui composent la molécule sont les mêmes, on dit qu'elle est homotrimerique, tandis qu'une molécule formée de chaînes différentes est dite hétérotrimerique (Djeddi et Meftah, 2017).



## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRAL, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

L'assemblage du collagène suit la procédure décrite par (Buckley et al., 2017) (Figure II.9). Les peptidases de procollagène sont les enzymes qui coupent les termes C et N des propeptides après l'exocytose. Ces derniers libèrent une hélice triple mature ; la molécule est ensuite, double le tropocollagène. Le phénomène de la fibrillogenèse est aggravé par une diminution de la solubilité causée par la perte de peptides terminaux.

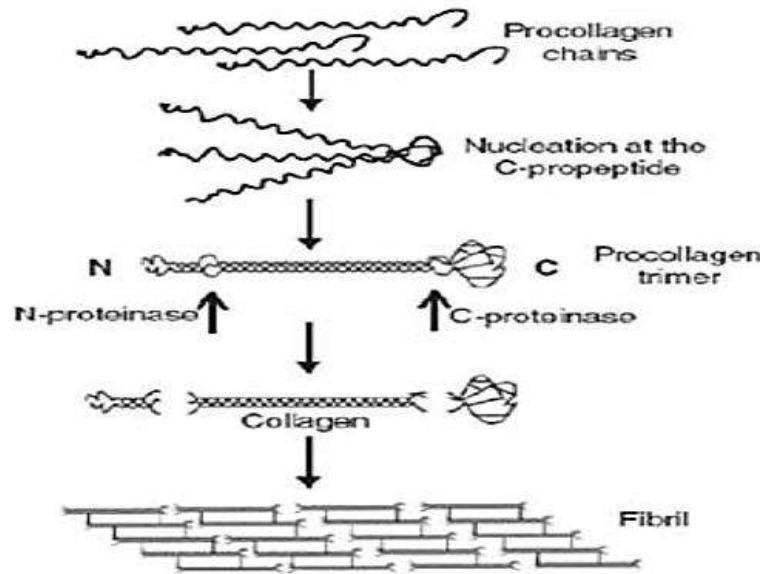


Figure II.9 Processus d'assemblage des brilles de collagène.

### II.8 Anomalies du collagène : Origine de plusieurs maladies

Aujourd'hui, un groupe d'au moins dix maladies distinctes causées par des anomalies dans le collagène sont connues. Les syndromes Ehlers-Danlos sont tous caractérisés par une hyperextensibilité de la peau, des articulations et des ligaments liés à une perte de la rigidité de la peau (Benlaldj et al., 2021).

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

---

Avec cette condition, la peau est délicate, se déchire facilement (même de petits traumatismes), en particulier au niveau articulaire, et même la moindre collision peut facilement entraîner des tourdissements. Des mutations affectant le collagène de type I, conduisent généralement à une ostéogenèse imparfaite (*osteogenesis imperfecta*) (Benlaldj et al., 2021).

Les manifestations cliniques de ces maladies sont très variées mais peuvent aller d'une forme légère à la naissance des formes sévères entraînant un handicap profond chez la personne atteinte. Le simple changement d'un acide aminé peut aussi modifier profondément la structure de la molécule de collagène ou le mécanisme de formation des brilles. Le remplacement de la glycine centrale par une alanine dans chacune des chaînes polypeptidiques de la molécule de collagène provoque une distorsion de la triple hélice de collagène qui entraîne des anomalies de structure de la molécule (Benlaldj et al., 2021).

### II.9 Solubilité du collagène

Toute l'hydrolyse d'une protéine entraîne la libération de ses parties constitutives en raison de la perturbation de tous les liens peptidiques.

Dans l'état natif, des protéines fibreuses telles que le collagène sont insolubles dans l'eau. Les trois chaînes peptidiques de la molécule de collagène se déplient et se séparent lorsque le collagène natif est dénaturé par l'action de la chaleur ou de certains composés chimiques, tels que l'urée. Cette dissociation sera moins efficace plus les fibres de tropocollagène liées ensemble dans la molécule.

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

---

Le degré de solubilité est directement lié au niveau de réticulation de la molécule individuelle. Le degré de réticulation du tissu est distinctif mais varie aussi avec l'âge (Chenet *al.*,2016). Si on considère l'effet négatif sur la tendreté de la viande joué par la présence de tissu conjonctif intramusculaire, on sait que cet effet sera plus marqué chez les animaux âgés que chez les jeunes et donc que la tendreté de la viande diminue avec l'âge des animaux. Si on considère maintenant l'effet positif de la cuisson sur la tendreté de la viande, on doit considérer que celui-ci est dû à la dénaturation thermique des liens intramoléculaires du collagène (Izquierdo, 2015).

### II.10 Processus d'extraction du collagène

Pour trouver de nouvelles sources de collagène alternatives dérivées de l'environnement aquatique, telles que les poissons, les méduses, les éponges, les calmars et autres fruits de mer.

Le collagène peut être obtenu essentiellement par des hydrolyses chimiques et/ou enzymatiques (Schmidt *et al.*,2016). L'hydrolyse chimique est plus courante dans l'industrie, mais les processus biologiques par utilisation des enzymes sont plus prometteuses avec des produits haute valeur biologique. En outre, les processus enzymatiques nécessitent moins de déchets et peuvent réduire le temps de traitement, mais ils sont plus chers (Zhuo, 2022).

## CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE- GÉNÉRALITÉ, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

---

Pour obtenir du collagène, il est nécessaire d'éliminer de nombreux covalents intra- et inter-moléculaires qui implique principalement des lysine et hydroxy-lysine, liaisons d'ester et autres avec les saccharides, tout ce qui fait le processus assez complexe (Goetz, 2013).

Avant que le collagène puisse être extrait un pré-traitement se fait l'aide d'un acide ou d'une alcaline varie en fonction de l'origine des matières premières. Le traitement préalable est utilisé pour éliminer les substances non collagéniques et d'obtenir un plus grand rendement dans le processus. Les méthodes d'extraction sont basées sur la solubilité de collagène dans des solutions salines neutres, des solutions acides avec des enzymes ajoutées (Schmidt et al.,2016). Le tableau II.1 présente un résumé des procédures mises en œuvre dans l'extraction du collagène partir de sous-produits animaux.

CHAPITRE II. LE COLLAGÈNE GÉNÉRAL, DESCRIPTION ET CARACTÉRISTIQUES

Table II.1 Certaines procédures utilisées pour l'extraction du collagène à partir de déchets animaux.

Matière première	Pr -traitement	Procédure d'extraction	Référence
peau de mer (Dromajus novaehollandiae) peau d'esturgeon japonais (acipenserherrenku)	Homogénéisation avec 10% d'éthanol pendant 4 jours. Extraction avec NaOH. Lavage à l'eau distillée. Homogénéisation	Extractions consécutives avec 0,5 M acide acétique pendant 48 h, 0,9 M NaCl dans de l'acide acétique 0,5 M et pepsine (10 %) pendant 4 jours.	Nagai (2015) Wang et al. (2014)
Tendon d'Achille bovin	Laver avec du NaCl 0,15 M et acétone.	Hydrolyse enzymatique avec de la pepsine en 0,5 M acide acétique pendant 2 jours à 20°C.	Li et al. (2009)
os japonais (Scomberonipponius) peau et os	Os Extraction avec 0,1 M NaOH 1:20 (w/v) pendant 48 h. Lavage à l'eau froide jusqu'à pH neutre.	Os Extraction avec de l'acide acétique 0,5 M, 1:15 (w/v) pendant 3 jours. Extraction ultérieure avec de la pepsine porcine (20 µg de résidu) dans de l'acide acétique 0,5 M à 4°C pendant 2 jours.	Li et al. (2013)

## II.11 Les domaines d'application du collagène

Il a été utilisé comme un "collier biologique" dans les temps antérieurs, et au fil du temps, l'industrialisation a conduit son utilisation dans une variété de buts.

Avec l'intensification de l'élevage des porcs en Europe depuis les années 1930, la peau fraîche a commencé à être ajoutée aux matières premières traditionnelles. La fabrication de collagène a trouvé des maisons pour une variété d'usages.

Les secteurs les plus importants utilisant le collagène sont : les industries biomédicales, pharmaceutiques et cosmétiques (Lee et al., 2021). Il est également utilisé dans d'autres secteurs tels que l'industrie alimentaire et photographiques.

Observés dans le traitement de l'hypertension, de l'incontinence urinaire, de la douleur associée à l'arthrose, dans la technologie de tissu pour des implants chez l'homme, l'inhibition des maladies angiogéniques, telles que des complications de diabète, l'obésité, et l'arthrite. Le collagène peut servir aussi la production des fils chirurgicaux, des feutres et des mousses hémostatiques, des membranes collagéniques, des capsules, des lents et autres (Kergourlay, 2016).

Selon les orthopédistes, la poudre de collagène laissée sur place dans les procédés d'ostéosynthèse, permet une plus rapide consolidation osseuse. Le collagène possède également des propriétés intéressantes dans le traitement de cancers (Kergourlay, 2016).

Le collagène est utilisé en tant que molécule porteuse de principe actif, de protéine ou de gènes (Lee et al., 2021).

Dans le secteur alimentaire, le collagène trouve des applications comme la préparation de gélatine et l'élaboration des jus et des boissons alcoolisées (Fitzgerald, 2015).

# Chapitre III

## Partie expérimentale

### III.1 Matériel et Méthodes

#### III.1.1 Matériel biologique

Il s'agit des os des dromadaires de la race Sahraoui, diaphyses 2, 4, 7 et 11 ans, et des deux parties corporelles fémur et tibia à l'âge de 11 ans.

Les os camelins, sont collectés auprès des bouchers exerçant dans le marché de souk Lahjar ouargla en vue de les conserver à une température de -20 C.

Au niveau du laboratoire bio-ressources sahariennes, relevant de la Faculté des sciences de la nature et de la vie - université Kasdi Merbah de Ouargla avant leur utilisation pour l'expérimentation .

#### III.1.1.1 Extraction du collagène

##### a. Préparation des chantillons

Les os collectés sont lavés à l'eau du robinet pour s'assurer de l'élimination de toute saleté, la moelle est ensuite retirée manuellement, puis lavée à l'eau chaude 60 C

pour éliminer les résidus de viande et les lipides associés. Ensuite les os ont été divisés en petits morceaux de 1 cm de taille et conservés, au réfrigérateur jusqu'à leur utilisation.



Figure III.1 Préparation des échantillons .

### b.d déminéralisation des os

La déminéralisation des os a pour but de débarrasser la constitution minérale des os essentiellement calcique inorganique qui recouvre la matrice osseuse pour la préparation de l'ossein. Pour ce faire, nous avons opté pour la méthode utilisée par Hassan et al. (2014), (avec modification) elle consiste à placer 100 g des morceaux fragmentés dans une solution d'HCl 5%, nous utilisons un agitateur électromagnétique pendant 5 jours à température ambiante en renouvelant la solution d'HCl chaque jour. L'ossein résultant doit être lavé avec de l'eau du robinet jusqu'à obtenir un pH neutre.

### c.pr traitement

Les os déminéralisés sont prétraités avant l'extraction et ce dans l'objectif d'obtenir un gonflement et un ramollissement de l'ossein en vue d'éliminer les protéines non collagène, les peptides et la dénaturation des liaisons intermoléculaires. Le prétraitement est réalisé selon le schéma suivant : (avec modification)





Figure III.2 La déminéralisation des os.

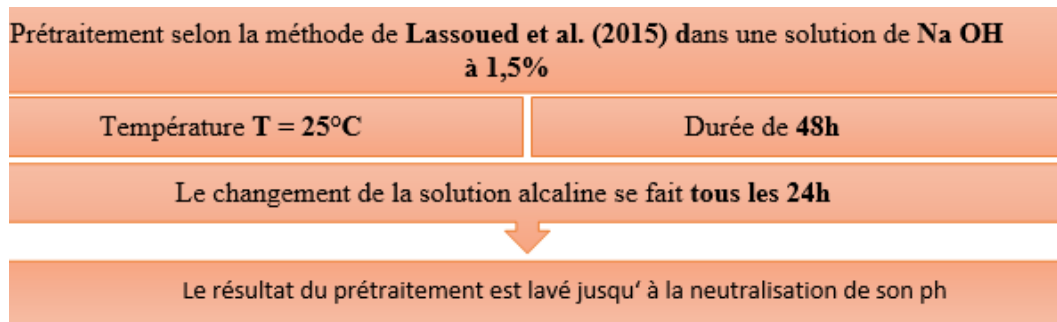


Figure III.3 Processus du prétraitement des os.

### d.l'extraction

Le collagène peut être obtenu essentiellement par hydrolyse chimique et enzymatique, suivant la méthode de Li et al. (2013).

L'objectif de cette étape c'est la libération des chaînes de la triple hélice du collagène pour faciliter son utilisation dans le cosmétique et l'industrie pharmaceutique. La réalisation de cette étape se fait en deux parties :

- Extraction par acide acétique

Après la neutralisation des échantillons et l'élimination des résidus du prétraitement, ils sont déposés dans une solution d'acide acétique 0,5 M, 1 :10 (p/v) pendant 3 jours à la température ambiante .

Nous ajoutons de la pepsine (20 U/g de résidu) la même solution de l'acide acétique 0.54 C pendant 2 jours pH :2.4.

### e.purification et conservation du collagène

Le résultat final de l'extraction chimio-enzymatique est exposé une série d'opérations. Filtration, centrifugation, seconde filtration, séchage par lyophilisation, broyage l'aide d'un Moulinex et conservation dans des boîtes en attente des analyses relative la caractérisation.



Figure III.4 Processus de la purification et conservation du collagène.

### III.1.2 Caractéristiques physico-chimiques et structurales du collagène et des os camelins

#### III.1.2.1 le rendement de l'extraction

Le rendement du collagène est calculé en fonction de son poids après séchage et le poids sec du matériel de départ (Vidal et al., 2020) selon la relation suivante :

Rendement en % = poids du collagène après séchage / poids initial des os camelin X\*100.

### III.1.2.2 Compositions chimiques des os et du collagène

Les os du dromadaire, sont broyés à l'aide d'un broyeur électrique avant leur acheminement pour les analyses.



Figure III.5 Broyage des os.

#### a. Détermination de la matière sèche (MS) et la teneur en humidité (H)

Par les méthodes classiques de l'AOAC (1999) ; Mettre dans un dessiccateur des vases pesés vides (couvercle + fond) préalablement séchés à l'étuve pendant 1 heure minimum. Ne pas mettre une quantité trop importante de vases dans le dessiccateur, au maximum deux rangées.

Après refroidissement, tarer 0,1 mg par chaque vase pesé. Soit  $M_0$  leur masse. Peser dans les vases, 0,1 mg par vase, environ 2 g d'échantillon broyé. Soit PE la prise d'essai. Étaler uniformément la prise d'essai par un léger mouvement rotatif. Mettre les vases pesés pleins et leur couvercle fermé, dans une étuve à 103 °C pendant 24 h.

On déclenchera le chronomètre dès que l'étuve aura nouveau atteint la température désirée. Au bout de 24 h, remettre les couvercles et attendre que la température remonte 103 C. Sortir alors les vases peser et les laisser refroidir dans un dessiccateur. Les peser 0,1 mg près. Soit M1 leur masse. La teneur en MS et H est exprimé en % suivant les relations :  $\times 100$  Avec

M0 la masse du creuset vide, en grammes

M1 la masse du creuset contenant le résidu sec, en grammes

PE la masse de la prise d'essai, en grammes

#### b. Détermination de la matière minérale (MM) et la matière organique (MO)

Mettre dans un dessiccateur des creusets en nickel préalablement séchés l'étuve pendant 1 heure minimum. Ne pas mettre une quantité trop importante de creusets dans le dessiccateur, au maximum deux rangées.

Après refroidissement, tarer 0,1 mg près chaque creuset. Soit M0 leur masse. Peser dans les creusets, 0,1 mg près, environ 3 g d'échantillon broyé. Soit PE la prise d'essai. Étaler uniformément la prise d'essai par un léger mouvement rotatif.

Mettre les creusets pleins dans le four moule. Mettre en marche la hotte aspirante. Calciner pendant 4 h 550 °C.

On déclenchera le chronomètre dès que le four aura atteint la température désirée.

Le temps coulé, attendre que la température du four redescende 100 C, sortir alors les creusets et les laisser refroidir dans un dessiccateur. Après refroidissement, peser 0,1 mg près les creusets. Soit M1 leur masse. La teneur en MM et MO est obtenue par les relations :

$$\times 100\% \text{ MO} = 100 \text{ MM}$$

### c.analyse de la mati re azot totale

D termination de l'azote par la m thode de Kjeldahl



Figure III.6 **KJELDAHL.**

#### 1.min ralisation

Pour cette tape (0,5 gramme) de l' chantillon sont plac s dans l'appareil, puis ajout du catalyseur (0,2 gramme), ensuite ajout d' une quantit d'acide sulfurique, pour en n allumer l'appareil en r glant une temp rature ( $550^{\circ}\text{C}$  ) durant 4 heures.

#### 2.distillations

On prend l'extrait issu de la premi re tape et on y ajoute 30 ml d'eau distill e et 25 ml de solution de NaOH . la solution est ensuite plac e dans l'appareil pour e ectuer le processus, car l'appareil extrait automatiquement la solution, nous mettons donc l'erlenmeyer sous le tube manant de cet appareil, qui contient son tour 10 ml d'acide borique, 0,5 ml d' ducateur et quelques gouttes de colorant ce processus s'arr te lorsque la solution dans l'erlen atteint un volume de 150 ml .

### 3.titration

Prenez l'eren, y ajoutez l'acide sulfurique goutte goutte. jusqu' ce que la couleur de la solution vire au rouge

### d.Etude de la composition des min raux

La composition et les pourcentages des min raux de la poudre du collag ne et des os camelin sont d termin s en utilisant un spectrom tre de uorescence des rayons X de la marque Bruker S1 Titan.



Figure III.7 Spectrophotom tre XRF.

### e.Mesures d'absorption ultraviolette (UV)

L'absorption maximale des os et de la solution de collag ne a t d termin e selon la m thode d'essai standard d crite par les fabricants de Xu et al. (2022), une solution de collag ne et d'os avec une concentration de 0,5 g/L a t pr par e.

Ensuite, le collag ne a t scann dans la r gion de lumi re quasi-ultraviolette de 200-400 nm par un spectrophotom tre ultraviolet visible pour obtenir la longueur d'onde d'absorption maximale ultraviolette.

L'objectif de cette mesure consiste en la détermination de la composition globale des chantillons et de voir le degré de la pureté de notre collagène.



Figure III.8 Spectrophotom tre UV.

#### f. Analyse morphologique - microstructure

La morphologie de l'os brut et du collagène, a été analysée à l'aide de la microscopie électronique balayage (MEB) à l'échelle de plusieurs grossissements. Les chantillons ont été montés sur des tiges à l'aide d'une bande de carbone double couche, et du sputter revêtu d'or pendant 20 s en utilisant une unité de revêtement de sputter Emitech K575X.



Figure III.9 microscopie électronique balayage (MEB).

### Analyses statistiques

Les caractéristiques du collage sont examinées à l'aide de l'analyse de variance un facteur ANOVA en utilisant IBM SPSS Statistics 26.0 pour Windows. Les différences ont été jugées significatives ( $p \leq 0,05$ ).



# Chapitre IV

## R sultats et discussion

### IV.1 le rendement de l'extraction

Dans les m mes conditions (temp rature, concentration des produits chimique et la dur e totale de l'extraction) nous avons obtenu des rendements di rents par rapport aux cat gories d' ge. Le rendement le plus lev tant enregistr l' ge de 7 ans.

<b>AGE</b>	<b>RENDEMENT</b>
<b>11</b>	5,04
<b>7</b>	6,11
<b>4</b>	3,49
<b>2</b>	3,51
<b>MOYEN</b>	4,37
<b>ET</b>	1,27518299

Figure IV.1 le rendement selon l' ge.

L' ge est un facteur limitant sur le rendement de l'extraction du collag ne ce qu'il est montr dans la gure [IV.2](#)

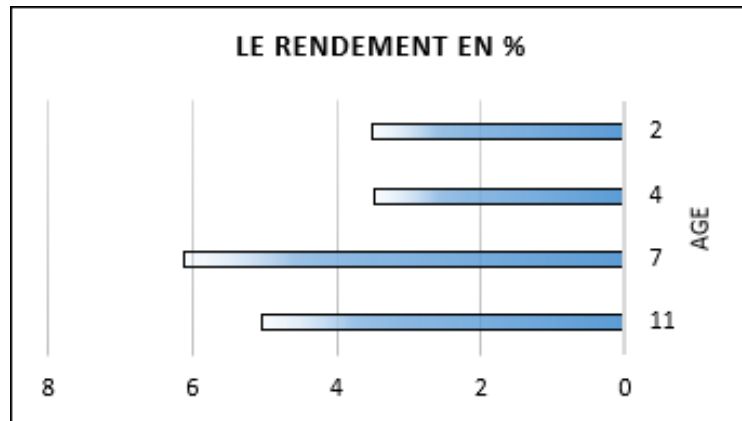


Figure IV.2 La variation du rendement de l'extraction en fonction de l'âge.

Les résultats nous donnent une valeur de  $P = 0,71$  qui est significative, ce qui indique que la valeur  $P$  théorique. L'effet de l'âge sur le rendement de l'extraction est justifié par le développement du collagène quantitativement et qualitativement dans la structure des os. Chez un individu adulte le collagène du type A représente 30 -35% dans les tissus osseux (Abdul, 2014).

De point de vue structurel, le collagène atteint son structure complète de triple hélice à l'âge de 7 ans ou la maturité du dromadaire sera complète. Pour cela le rendement est remarquablement significatif dans cet âge (Faye et al., 2022).

En termes de conditions de l'extraction enzymatique, ces résultats ne sont pas différents des résultats obtenus par Ran et Wang (2014) dans l'extraction du collagène du tendon bovin et Savedboworn et al. (2016) pour le collagène provenant de la peau du rohu (Labeorohita), ainsi que Settakorn et al. en 2019 à partir des caillies des poissons.

Certains auteurs ont signalé que la solubilisation du collagène dans les milieux acides était plus faible en raison des divers maillons croisés inter-chaînes dans la région tlopeptide des molécules de collagène (Zhang et al., 2007), qui sont clivées en présence de pepsine, conduisant à un rendement d'extraction plus élevé (Nagai et al., 2015).

Les résultats en fonction de la partie corporelle ne présentent aucune différence,

Table IV.1 Resultats du rendement en fonction de la partie osseuse.

Parties	Rendement en %
Femur	4.44
Tibia	4.44

Pour notre étude, il n'y a pas de différence de rendement entre le fémur et le tibia. Cette résultat est dû à la similarité structurelle des deux parties osseuses longues et rondes. Cette partie nécessite plus de recherche car ces résultats ne sont pas suffisants pour juger de la signification de l'âge et de la partie osseuse sur le rendement ; elle est laissée pour les perspectives futures de recherche pour comparer les rendements de plusieurs parties et plusieurs types d'os l'exemple des os plats comme le scapula.

## IV.2 Caractéristiques physico-chimiques et structurales du collagène et des os camélins

### IV.2.1 Compositions chimiques des os et du collagène

#### a. Détermination de la matière sèche (MS) et la teneur en humidité (H)

L'étude de la MS et les taux d'humidité du collagène et des os camélins nous permet d'avoir une estimation sur l'âge et des conditions de l'extraction sur la qualité et le rendement du collagène ainsi que cette étude nous aide à déterminer le développement de la composition approximative des os du dromadaire afin de maximiser les conditions de l'extraction et ouvrir une nouvelle porte pour la valorisation de ce déchet d'abattage dans d'autres industries.

Le tableau IV.2 montre le développement de la teneur en humidité (H) et la matière sèche (MS) dans les os et le collagène en fonction de l'âge et la partie osseuse.

Table IV.2 R sultats de la teneur en humidit (H) et la mati re s che (MS).

Echantillon	MS	H%	ET
Os 7ans	86.64	13.36	<b>0.59</b>
Os 4ans	86.72	13.28	<b>0.16</b>
Os 2ans	86.37	13.63	<b>0.83</b>
Os tibia	88.65	11.35	<b>0.08</b>
Os f mur	90.77	9.230	<b>0.06</b>
coll 7ans	75.67	24.33	<b>0.50</b>
coll 4ans	65.03	34.97	<b>0.24</b>
coll 2ans	72.61	27.39	<b>0.46</b>
coll f mur	78.99	21.01	<b>0.24</b>
coll tibia	82.52	17.48	<b>0.20</b>

La teneur en humidit est signi cation lev e pour le collag ne en comparant aux os dans la totalit des essais quel que soit l' ge ou la partie osseuse. Cette remarque est justi e par l'e et des conditions de l'extraction et de s chage sur la qualit du collag ne.

Nos r sultats sont signi cation elev auxcelles de Boukarboua et Boulkroun (2016) qui sont rapport es que les prot ines contiennent une teneur en humidit de 10-15%.

Pour les os, les r sultats de l'humidit en fonction de l' ge sont tr s proches. L'os animal selon Abdul (2014) contient 45% de l'eau ; cependant que nos r sultats montre un tr s faible teneur entre 9 et 14% suite aux particularit s physiologiques et adaptatives du dromadaire.

#### b. D termination de la mati re min rale (MM) et la mati re organique (MO)

La teneur en mati re min rale du collag ne d pend de la composition min rale de la mati re premi re et les conditions de la d min ralisation des os (Figure IV.3).

Du cot biochimique, la mati remin rale en phase de la pubert (4ans) sera rigide donc la d min ralisation des os cet ge sera tr s di cile.

La dureté de la déminéralisation et la concentration de l'acide affecte la qualité du collagène dans ses pourcentages en MM et MO (Hassan et al.,2014), plus que la déminéralisation des os est évidente on remarque une augmentation de la matière organique et diminution de la matière minérale du collagène.

L'élévation de la matière organique dans le collagène est expliquée par le caractère protéique du collagène, qui est classé dans la Matières organiques.( gure IV.3)

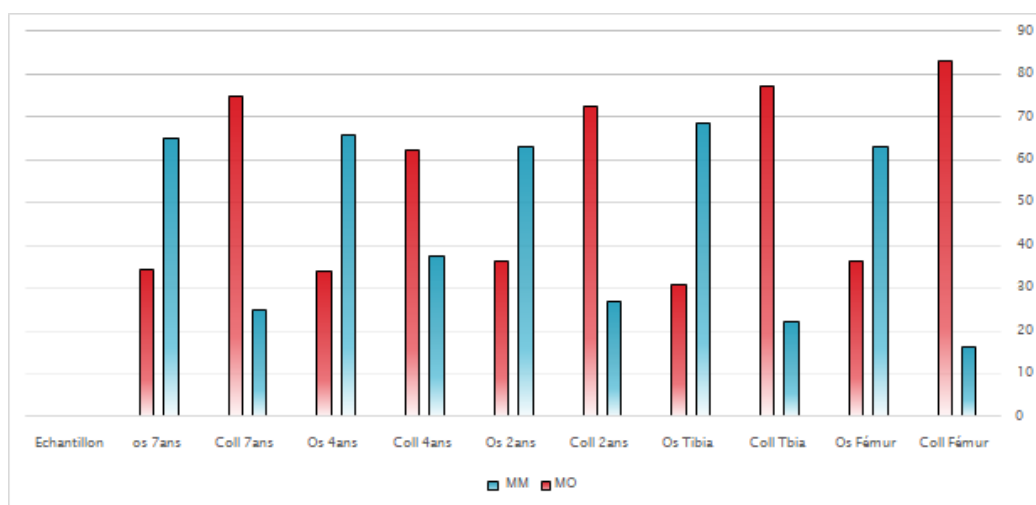


Figure IV.3 Resultat de la MM et la MO en % de la MS.

Dans les os on remarque une teneur très importante des minéraux cependant que cette teneur ne contient pas une vraie signification en fonction de l'âge. La calcination des os se termine l'âge de la puberté donc le résultat de la MM entre l'âge de 4 et 7ans sont identiques. L'âge de 2 ans présente une teneur faiblement inférieure en MM cause de la croissance de la matière organique chez les jeunes animaux.

Le tibia fonctionnellement est le support de l'organisme pour cela il présente une adaptation structurelle spécifique que à cette fonction se traduit par une teneur plus élevée en MM en comparant avec le fémur.

Comme résultat de l'étude approximative de la composition chimique des os et du collagène l'âge de 7 ans on a la présentation dans la gure IV.4.

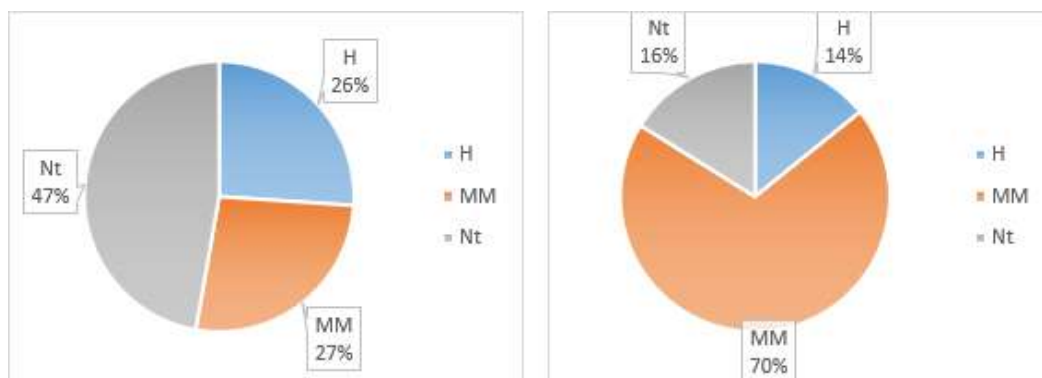


Figure IV.4 Comparaison de la composition approximative du collagène et des os du dromadaire (gauche : collagène ; droite : os).

Les matières azotées totales sont obtenues en multipliant la teneur en azote organique de l'échantillon, (déterminé par la méthode de Kjeldahl) par le coefficient 6,25. De cette manière, on admet que toutes les matières azotées ainsi dosées contiennent 16% d'azote :

$$\text{MAT} = \text{N Total} \times 6,25$$

Il est évident que les conditions d'extraction ont un effet important sur la composition du collagène de l'os dromadaire, où la teneur en protéines augmente considérablement lorsque les conditions d'extraction sont plus douces.

Bien que la protéine soit le principal constituant des collagènes dans cette étude, Vidal et al. (2019) ont rapporté des niveaux plus élevés de bres de collagène et de poudre de bres de collagène, avec des valeurs de 87,7 et 84,4 % respectivement.

La teneur en protéines des collagènes a été influencée par la méthode d'extraction, car les procédés d'extraction les plus radicaux peuvent entraîner des teneurs en protéines plus faibles, tant donné qu'ils affectent gravement la structure de la protéine, en la divisant en fractions plus petites.

Cette partie nécessite plus d'étude dans l'objectif de déterminer et expliquer le développement de la matière azotée des os et du collagène en fonction de l'âge ainsi que les méthodes de l'extraction appliquées. Approfondir cette partie nous permet d'optimiser de

l'extraction du collag ne et de trouver les conditions optimales de l'extraction de point de vue quantitative et qualitative en relation avec la composition globale des os camelins.

Ici, Il est important de souligner que les processus exp rimentaux de la d termina- tion des composants exacts des os et du collag ne extrait n'ont pas t faits assez facilement et en douceur pour aider compl ter l'analyse, nous avons donc d arr ter un essai pour les os et le collag ne.

### c.Etude de la composition des min raux

Le principe de la spectrom trie de uorescence des rayons X c'est l'identi cation des min raux (majeurs et mineurs) d'une mati re premi re. En revanche, notre tude a eu lieu en face de certains d s techniques de l'appareil qui a t crypt pour d tecter seulement les composants mineurs.

E ctivement, la d termination de la composition en min raux des os et du col- lag ne nous aide tudier dor navant les conditions de l'extraction et de la min ralisation d'une fa on plus pr cise en d terminant les r actifs et les concentrations les plus convenables a limin tous les traces des min raux et obtenir un extrait haute degr s de la puret .

Les r sultats de la composition d taill e en min raux sont pr sent dans les gures

#### IV.5. IV.8.

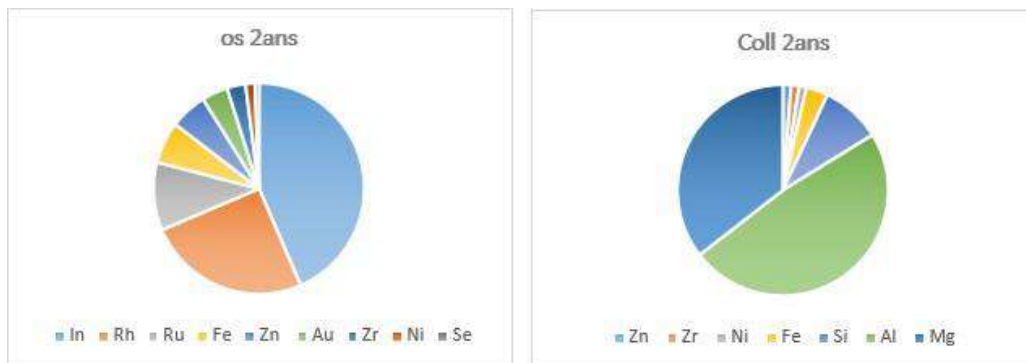


Figure IV.5 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 2ans.

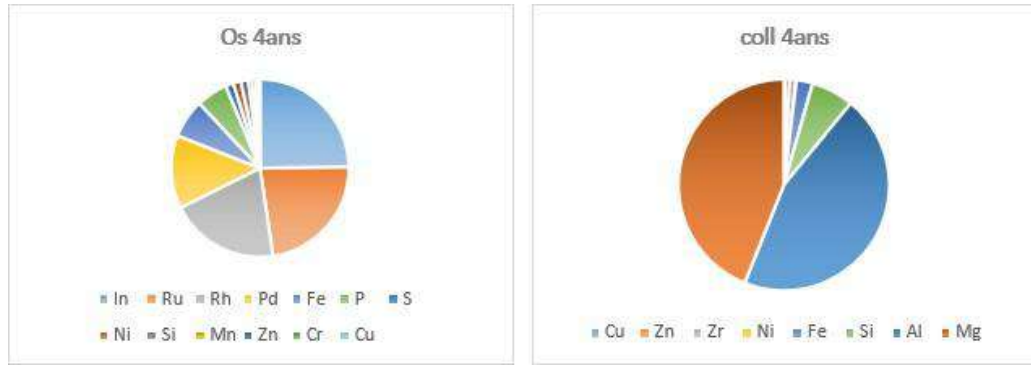


Figure IV.6 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 4ans.



Figure IV.7 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 7ans.

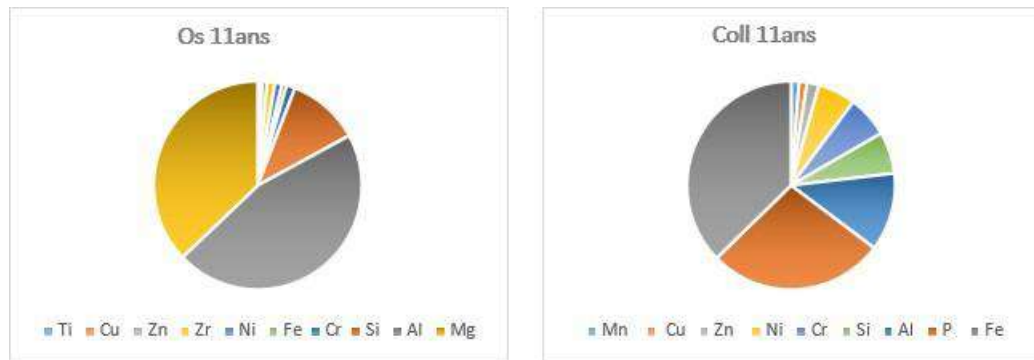


Figure IV.8 D veloppement de la composition min rale des os et du collag ne l' ge de 11 ans.

La composition en min raux pr sente une variabilit tr s signi cative entre le collag ne et les os camelins. Le collag ne est toujours contient moins de diversit des composants Quel que soit l' ge alors que le pourcentage de certains l ments est tr s lev s par rapport aux os l'exemple de Phosphore a 11 et 4 ans, le Zirconium et le Magn sium a 7



ans ainsi que l'Aluminium a 2 ans.

Le fer généralement est le plus dans la plus part des chantillons cependant que sa quantité est inférieure a 2 ans.

Selon les investigations de [Buddhachat et al. \(2016\)](#) l'importance de la quantité du fer est en relation avec l'adaptation du système hémato-poétique en distribuant Fe dans tout l'os notamment dans l'humérus et le fémur.

L'élimination de certains éléments des os par déminéralisation est la principale cause de l'augmentation des autres éléments dans le collagène, cela est bien appa- rait dans les graphes de la comparaison (figures [IV.5](#) - [IV.8](#)).

Quelques éléments sont totalement disparus principalement à l'âge de 4 et 7 ans. Cela est dû grâce à la déminéralisation par l'acide chlorhydrique qui est considéré comme un acide fort.

Il est évidemment nécessaire d'approfondir la recherche de l'effet de la déminéralisation sur la composition minérale travers plusieurs essais sur différents types d'acides dans l'objectif d'atteindre le plus haut degré de pureté du collagène en éliminant toutes les traces des minéraux dans le produit final.

### d. Mesures d'absorption ultraviolette (UV)

Dans une étude spectrophotométrique UV-visible, on mesure l'absorption maximale des os et de la solution de collagène pour tracer le graphe de l'absorbance A en fonction de la longueur d'onde pour l'objectif est l'identification du degré de pureté de notre collagène.

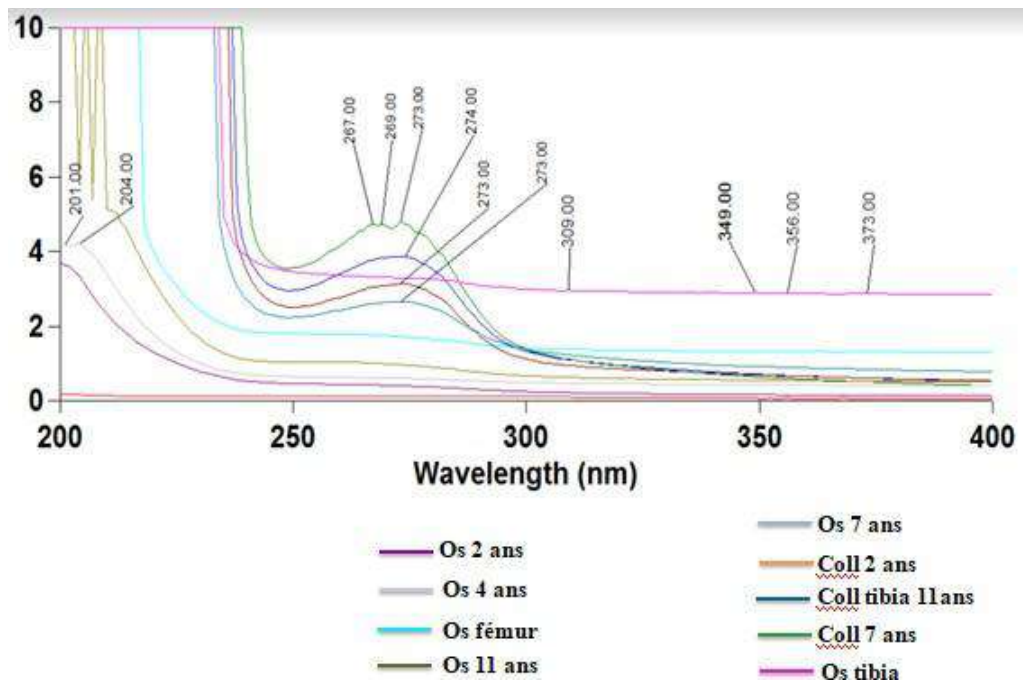


Figure IV.9 Mesures d'absorption ultraviolette (UV)

Suite aux problèmes techniques du spectrophotomètre UV nous avons limité la présentation des spectres. En revanche comme description, les spectres sont présentés sous forme des pics dans la zone de balayage 200-400 nm. Ces pics sont des signes de l'absorption des os et du collagène en plusieurs ondes. Chaque pic d'absorption des rayons UV signifie un composant chimique son propre longueur d'onde.

Le collagène camelien présente généralement une forte absorption caractéristique dans l'UV avec des pics d'absorption autour de 200 et 280 nm et ne présente pas d'absorption caractéristique 290 nm.

Les spectres indiquent que les pics d'absorption maximale du collagène de type A est de 234 nm, ce qui correspond l'hydroxyproline et la proline.

Cette observation est cohérente avec les rapports de la littérature et correspond l'absorption caractéristique du collagène qui est certainement un indicateur efficace sur le haut degré de la pureté de notre collagène.

Les os du dromadaire ont une gamme d'absorption plus large que le collagène entre 201 et 400 nm cause de la présence des minéraux dans la composition des os.

Bien sûr, il existe une variation des longueurs d'onde de l'absorption en fonction de l'âge. A 11 ans on remarque une large zone d'absorption alors que les os des jeunes animaux entre 2 et 7 ans présentent des zones d'absorption similaires avec des différences mineures entre 200 et 220 nm.

### e.Analyse morphologique - microstructure

L'analyse morphologique par le microscope électronique balayage (MEB) nous donne des informations sur la morphologie d'un échantillon qui est dans notre cas les os du dromadaire.

L'étude de la microstructure des os est faite sur différentes chelles, et nous avons choisi l'échelle de la présentation la plus représentative pour chaque échantillon (figures IV.10) dans le contexte d'étudier la variation des os en fonction de l'âge et expliquer l'effet de cette variation sur l'extraction du collagène (principalement le côté quantitatif du rendement).

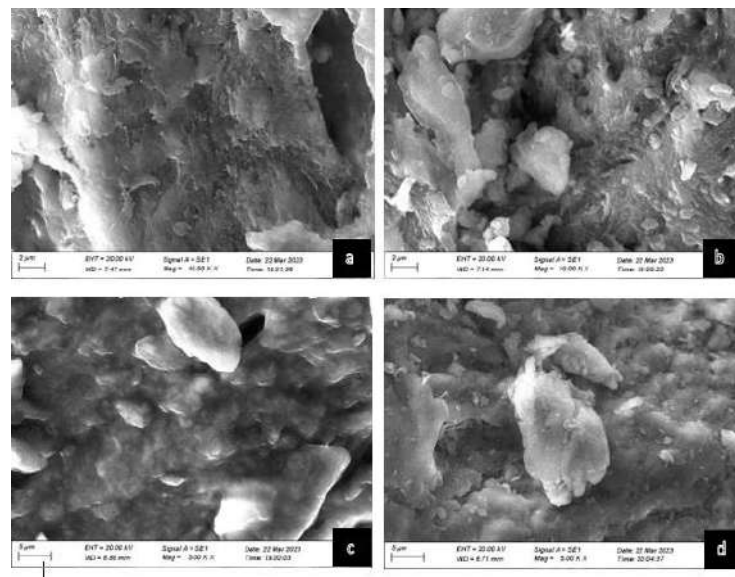


Figure IV.10 Microstructure d'un os de dromadaire (a : 2 ans ; b : 4 ans ; c : 7 ans ; d : 11 ans).

La microstructure des os est une indication très importante de la dureté des os camélins. Cette structure met généralement l'accent sur le degré de cohérence des molécules osseuses et, par conséquent, ce degré détermine l'efficacité des traitements et des processus d'extraction du collagène.

L'âge de 7 ans montre une cohérence structurelle moins que celle de l'âge de 2 et 4 ans, donc l'efficacité du protocole de l'extraction sera plus efficace.

A 11, la cohérence est aussi faible mais le rendement de l'extraction mineur est justifié par la faible quantité du collagène osseux dans cet âge.

L'étude microscopique est faite sur la poudre d'os ; cependant que les images présentées dans la figure IV.10 montrent la rigidité des os particulièrement l'âge de 2 et 4 ans qui nous constituent une contrainte pendant le broyage et la transformation des os en poudre.

# Conclusion et perspectives

Cette étude est pour but d'exploiter les os du dromadaire (*Camelus dromedarius*) comme une bioressource renouvelable non exploitée dans l'extraction du collagène et optimiser cette valorisation en fonction de plusieurs catégories d'âge. La détermination des caractéristiques physico-chimiques des os et du collagène est aussi mentionnée dans ce travail.

Tant que la source des collagènes importés et commercialisés est souvent inconnue car le collagène cache plusieurs secrets et la méthodologie de fabrication pose plusieurs questions concernant l'origine de la matière première utilisée, les os camelins constituent une source potentielle d'un collagène de haut degré de pureté.

L'extraction du collagène à partir des os camelins est étroitement liée au développement de l'âge donc il est important de citer que la détermination de l'âge le plus convenable pour l'obtention du rendement maximal avec des caractéristiques uniques et très précises, pour cette étude il est l'âge de la maturité du dromadaire (7 ans).

Il est également important de souligner que même lorsque les matières premières proviennent d'animaux sains, les étapes de préparation de collagène à partir de l'animal passant par l'abattage jusqu'à la fabrication et le conditionnement de collagène restent très délicates.

La méthode utilisée dans notre étude nous a permis de constater qu'elle a un impact positif sur la production de collagène, principalement sur le rendement de l'extraction et la composition en acides aminés. Les circonstances d'extraction affectent certaines

## CONCLUSION G N RALE

---

caractéristiques du collagène. Les résultats de l'étude sont extrêmement satisfaisants.

Au terme de ce travail, plusieurs aspects restent à explorer, tels que l'optimisation des conditions de l'extraction dans l'objectif d'améliorer le rendement de l'extraction, la purification du collagène dans l'intérêt de la perfection des paramètres physico-chimiques et une analyse physico-chimique complète du collagène et des os camelin.

L'étude des propriétés fonctionnelles du collagène est aussi vivement recommandée par cette étude.

**Le savoir stimule le changement, la libération et l'urbanisation**

**Abdessater M. Coloby P. Kanbar A. Karray O. Bart S. et Sleiman W. 2022.** Les injections peri-urétrales dans le traitement de l'incontinence urinaire d'effort : états des lieux des connaissances actuelles. *Progrès en Urologie-FMC*, 32(2). Pp : 33-43.

**Atlan H. 2016.** A tort et à raison. Intercritique de la science et du mythe. Média Diffusion. Science ouverte ed. P : 96.

**Badara S. N. 2016.** Une nouvelle mutation du collagène V conduisant, chez le patient, à des atteintes cutanées et musculaires. Doctoral dissertation, Université de Lyon). NNT : 2016 LYSEN 064. Pp : 24-30.

**Bahlouli N. Zitouni A. 2015.** La purification du collagène type II et l'effet antiarthritique de *Marrubium vulgare* chez les rats wistar. Mémoire de Master en Analyse et contrôle de qualité, Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre et de l'Univers, Département des Sciences Biologiques. Pp : 14-67.

**Ben Bouguerra N. Hedhoud N. Sahnoun H. 2017.** Traitement et valorisation des déchets d'origine animale « extraction de la gélatine à partir de l'os bovin ». Mémoire de Master en Analyse et contrôle de qualité des denrées alimentaires. Université Mohamed El Bachir El Ibrahimi B.B.A, Département des Sciences Biologiques. P : 38.

**Benlaldj D. Messaoudi R. Moueden M. A. et Seghier F. 2021.** Diagnostic d'une maladie de Von Willebrand type 2N chez un patient avec un trouble du tissu conjonctif proche d'un syndrome d'Ehlers-Danlos. *Med Sci*, 8(2). Pp : 179-81.

**Boete Q. 2022.** Etude de l'impact physiologique d'une protéine synthétique élastique dérivée de l'élastine comme signal moléculaire correcteur dans les artériopathies liées aux altérations des fibres élastiques. Thèse de Doctorat, École doctorale chimie et science du vivant (Grenoble) , l'Université Grenoble Alpes, laboratoire Hypoxie : physiopathologie cardiovasculaire et respiratoire (Grenoble).

**Bonnesoeur, S. 2020.** Impact de la réticulation à la génipine sur les propriétés biophysiques d'un hydrogel d'acide hyaluronique pour la culture en trois dimensions. Thèse de Doctorat, Normandie Université. Pp : 12-60.

**Boskey A.L. et Coleman R. 2010.** Aging and Bone. *Critical reviews in oral biology & medicine*; Hospital for Special Surgery, New York, USA. Pp : 1335.

**Boukarboua A et Boulkroun M. 2016.** Appréciation de la qualité technologique des farines commerciales par des tests indirects. Mémoire de master, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Biochimie et de Biologie Moléculaire et Cellulaire, Constantine. Pp: 8.

**Bounebbal H. et Kirdi R. 2022.** Caractérisation des propriétés physico-chimiques d'une matrice à base de biomatériaux. Mémoire de Master en Chimie pharmaceutique, Université de Médéa, Faculté Des Sciences, Département De Science De La Matière. P : 108.

**Boutaud A. et Gondran N. 2022.** Jusqu'à quand pourrons-nous dépasser les limites planétaires ? The conversation. Pp : 1-5.

**Boyer A. 2014.** Synthèse, caractérisation et évaluation biologique d'apatites phosphocalciques carbo silicatées. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure des Mines de Saint-Etienne, Français. Pp : 05-06.

**Buckley M. Harvey V. L. et Chamberlain A. T. 2017.** Species identification and decay assessment of Late Pleistocene fragmentary vertebrate remains from Pin Hole Cave (Creswell Crags, UK) using collagen fingerprinting. *Boreas*, 46(3). Pp: 402-411.

**Buddhachat K. Klinhom S. Siengdee P. Brown JL. Nomsiri R. Kaewmong P et al. 2016.** Elemental Analysis of Bone, Teeth, Horn and Antler in Different Animal Species Using Non-Invasive Handheld X-Ray Fluorescence. *PLoS ONE* 11(5): e0155458. doi:10.1371/journal.pone.0155458.

**Chen J. Li L. Yi R. Xu N. Gao R. et Hong B. 2016.** Extraction and characterization of acid-soluble collagen from scales and skin of tilapia (*Oreochromis niloticus*). *LWT-Food Science and Technology*, 66. Pp: 453-459.

**Cribier B. 2023.** Histologie de la peau normale et lésions histopathologiques élémentaires. *Annales de Dermatologie et de Vénérologie-FMC*. <https://doi.org/10.1016/j.fander.2023.03.002>.

**De Jaeger C. et Cherin P. 2012.** Matrice extracellulaire, physiologie et vieillissement vasculaire. *Médecine & Longévité*, 4(1). Pp : 41-53.

**Deneufchatel M. 2015.** Biomatériaux auto-supportés et dégradables pour l'ingénierie tissulaire : association d'un gel de fibrine et d'un réseau de polymère synthétique. Thèse de Doctorat, université Paris-Seine. Volume 62, 7 April 2015. Pp : 19-27,

**Djeddi, F. et Meftah, L. 2017.** Substitution de collagène-étude paramétriques. Thèse de Doctorat, université Mouloud Mammeri Tizi Ouzou. Pp : 12-15.

**Dumon A. et Luft R. 2020.** Naissance de la chimie structurale. <https://www.degruyter.com/document/doi/10.1051/978-2-7598-0349-1.c005/html>.

**Eklouh-Molinier C. 2015.** Caractérisation moléculaire et structurale du vieillissement cutané au moyen de la micro-imagerie d'absorption infrarouge et de la microspectroscopie de diffusion Raman (Doctoral dissertation, Reims). Pp : 28-40.

**El Allali K. Achaâban M. R. and Ouassat, M. 2017.** Anatomy of the dromedary head skeleton revisited. Department of Biological and Pharmaceutical Veterinary Sciences, Hassan II Agronomy and Veterinary Institute Morocco. Pp : 73.

**Evenou P. 2017.** Assemblages supramoléculaires hiérarchiques de cyclodextrines fonctionnalisées et de si RNA, application à la thérapie antisens. Thèse de Doctorat, École doctorale Physique et chimie des matériaux (Paris) , Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée de Paris.

**Faye B. 2011.** Le dromadaire *Camelus dromedarius* Synonyme : chameau à une bosse. Cirad Upr Systèmes d'élevage, 34398 Montpellier Cedex 5, France. Pp : 81.



**Fichard A. Chanut-Delalande H. et Ruggiero F.2003.** Le syndrome d'ehlers-danlos: l'architecture matricielle en question. m/s: médecine sciences, 2003, vol. 19, no 4. Pp : 443-452.

**Fitzgerald KA. Guo J. Tierney EG. Curtin CM. Malhotra M. Darcy R. O'Brien FJ. O'Driscoll CM. 2015.** The use of collagen-based scaffolds to simulate prostate cancer bone metastases with potential for evaluating delivery of nanoparticulate gene therapeutics. *Biomaterials*. Oct; 66:53-66. doi: 10.1016/j.biomaterials.2015.07.019. Epub 2015 Jul 14. PMID: 26196533.

**Germain D. P. 2017.** October. Ehlers-Danlos syndromes. In *Annales de Dermatologie et de Venereologie*, Vol. 144, No. 12. Pp : 744-758.

**Goetz P. 2013.** Actualités en phytothérapie. *Phytothérapie*, 11(1). Pp : 57-61.

**Gorisse L. Jaisson S. Pietrement C. et Gillery P. 2016.** Carbamylation des protéines- Quand vieillissements protéique et chronologique se rejoignent. *médecine/sciences*, 32(8-9). Pp : 684-686.

**Gourrier A. Reiche I. 2015.** L'os: morphologie, structure et composition chimique. «Message d'os, Archéométrie du squelette animal et humain», Ed. des Archives Contemporaines (EAC), coll. «Sciences Archéologiques», 9782813001641. (hal-01131757). Pp : 23-37.

**Hall S. D. 2014.** Fondamentaux de la biomécanique ; éd 1622 ; Traduit par : Dr. Hassan Al-Ziyadi ; Bagdad-SALHIYA. Pp : 136-137.

**Hassan A. Irwandi-Elsayed A. Mohammed-Asif A. Ademola M. H. Saeed O. et Fitri O. 2017.** Structural characteristics of camel-bone gelatin by demineralization and extraction, *International Journal of Food Properties*, 20:11, 2559-2568, DOI: 10.1080/10942912.2016.1244543

**Heidet L. et Gubler M. C. 2016.** Syndrome d'Alport : néphropathie héréditaire associée à des mutations dans les gènes codant les chaînes de collagène de type IV. *Néphrologie & Thérapeutique*, 12(7). Pp : 544-551.

**Henri M. J. 2009.** Etudes structurales et fonctionnelles d'acteurs de la terminaison de la traduction et de la stabilité des ARN messagers eucaryotes. Thèse de Doctorat, Faculté Des Sciences D'orsay, Université Paris-Sud 11.

**Hochberg Z. Campbell B. C. 2021.** Perspectives évolutives sur croissance et développement humain. Thèse de Doctorat, Université du Wisconsin-Milwaukee, États-Unis. Pp : 7.

**Izquierdo E. 2015.** Caractérisation des effets de la chaleur sur des cuirs de tannage végétal et développement d'une stratégie de restauration par voie enzymatique. Thèse de Doctorat, Ecole Doctorale Sciences Et Ingenierie de l'Université de Cergy-Pontoise. P: 206.

**Kergourlay E. 2016.** Apatites nanocristallines biomimétiques carbonatées pour applications médicales : de la synthèse des poudres aux revêtements par projection

dynamique à froid (Cold Spray). Thèse de Doctorat, Science et Génie des Matériaux, Institut National Polytechnique de Toulouse, 2016. P: 221.

**Kittiphattanabawon P. Benjakul S. Visessanguan W. and Shahidi F. 2010.** Isolation and characterization of collagen from the cartilages of brownbanded bamboo shark (*Chiloscyllium punctatum*) and blacktip shark (*Carcharhinus limbatus*). *LWT-Food Science and Technology* 43(5). Pp : 792-800.

**Larder C. E. 2022.** Simulated Gastrointestinal Digestion of Collagen Hydrolysates: Assessment of Peptide Bioavailability, Bioactivity and Impact on Gut Microbial Metabolites. School of Human Nutrition McGill University, Montreal February 2022.

**Lassoued I. Mora L. Barkia A. Aristoy M.C. Nasri M. and Toldrá F. 2015.** Bioactive peptides identified in thornback ray skin's gelatin hydrolysates by proteases from *Bacillus subtilis* and *Bacillus amyloliquefaciens*. *J. Proteomics*, 128(10). Pp : 8-17.

**Lassoued J. Ben Slimane E. Sadok S. et Bejaoui N. 2019.** Extraction du collagène à partir du tyssus de la moule *Mytilus galloprovincialis*. *Journal Bulletin de l'Institut National des Sciences et Technologies de la Mer de Salammbô*. Pp : 89-94.

**Leblanc Y. 2022.** Caractérisation de protéines thérapeutiques par chromatographie liquide couplée à la spectrométrie de masse. Thèse de Doctorat, Université Paris-Saclay.

**Lee J. M. Suen S. K. Q. Ng W. L. Ma W. C. and Yeong W. Y. 2021.** Bioprinting of collagen: considerations, potentials, and applications. *Macromolecular Bioscience*, 21(1), e2000280. doi: 10.1002/mabi.202000280. Epub 2020 Oct 19. PMID: 33073537.

**Lekshmi V. S. et Kurup G. M. 2019.** Anticoagulant activities of sulfated polysaccharides from the edible marine algae *Padina tetrastrum* and *Ulva fasciata*: A combined in vitro and in vivo approach. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(1). Pp : 693-698.

**Lesbre M.F.X. 2022.** Recherche anatomique sur les camélidés ; l'école vétérinaire de Lyon ; les be François-Xavier. Pp : 32-42.

**Li D. Mu C. Cai S. and Lin W. 2009.** Ultrasonic irradiation in the enzymatic extraction of collagen. *Ultrasonics Sonochemistry* 16(5). Pp: 605-609.

**Li Z.R. Wang B. Chi C.F. Zhang Q.H. Gong Y.D. Tang J.J. Luo H.Y. and Ding G.F. 2013.** Isolation and characterization of acid soluble collagens and pepsin soluble collagens from the skin and bone of Spanish mackerel (*Scomberomorus niphonius*). *Food Hydrocolloids* 31(1). Pp : 103-113.

**Liu J. Xu G. Yuan S. and Jiang P. 2003.** The effect of macromolecules on foam stability in sodium dodecyl sulfate/cetyl pyridinium bromide mixtures. *Journal of Dispersion Science and Technology*. Pp: 24, 779 and 787.

**Meunier F.J. Deschamps M.H. Lecomte F. et Kacem A. 2008.** Le squelette des poissons téléostéens : structure, développement, physiologie, pathologie. Bull. Soc. zool. Pp : 22.

**Nagai T. 2015.** Characterization of collagen from emu (*Dromaius novaehollandiae*) skins. Journal of Food Science and Technology 52(4). Pp: 2344-2351.

**Portier F. 2016.** Biomateriaux collagène/gélatine : des phases cristal-liquides aux matériaux hybrides. Thèse de Doctorat, École doctorale Physique et chimie des matériaux (Paris) , Laboratoire de Chimie de la Matière Condensée de Paris.

## **Références bibliographiques**

**Rony L. Pascaretti-Grizon F. Hubert L. et Chappard D. 2021.** Identification histochimique des débris d'usure libérés par les prothèses de hanche alumine-alumine dans les tissus périprothétiques. Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique, 107(1). Pp : 19-25.

**Roudot-Algaron F. 1996.** Le goût des acides aminés, des peptides et des protéines : exemple de peptides sapides dans les hydrolysats de caséines. Le lait, 1996, vol. 76, no 4. Pp : 313-348.

**Saby C. 2016.** Impact du vieillissement du collagène de type I sur la prolifération des cellules tumorales (Doctoral dissertation, Reims). Pp : 12-13.

**Schmidt M. M. Dornelles R. C. P. Mello R. O. Kubota E. H. Mazutti M. A. Kempka A. P. et Demiate I. M. 2016.** Collagen extraction process. International Food Research Journal 23(3). Pp : 913-922.

**Sharma U. Carrique L. Vadon-Le Goff S. Mariano N. Georges R N. Delolme F. et Hulmes D. J. 2017.** Structural basis of homo-and heterotrimerization of collagen I. Nature communications, 8(1). P : 14671.

**Sherwood L. Klandorf H. et Yancey P. 2016.** De Boeck Supérieur. De Boeck Supérieur ed Amazon France, 5 déc.2016. P : 904.

**Terrien A. 2015.** Synthèse et étude structurale multi-échelle de peptides mimes de collagène. Thèse de Doctorat, École doctorale Chimie physique et chimie analytique de Paris Centre ; Laboratoire des biomolécules.

**Tidu, A. 2016.** Synthèse d'une cornée artificielle à base de collagène I. Doctoral dissertation, Université Pierre et Marie Curie-Paris VI.

**Ushiki K. Tsunekawa K. Shoho Y. Martha L. Ishigaki H. Matsumoto R. and Murakami M. 2020.** Assessment of exercise-induced stress by automated measurement of salivary cortisol concentrations within the circadian rhythm in Japanese female long-distance runners. *Sports Medicine-Open*, 6(1). Pp : 1-10.

**Vacheret C. 2005.** Les configurations du lien, la chaîne associative groupale et la diffraction du transfert. Revue de psychothérapie psychanalytique de groupe, (2), pp : 109-116.

**Vidal A. R. Pereira-Duarte L. Mantelli-Schmidt M. Cansian R. L. Aparecida-Fernandes I. Renius de Oliveira M. Demiate I. M, Prestes-Dornelles R. C. 2020.** Extraction and characterization of collagen from sheep slaughter by-products. *Waste Management*, Volume 102. Pp : 838-846. ISSN 0956-053X, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.12.004>.

**Vincourt J. B. 2022.** Vers une meilleure caractérisation moléculaire des collagènes fibrillaires et de leurs mécanismes de maturation (Doctoral dissertation, Université de Lorraine). Pp : 22-25.

**Vincourt J. B. 2022.** Vers une meilleure caractérisation moléculaire des collagènes fibrillaires et de leurs mécanismes de maturation. Thèse de Doctorat, Université de Lorraine.

**Wang L. Liang Q. Chen T. Wang Z. Xu J. and Ma H. 2014.** Characterization of collagen from the skin of Amur sturgeon (*Acipenser schrenckii*). *Food Hydrocolloids*, 38. Pp : 104-109.

**Xu J. Luo X. Zhang Y. Gao J. Huang C.C. Bai X. Zhang G. 2022.** Extraction and characterization of bovine collagen Type V and its effects on cell behaviors, *Regenerative Biomaterials*, Volume 9. rbac028, <https://doi.org/10.1093/rb/rbac028>.

**Yamamoto T. Hoshikawa K. Ezura K. Okazawa R. Fujita S. Takaoka M. et Miura K. 2018.** Improvement of the transient expression system for production of recombinant proteins in plants. *Scientific reports*, 8(1). Pp : 4755.

**Young B. O'Dowd G. et Woodford P. 2015.** Atlas d'histologie fonctionnelle de Wheater. De Boeck Supérieur, P : 455.

**Zhuo W. Huang J. Xiao X. Huang H. Bajgain R. Wu X. et Wagle P. 2022.** Assimilating remote sensing-based VPM GPP into the WOFOST model for improving regional winter wheat yield estimation. *European Journal of Agronomy*. Pp: 139.

**Résumé :** L'objectif de cette étude est d'explorer le potentiel d'utilisation des os du dromadaire (*Camelus dromedarius*) en tant que source biologique renouvelable inexploitée pour l'extraction du collagène. Nous cherchons également à optimiser cette valorisation en prenant en compte différentes catégories d'âge. Par ailleurs, cette recherche inclut l'analyse des caractéristiques physico-chimiques des os et du collagène. Ce travail est réalisé sur les os (fémur et tibia) des mâles du dromadaire de la race Sahraoui de différents âges ( 2, 4, 7 et 11 ans) en suivant le protocole suivant :

Extraction du collagène en quatre étapes principales : déminéralisation, prétraitement, extraction chimio-enzymatique et séchage et conservation ainsi que la caractérisation chimique et structurale du collagène et des os camélins en déterminant la matière sèche, la matière minérale et organique, la matière azotée totale, la composition des minéraux par XRF, d'absorption ultraviolette (UV) et la microstructure des os par le microscope électronique à balayage.

L'efficacité de l'extraction du collagène peut être affectée par l'âge, ce qui signifie que l'âge peut limiter le rendement. L'âge de la maturité du dromadaire à 7ans présente un rendement maximal avec 6,11% conforme aux normes.. Il est à noter un degré de la pureté plus élevé à cet âge..Les résultats ont donné des pourcentages plus élevés pour l'os par rapport au collagène résultant telle la matière sèche(88,65%, 65,03%), la matière minérale(68,84%, 16,64%) respectivement pour les os et le collagène la matière azotée totale a enregistré un pourcentage beaucoup plus important dans le collagène avec 47% au détriment des os qui ne présentent que 16%.Le collagène montre une gamme d'absorption entre 200 et 280 nm avec un pic d'absorption maximale de 234 nm ce qui correspond à l'hydroxyproline et à la proline.

La microstructure des os montre une cohérence structurale faible de la poudre des os à l'âge de 7 ans ce qui dénote d'un rendement important du collagène à cet âge.

Nos résultats suscitent un grand intérêt satisfaction en révélant que les os camélins offrent une possible source de collagène d'une grande pureté.

**Mots clés :** dromadaire, collagène, Extraction, os, Caractérisation chimique, microstructure.

دراسة مساهمة للخصائص البنيوية والفيزيو-كيميائية للكوالجين المستخلص من عظام الإبل

ملخص: يهدف هذا البحث إلى استكشاف إمكانية استخدام عظام الإبل كمورد حيوي قابل للتجديد وغير مستغل الستخالص الكوالجين. كما نسعى لتحسين هذا الاستغلال من خلال استعمال عظام فئات عمرية مختلفة كمصادر للاستخالص. بالإضافة إلى ذلك، يتضمن هذا البحث تحليل الخصائص الفيزيوكيميائية للعظام والكوالجين. يتم إجراء هذا العمل على عظام الإبل ذكور ساللة الصحراوي في أعمار 2 و 4 و 7 و 11 سنة، بالإضافة إلى جزئين من العظام (فخذ وساق) وفق البروتوكول التالي- 1: استخالص الكوالجين في أربع خطوات رئيسية: فك المعادن، المعالجة المسبقة، استخالص كيميائي إنزيمي، والتجفيف والحفظ- 2. التوصيف الكيميائي والبنيوي لعظم الإبل والكوالجين من خلال تحديد محتوى الرطوبة والمادة الجافة والمادة المعدنية والعضوية ومحتوى النيتروجين الكلي، وتركيب المعادن بواسطة الأشعة السينية، وامتصاص فوق البنفسجية والبنيوية الدقيقة للعظام بواسطة المجهر الإلكتروني الماسح. إن كفاءة استخالص الكوالجين تتأثر بالعمر، مما يعني أن العمر قد يحد من عائد هذا الاستخالص. يظهر عمر نضوج الإبل عند 7 سنوات أقصى مردودية بنسبة 11.6%، والذي يعادل معايير استخالص الكوالجين الدولية. عالوة على ذلك، فإن درجة نقاوة الكوالجين في هذا العمر أعلى. في الغالب أظهرت النتائج نسباً أعلى في المكونات الكيميائية للعظام بالكوالجين، مثل المادة الجافة (م مقارنة 65.88%، 03.65% والمادة المعدنية) (84.68%، 64.16%) للعظام والكوالجين على الترتيب؛ بالعظام التي تحتوي فقط على 16%. يعرض الكوالجين نطاق امتصاص بين 200 محتوى النيتروجين الكلي أعلى بشكل كبير في الكوالجين بنسبة 47% مقارنة 280 نانومتر مع ذروة امتصاص عند 234 نانومتر، والتي تتوافق مع الهيدروكسيبرولين والبرولين. تظهر البنية المجهرية للعظم انعدام تماسك هيكلية ضعيف نتاجنا مرضية للغاية، مما يدل على أن عظام الجمل توفر مصدرًا محتملاً لمسحوق العظام في سن السابعة، مما يبرر إنتاج الكوالجين الهام في هذا العمر. للكوالجين ذو نقاء عالٍ جدًا.

الكلمات الرئيسية: الإبل، كوالجين، استخالص، عظام، توصيف كيميائي، البنية المجهرية