



**HAL**  
open science

# Caractérisation des accumulations osseuses produites par l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*): approche néotaphonomique

Juliette Ripond

► **To cite this version:**

Juliette Ripond. Caractérisation des accumulations osseuses produites par l'aigle royal (*Aquila chrysaetos*): approche néotaphonomique. Sciences de l'environnement. 2023. dumas-04328493

**HAL Id: dumas-04328493**

**<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-04328493>**

Submitted on 7 Dec 2023

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



université  
de **BORDEAUX**



AGIR pour la  
BIODIVERSITÉ



Université de Bordeaux

UMR 5199 – PACEA

Mémoire de Master 2 *Sciences et Technologies*

Mention : *Archéologie - Sciences pour l'Archéologie*

Parcours : *Préhistoire – Géoarchéologie – Archéozoologie*

---

## **Caractérisation des accumulations osseuses produites par l'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) : approche néotaphonomique**



Juliette RIPOND

Sous la direction de Véronique Laroulandie, Jean-Baptiste Mallye et Renaud Nadal

Année universitaire 2022-2023





université  
de **BORDEAUX**



AGIR pour la  
**BIODIVERSITÉ**



Université de Bordeaux  
UMR 5199 – PACEA

Mémoire de Master 2 Sciences et Technologies  
Mention : Archéologie - Sciences pour l'Archéologie  
Parcours : Préhistoire – Géoarchéologie – Archéozoologie

## **Caractérisation des accumulations osseuses produites par l'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) : approche néotaphonomique**

Juliette RIPOND

Sous la direction de :

Véronique LAROULANDIE – Chargée de recherche, CNRS, PACEA

Jean-Baptiste MALLYE – Chargé de recherche, CNRS, PACEA

Renaud NADAL – Chargé d'étude, LPO Grands-Causse

Année universitaire 2022-2023

En couverture : photo © Bohuš Číčel  
(<https://www.flickr.com/photos/bcicel/>)  
CC BY-SA 3.0, via Wikimedia Commons



## Remerciements

Je tiens à témoigner ma reconnaissance à Véronique Laroulandie, Jean-Baptiste Mallye et Renaud Nadal : merci de m'avoir confié ce sujet d'étude, de m'avoir tant appris et de m'avoir encouragée du début à la fin. Merci pour tout !

Mes sincères remerciements à la LPO qui a financé ces 4 mois de stages, sans qui ce mémoire n'aurait pas pu être produit.

Merci à Christian Itty, qui a accepté de m'emmener sur le terrain, à Patrick Bayle pour le prêt de la collection, et à Denis Buhot qui a pris le temps de me partager ses connaissances.

Je remercie les membres de PACEA qui m'ont aidée et encouragée : Luc Doyon, pour son tutoriel et pour les feutres aussi, Éric Pubert, Frédéric Santos, David Cochard et Antoine Souron pour leurs conseils...et les occupants du quatrième étage et du bureau des doctorants qui ont toujours été d'une grande bienveillance.

Merci à vous, les enseignants qui m'ont énormément appris au cours de ces deux ans de master, et même au cours de la licence pour certains.

Merci infiniment à mes amis et camarades de la salle ostéo, sans oublier mes deux archéothanatologues préférés, pour leurs qualités humaines, leur bonne humeur (ou pas !) et les blagues nulles (bien évidemment entre les heures d'extrême concentration). Bref, merci à tous.

Merci à mes parents, ma sœur et mamie, qui m'ont toujours soutenue.

Enfin, un petit mot aux aigles résidant dans les reliefs du Sud, qui ne liront probablement pas ce mémoire mais qui méritent d'être mentionnés dans cette page de remerciements, pour leur contribution fondamentale à ce travail.

# SOMMAIRE

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>5</b>
<b>I) L’AIGLE ROYAL (AQUILA CHRYSAETOS) : ETAT DES CONNAISSANCES</b> .....	<b>6</b>
1.    REPARTITION SPATIALE ET COMPORTEMENTS .....	6
1 - <i>Distribution géographique actuelle</i> .....	6
2 - <i>L’Aigle en France, une présence ancienne aujourd’hui menacée</i> .....	7
3 - <i>Habitat</i> .....	9
4 - <i>Cycle de vie annuel</i> .....	9
5 - <i>Mode de chasse</i> .....	9
6 - <i>Habitudes alimentaires</i> .....	9
2.    SIGNATURES TAPHONOMIQUES .....	11
1 - <i>Études antérieures</i> .....	11
2 - <i>Synthèse des connaissances concernant les signatures taphonomiques de l’Aigle royal sur les ossements non ingurgités</i> .....	14
<b>II) MATERIEL ET METHODES</b> .....	<b>16</b>
1.    ECHANTILLON ETUDIE .....	16
2.    METHODES.....	17
1 - <i>Récolte des données</i> .....	17
2 - <i>Description et quantification des données</i> .....	20
2a) <i>Détermination des proies sélectionnées</i> .....	20
2b) <i>Identification des modifications sur les carcasses</i> .....	21
<b>III) RESULTATS</b> .....	<b>23</b>
1.    AU MENU DE L’AIGLE ROYAL .....	23
1 - <i>Taxons consommés</i> .....	23
2 - <i>Individus ciblés</i> .....	27
2a) <i>Âge/masse des individus</i> .....	27
2b) <i>État sanitaire</i> .....	30
2.    REPRESENTATION DES ELEMENTS ANATOMIQUES .....	31
1 - <i>Les mammifères</i> .....	31
1a) <i>Variabilité inter-sites</i> .....	31
1b) <i>Modèle général</i> .....	36
2 - <i>Les oiseaux de taille moyenne</i> .....	37
3 - <i>Zoom sur les individus lourds (&gt; 5 kg)</i> .....	38
3.    FRAGMENTATION ET MODIFICATIONS DES SURFACES OSSEUSES .....	39
1 - <i>La fragmentation</i> .....	40
2 - <i>Les modifications des surfaces osseuses</i> .....	40
2a) <i>Cassures/fractures</i> .....	42
2b) <i>Traces de bec/serres</i> .....	43
2c) <i>Digestion</i> .....	44
3 - <i>Autres altérations observées</i> .....	49
<b>IV) DISCUSSION ET CONCLUSION</b> .....	<b>49</b>
1.    DISCUSSION ET COMPARAISON INTER-REFERENTIELS .....	49
2.    CONCLUSION.....	61
<b>TABLE DES ILLUSTRATIONS</b> .....	<b>63</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>66</b>
<b>WEBOGRAPHIE</b> .....	<b>69</b>

## Introduction

La connaissance des phénomènes actuels permet, grâce au principe de l'actualisme et au raisonnement par inférence, de mieux comprendre et appréhender les situations analogues qui se sont produites dans le passé (Sullivan, 1978 ; Gifford, 1981 ; Gifford-Gonzalez, 1991). Qu'ils soient issus de contextes archéologiques ou modernes, les ossements constituent une source d'informations essentielle concernant l'histoire du site d'où ils proviennent, l'environnement de ce dernier, ainsi que la présence et les comportements des agents qui les ont accumulés. En effet, étudier ces ossements contribue à l'identification des événements qui se sont déroulés sur un site, et des conditions dans lesquelles ces mêmes événements se sont produits. Déterminer qui est à l'origine d'une accumulation osseuse donnée apporte des informations supplémentaires sur les modes de subsistance des prédateurs, humains ou non, qui ont mis à mort ces proies ainsi que les relations qu'ils ont pu entretenir entre eux. La question de la caractérisation de l'origine des accumulations osseuses anime les recherches depuis plusieurs décennies et fait l'objet d'une importante littérature (par exemple Andrews, 1990 ; Hockett, 1991 ; Laroulandie, 2000 ; Stodder, 2018 ; Lloveras *et al.*, 2020 ; Pelletier *et al.*, 2020 ; Royer *et al.*, 2021...). L'identité taxinomique des restes osseux présents en stratigraphie peut également renseigner les conditions environnementales contemporaines des niveaux où ils se trouvent. Cependant, un changement de fréquence des proies dans le spectre faunique de deux niveaux ne signifie pas toujours une modification environnementale, elle peut également résulter du changement dans les modalités d'accumulation ou d'acquisition des proies (Andrews, 1990). La connaissance des modes de vie et des régimes alimentaires des prédateurs est alors essentielle pour aider à interpréter les changements mis en évidence. *In fine*, elle permet de mieux identifier la contribution d'un organisme à la formation d'un gisement. Il est donc nécessaire d'intégrer les données éthologiques à ce type d'analyse, et de s'appuyer sur des référentiels actuels dont l'origine et l'évolution sont connus.

Afin d'apporter de nouveaux éléments de réponses à ces questions, ce mémoire propose de documenter avec une approche néotaphonomique (c'est-à-dire une analyse taphonomique appliquée à du matériel actuel) les caractères diagnostiques de la prédation par l'Aigle royal. L'étude repose donc sur le principe d'actualisme, habituellement utilisé pour ce type d'analyse. L'objectif principal est de caractériser les accumulations osseuses produites par l'Aigle royal afin de pouvoir bénéficier d'un référentiel solide permettant de les identifier dans le registre archéologique et paléontologique, et de contribuer indirectement à la connaissance de sa



biogéographie passée. Cela passe par la description des choix alimentaires de l'Aigle, ainsi que des modifications des carcasses et des surfaces osseuses qu'il induit lors de la consommation des proies. Ces dernières modifications peuvent se manifester sous forme de cassures, de traces d'impact de bec et/ou de serres. À terme, ces données sont comparées à celles issues d'autres études sur les signatures taphonomiques de l'Aigle royal, ainsi que d'autres espèces d'Aigle. Enfin, cette étude participe à un projet de recherche plus général en cours de développement entre des membres de la LPO Grands Causses et de PACEA, qui vise à diagnostiquer la présence historique des grands rapaces diurnes sur le territoire français, et apporter des éléments de discussion sur les mesures de conservation qui doivent être prises pour la sauvegarde de ce patrimoine biologique.

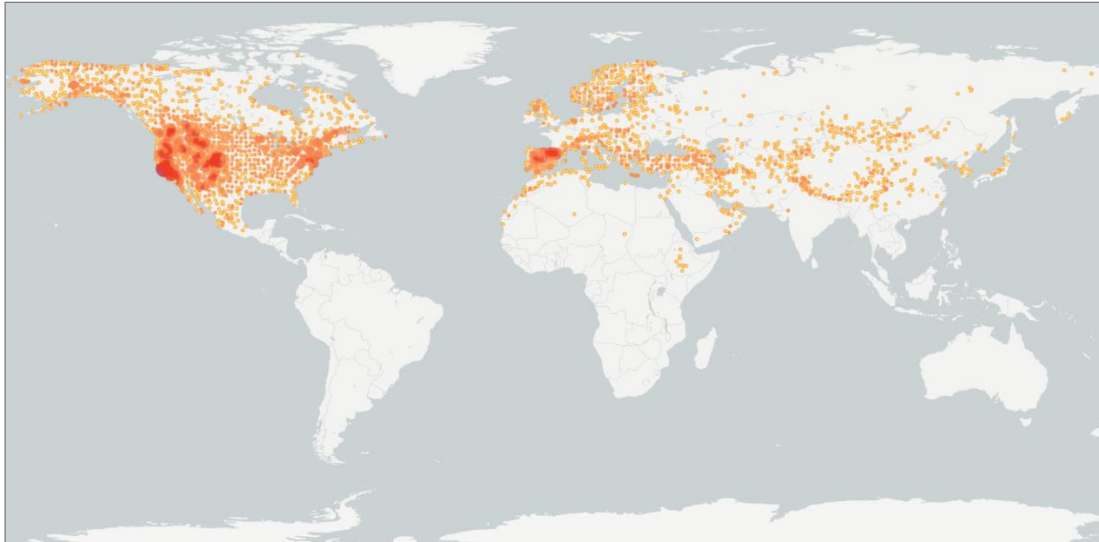
## **I) L'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) : état des connaissances**

La répartition géographique actuelle de ce rapace est documentée notamment par le Système d'Information de l'Inventaire du Patrimoine naturel (SINP), dont les données se trouvent en libre accès ([https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/2645/tab/carte](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/2645/tab/carte)). La base GBIF (Global Biodiversity Information Facility) Backbone Taxonomy a également été consultée ([www.gbif.org](http://www.gbif.org)). Les informations sur la répartition passée de l'Aigle en France sont principalement tirées de la thèse de C. Mourer-Chauviré (1975), et de la base I2AF de l'Inventaire National du Patrimoine Naturel (INPN), coordonnée par C. Callou (Ed. 2023). Pour mieux cerner le prédateur qui nous intéresse ici, nous nous sommes appuyés sur des ouvrages éthologiques, en particulier ceux de P. Géroudet (1965), B. Ricau et V. Decorde (2009), ainsi que T.E. Katzner *et al.* (2020). L'état des recherches sur la signature taphonomique de l'Aigle est dressé à partir des analyses effectuées par D. N. Schmitt (1995), B. S. Hockett (1995, 1996), Z.M. Bochenski *et al.* (1999, 2009) et L. Lloveras *et al.* (2018).

### **1. Répartition spatiale et comportements**

#### **1 - Distribution géographique actuelle**

L'Aigle royal est actuellement le plus grand rapace prédateur nichant en France. Il est présent dans une grande partie de l'hémisphère Nord, sans compter les zones au climat extrême (Figure 1). En France, il se retrouve en majorité dans la région des Alpes, du Sud du Massif central et des Pyrénées (Figure 2).



**Figure 1** : Répartition actuelle d'*Aquila chrysaetos* sur le globe, à partir des observations effectuées de 1830 à 2022 (tirée de GBIF)

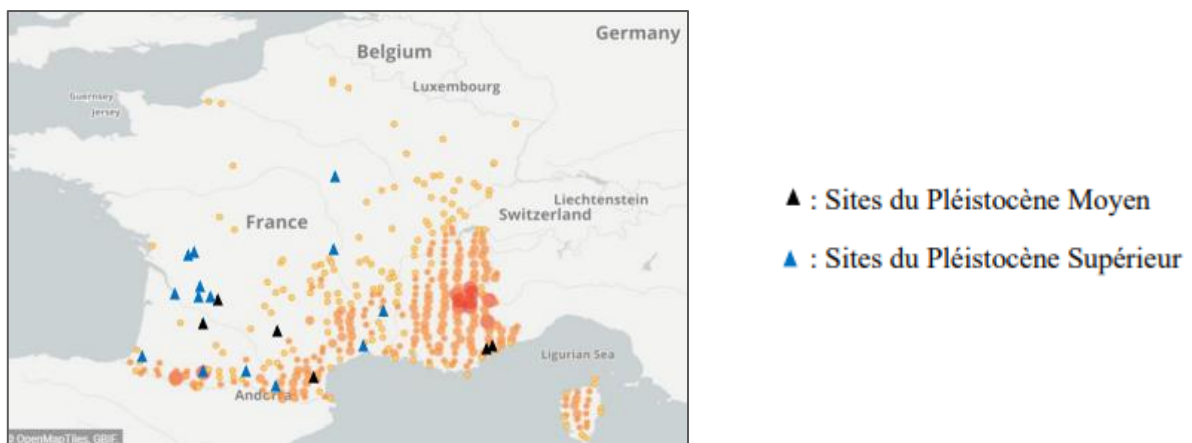
Il existe six sous-espèces d'Aigle royal, présentes dans autant de régions du globe : *Aquila chrysaetos chrysaetos* (Nord et Est de l'Europe, dont la France) *A. c. homeyri* (Espagne et Afrique du Nord), *A. c. daphanea* (Asie centrale), *A. c. kamtschatica* (Nord-Est de l'Asie), *A. c. japonica* (Japon et Corée) et *A. c. canadensis* (Amérique du Nord). Ces sous-espèces ont été distinguées sur la base de différences morphologiques concernant la stature et la couleur du plumage.

## 2 - L'Aigle en France, une présence ancienne aujourd'hui menacée

De rares sources historiques du XIXe siècle mentionnent la présence de l'Aigle royal dans les régions montagneuses françaises (Ricaud et Decorde, 2009). L'étude du matériel archéologique faunique, menée notamment par Mourer-Chauviré (1975) pour les gisements préhistoriques, a permis d'attester cette présence dès le Pléistocène moyen. À ce jour, le plus ancien reste d'Aigle royal découvert provient de la Caune de l'Arago (Tautavel, Pyrénées orientales), dans un niveau stratigraphique daté de 550 000 ans environ par les méthodes ESR (résonance de spin électronique) et Uranium-Thorium. Il s'agit d'une troisième phalange du deuxième doigt postérieur (Mourer-Chauviré, 1975 ; Lebreton *et al.*, 2016). D'autres sites du Pléistocène moyen (entre 550 et 129 ka BP<sup>1</sup>) ont également livré des restes d'Aigle royal (base I2AF Callou *ed.* 2023 ; Mourer-Chauviré, 1975), comme Combe-Grenal (Domme, Dordogne), Les Fieux (Miers, Lot), l'Aven 1 des abîmes de La Fage (Noailles, Corrèze), Terra Amata et le Lazaret (Nice, Alpes-Maritimes). Pour le Pléistocène supérieur (126-11,7 ka BP) on compte notamment

<sup>1</sup> Ka BP : Kilo-année *Before Present*, donc avant 1950.

le Pech de l'Aze I (Carsac, Dordogne), la Ferrassie (Savignac-de-Miremont, Dordogne), Laugerie-Haute (Les Eyzies-de-Tayac-Sireuil, Dordogne), la Grotte I du Mas des Caves (Lunel-Viel, Hérault), la Grotte du Renne (Arcy-sur-Cure, Yonne), le Taillis-des-Coteaux (Antigny, Vienne), le Bois-Ragot (Gouex, Vienne), le Roc-de-Marcamps (Prignac-et-Marcamps, Gironde), la Grotte des Fées (Châtelperron, Allier), la Grotte Tournal (Bize-Minervois, Aude), la Grotte de La Vache (Alliat, Ariège), la Grotte des Trois-Frères (Montesquieu-Avantès, Ariège), la Grotte du Bois du Cantet (Espèche, Hautes-Pyrénées), la Grotte d'Isturitz (Saint-Martin d'Arberoue, Pyrénées-Atlantiques) (Figure 2)... parmi d'autres cas. Dans la plupart de ces sites, seulement un ou deux individus sont représentés. Les grottes de Combe-Grenal, Mandrin (Maltaverne, Drôme), Fumane (Fumane, Italie), Rio Secco (Clauzetto, Nord-Est de l'Italie) ont chacune livré une griffe d'Aigle royal présentant des stries de découpes, pouvant correspondre à une activité symbolique (Fiore *et al.* 2004 ; Morin et Laroulandie, 2012 ; Romandini *et al.*, 2014). Ces découvertes suggèrent que l'Aigle royal ne fut pas un animal anodin pour les Néandertaliens (Finlayson *et al.*, 2019).



**Figure 2** : Répartition actuelle (disques orange) et ancienne (sites mentionnés précédemment) (triangles) d'*Aquila chrysaetos* en France, à partir des observations effectuées de 1830 à 2022 (modifiée d'après GBIF).

Aujourd'hui, cette espèce a presque disparue du Nord de l'Aquitaine ainsi que du centre de la France, probablement suite à l'anthropisation excessive du milieu (Figure 2). En effet le développement de l'agriculture et des villes inclut la construction d'aménagements néfastes pour l'Aigle (lignes à haute tension, éoliennes, pollution sonore...) et une activité de déboisement, privant les rapaces de possibilité de nidification en plaine (Ricaud et Decorde, 2009). Au cours de la période contemporaine, l'Aigle fut également victime de braconnage, qui l'a contraint à se cantonner dans les secteurs les plus sauvages (Ménatory, 1972). L'Aigle royal est désormais une espèce protégée depuis 1981, son braconnage est donc sanctionné par la loi (Ricaud et Decorde, 2009).

### **3 - Habitat**

Ce rapace occupe généralement et actuellement les espaces ouverts en régions montagneuses, et nidifie dans les cavités des corniches rocheuses, jusqu'à 2000 m d'altitude. Il peut également construire son nid dans un arbre en forêt, pourvu que celle-ci ne soit pas trop dense et soit parsemée de clairières de façon à pouvoir chasser. Le nid est composé de branchages couvrant une litière plutôt compacte (observation personnelle) constituée de feuilles et de brindilles. Les couples possèdent chacun deux à sept aires établies sur un territoire de 30 à 50 km<sup>2</sup>, mais ils n'en occupent qu'une durant leur cycle de reproduction. Il se peut qu'une ou deux aires en particulier soient préférées par un couple, qui les occuperont plus fréquemment que les autres.

### **4 - Cycle de vie annuel**

Les aigles royaux ont une espérance de vie de 25 ans en moyenne, et atteignent leur maturité sexuelle à l'âge de 3 ou 4 ans. La reproduction débute en hiver, avec l'accouplement puis l'aménagement de l'aire de nidification. Au printemps (fin mars-début avril), les femelles pondent un à deux œufs, parfois trois, dans l'aire de leur choix. Environ 45 jours après la ponte, les petits naissent et sont élevés par leurs parents pendant le printemps et l'été. Après leur envol du nid ou pendant la deuxième moitié de l'été, les aiglons demeurent en moyenne 180 jours sur le territoire de leurs parents, sauf si ceux-ci les chassent (Hemery *et al.*, 2023), et quittent le plus souvent le territoire parental à la fin de l'automne.

### **5 - Mode de chasse**

Pendant la période d'élevage, le mâle et la femelle chassent régulièrement ensemble, planant en altitude pour mieux localiser les proies. En capturant leur futur repas, généralement par la tête ou le dos, les griffes du premier doigt de l'Aigle s'enfoncent dans la chair. Souvent, la proie décède suite à une hémorragie aggravée par une forte compression par les serres (pouvant exercer jusqu'à 250 kg/cm<sup>2</sup>). Si besoin, elle peut être achevée à coups de bec.

### **6 - Habitudes alimentaires**

Les proies acquises sont ramenées au nid afin de nourrir les aiglons et la femelle. En effet, cette dernière s'alimente généralement en même temps que ses petits, tandis que le mâle ingère son repas dans un lieu autre que l'aire. Les images capturées par des pièges vidéos installés par les agents de l'association BECOT (Baguage et Études pour la Conservation des Oiseaux et de leurs Territoires) montrent en effet des mâles apporter leur proie au nid, jabot plein. Il a été

observé que les parents ramènent parfois davantage de nourriture que nécessaire, ce surplus n'étant pas forcément consommé. À intervalles de temps réguliers, le nid est nettoyé et les ossements sont éparpillés aux alentours par les parents (Géroudet, 1965 ; Ricau et Decorde, 2009 ; Katzner *et al.*, 2020).

L'Aigle royal est uniquement carnivore et spécialisé dans la prédation des proies de taille moyenne, comprenant :

- des rongeurs : rats adultes, marmottes surtout jeunes mais aussi adultes,
- des Léporidés : lapins et lièvres plutôt adultes,
- des petits carnivores : fouines, martres et chats majoritairement adultes, mais aussi des renardeaux,
- des jeunes ongulés de taille moyenne : faons (de chevreuils), cabris, agneaux, marcassins,
- des oiseaux de taille moyenne, notamment des tétras, des faisans, des Colombiformes et des Corvidés,
- des reptiles : serpents, lézards et tortues (Géroudet, 1965 ; Ricau et Decorde, 2009).

Ce schéma alimentaire est valable pour les régions d'Europe tempérée, mais l'Aigle s'adapte en fonction de la disponibilité des proies. En Scandinavie, les ongulés précédemment cités sont remplacés par de jeunes rennes, et les gros rongeurs par des lemmings (Géroudet, 1965 ; Tjernberg, 1981). En Corse, les chèvres, serpents, sangliers et Corvidés sont ses proies préférées au vu de leur abondance (Seguin *et al.*, 2001). Les tortues sont surtout consommées dans les régions méditerranéennes (Seguin *et al.*, 2001 ; Gil-Sanchez *et al.*, 2022 ; Sidiropoulos *et al.*, 2022). La chasse s'effectuant de jour, les taxons exclusivement nocturnes ne sont pas vraiment consommés. Le régime alimentaire de l'Aigle royal peut donc être qualifié d'opportuniste. Cette capacité d'adaptation se remarque aussi dans la pratique occasionnelle du charognage, et ce, surtout sur les proies de plus grande taille et au cours de l'hiver, puisque c'est la période au cours de laquelle la chasse est contrainte par la raréfaction des proies (Géroudet, 1965 ; Katzner *et al.*, 2020).

Le tableau de chasse de l'Aigle comprend ainsi des proies dont la masse corporelle totale est comprise entre 500 g et 15 kg. Cependant, la masse critique qui peut être transportée par l'Aigle sans impact sur son vol est de 5,6 kg. Le transport d'une proie légèrement plus lourde se fait alors sur une courte distance et implique un vol bas et interrompu (Ricau et Decorde, 2009). De fait, les proies de plus grande taille ne sont pas transportées entières. Dans le cas des plus grands taxons (chevreuil, suidés), seuls les individus néonataux peuvent être transportés entiers. Pour

le transport des adultes, des portions de 500 g à 4 kg sont alors privilégiés. De nombreux auteurs ont relevé la fréquence relativement élevée des léporidés dans les reliefs de repas d'Aigle royal (Hockett, 1996 ; Ricau et Decorde, 2009 ; Lloveras *et al.*, 2018). Il est remarquable de constater que la saison d'élevage des jeunes aigles correspond exactement au pic d'abondance des léporidés dans l'environnement (Cochard, 2004).

Globalement, l'alimentation de l'aiglon dépend de l'abondance des proies sur le territoire de chasse de ses parents, mais aussi de leur masse, facteur limitant leur transport jusqu'à l'aire. Les aigles adultes en revanche ont la possibilité de consommer leur proie sur place, bien qu'ils se sentent vulnérables à terre (D. Buhot, communication personnelle). Pour nourrir leurs petits, les parents ont tendance à sélectionner les parties les plus nourrissantes sur les proies trop lourdes pour être rapportées entières. C'est un fait déjà observé pour le cas du lièvre, dont l'arrière-train est préférentiellement rapporté car plus charnu. La partie antérieure est alors soit consommée au préalable par les parents (surtout le mâle, qui s'occupe rarement du nourrissage des aiglons), soit abandonnée. Les levrauts étant plus légers, ils sont souvent ramenés entiers (Cochard, 2004).

## **2. Signatures taphonomiques**

### **1 - Études antérieures**

À ce jour, six études ont été réalisées pour caractériser les signatures taphonomiques de l'Aigle royal. Elles traitent d'une part les ossements non ingérés accumulés dans et à proximité des aires de nidification, et d'autre part les restes ingérés trouvés dans les pelotes de rejection. Toutes ont pour but de répondre à la question suivante : quels sont les critères qui permettent de reconnaître, à partir d'accumulations osseuses, l'activité alimentaire de l'Aigle royal, et de la distinguer de celle d'autres prédateurs ?

La première étude a été effectuée par B.S. Hockett (1993) dans le cadre de sa thèse de doctorat, dont les principaux résultats ont été publiés sous la forme d'un article (Hockett, 1995). Elle porte sur la distinction qui peut être faite entre des ossements de léporidés accumulés par les rapaces de ceux qui le sont par les humains. L'auteur a analysé plus de 1500 restes actuels de léporidés (lièvres et lapins) non ingérés, ramassés dans deux aires de rapaces situées dans le Nord-Ouest du Nevada (Matrac roost et Waterfall roost), dans le Grand Bassin des États-Unis. L'occupation par l'Aigle royal est attestée à Matrac roost par la découverte de poussins et de plumées d'Aigle royal. L'aire de Waterfall roost était quant à elle occupée par le faucon des prairies (*Falco mexicanus*), et possiblement par d'autres rapaces. Les restes ingérés issus de 80

pelotes de Grand-duc d'Amérique, ramassées sur trois sites, ont également été étudiés. Dans son matériel, il note que les léporidés adultes sont plus abondants que les jeunes. Dans les pelotes, les léporidés juvéniles sont dominants, les éléments des membres antérieurs sont fréquents et fragmentés. En revanche les restes non ingérés appartiennent majoritairement à des adultes, sont dominés par les tibio-fibula et les vertèbres, et sont peu fragmentés. Les marques de consommation produites par des coups de bec et/ou de serres sont rares (touchent 1 à 2% des restes).

Au milieu des années 1990, D. N. Schmitt (1995) publie les résultats de ses analyses menées sur plus de 900 restes actuels de lièvres et de lapins, collectés dans un nid d'Aigle royal situé à Cathedral roost, dans le Nord de l'Utah (Grand Bassin des États-Unis). La représentation anatomique ainsi que les marques de consommation observées en surface des os sont décrites. L'auteur s'est focalisé sur le nombre minimum d'éléments squelettiques (NME) des os longs, des ceintures scapulaire et pelvienne, ainsi que la mandibule, le crâne, le calcanéum et l'astragale. Schmitt a pu ainsi montrer que les éléments de l'arrière-train des léporidés sont davantage représentés que ceux de la partie antérieure. La fragmentation est importante, mais résulte majoritairement d'altérations météorologiques. Les traces de consommation des carcasses sont peu abondantes et se rencontrent sous forme de fractures (surtout sur le ramus mandibulaire, les apophyses vertébrales et parfois la branche ischio-pubienne et les tibio-fibula), de digestion au degré élevé, et de rares perforations. L'auteur n'exclut pas le rôle d'autres prédateurs dans la constitution de ces accumulations, qui auraient pu charogner une partie de ces ossements. Les seules traces de consommation dont la morphologie correspond à des coups de bec ou de serres d'Aigle royal sont présentes uniquement sur trois ossements. Ces résultats ont été comparés avec ceux de Hockett (1993) concernant le site de Matrac roost, et s'avèrent semblables. Une différence entre ces deux accumulations a toutefois été remarquée : les léporidés juvéniles sont davantage présents dans la série de Matrac roost que dans la série de Cathedral roost.

B. S. Hockett va par la suite publier une seconde étude (Hockett, 1996), portant sur près de 50 ossements contenus dans une vingtaine de pelotes d'Aigle royal issues de deux nids : Matrac roost ainsi qu'un nid situé dans le désert de Black Rock, également dans le Nord-Ouest du Nevada. Les restes appartiennent en grande majorité à des léporidés (45 restes). Parmi les restes déterminables, les vertèbres, les fragments de crânes, les coxaux et les calcanéums dominent. Les ossements présentent des traces de polissage et de corrosion par les sucs digestifs et sont nettement plus altérés que les os provenant des pelotes de rapaces nocturnes. Contrairement aux mammifères carnivores, les aigles sont capables d'avaloir des ossements volumineux, comme

un tibia de lièvre par exemple, et ce sans les réduire préalablement par fragmentation. De plus, la coloration des os avalés est plus ou moins similaire à celle des ossements non ingérés, cela n'est pas le cas pour les os excrétés par les mammifères carnivores.

Quelques années plus tard, Z. M. Bochenski (1999) a publié une première étude portant sur 2000 restes osseux d'oiseaux (principalement des Galliformes) non ingurgités, en provenance de 20 aires finlandaises. L'effectif des éléments anatomiques de chaque aire a été additionné pour les besoins de l'étude détaillée. De fait, la variabilité inter-sites n'a pas été traitée. Des observations ont également été réalisées sur le contenu d'une trentaine de pelotes. Ces dernières contiennent peu d'ossements, dont majoritairement des petits éléments, à savoir des phalanges ou des fragments de diaphyses, ainsi que des fragments de crânes. Ces restes présentent un degré élevé de fragmentation et de digestion. Dans cet article, l'auteur s'est concentré sur l'étude de la représentation des différentes parties anatomiques. Il ressort que les sternums et os coxaux sont les plus représentés, suivis des scapulas, coracoïdes et humérus. Les éléments du membre supérieur sont légèrement plus abondants que ceux du membre inférieur.

Par la suite, Bochenski *et al.* (2008) ont présenté une étude complémentaire des modifications observées sur les ossements non ingérés de cette même série. Les résultats montrent que les crânes sont très fragmentés. Exception faite de la scapula, les os allongés sont le plus souvent complets ; lorsqu'ils sont fracturés, c'est la partie distale qui est souvent manquante. Sur l'os coxal, le pelvis est majoritairement manquant, et sur le sternum le rostrum est quasi-omniprésent. Enfin, des perforations sont visibles sur la moitié des humérus et des pelvis, et sur près de 40% des sternums.

Si les cinq études citées précédemment sont centrées sur un groupe taxinomique en particulier (les Léporidés d'une part et les oiseaux d'autre part), celle de Lloveras *et al.* (2018) est la première à proposer la caractérisation de la signature taphonomique de l'Aigle royal sur la totalité du bol alimentaire. Pour cela, les restes actuels de dix aires localisées dans la péninsule ibérique (deux dans les Pyrénées et huit dans la plaine de La Serra de Montsant) ont été analysés. Le corpus est composé au total de 2695 vestiges osseux. Du point de vue taxinomique, les séries sont très diversifiées : elles comprennent de nombreux restes de léporidés, suivis de loin par des vestiges d'oiseaux, de petits carnivores, de petits mammifères sauvages et domestiques, ainsi que de reptiles. Les Léporidés sont représentés par plus de 600 restes ingérés, et 800 restes non ingérés. Globalement, au sein de l'échantillon, les ossements sont très peu fragmentés, mais de fortes différences ont été notées entre le contenu des pelotes et les restes non ingérés. En effet, les os longs de Léporidés contenus dans les pelotes sont nettement plus fragmentés que les os non ingérés. En additionnant les effectifs des dix nids, il a été retenu que



les éléments représentés dépendent de la masse corporelle de la proie. Cela inclut une sélection dans les classes d'âges des individus consommés : pour les taxons de grande taille, ce sont les juvéniles qui sont prisés alors que pour les petits taxons, les adultes sont dominants. Les taxons de petite taille ou de taille moyenne juvéniles sont régulièrement ramenés entiers. Concernant les restes de mammifères, les membres postérieurs demeurent toutefois plus abondants que les membres antérieurs. Parmi les restes d'oiseaux, le corpus est dominé par les sternums, os coxal et ossements de la ceinture scapulaire. Les traces en surface ont une fréquence modérée et se manifestent sous forme de perforations, de fractures à bord crénelé ou non, d'enfoncements et d'encoques. Des traces de digestions sont visibles sur près d'un quart de la totalité de l'échantillon, et plus de la moitié des ossements digérés présente un fort degré de corrosion par les sucs digestifs.

## **2 - Synthèse des connaissances concernant les signatures taphonomiques de l'Aigle royal sur les ossements non ingurgités**

Ces publications ont permis de mettre en évidence plusieurs caractéristiques des accumulations osseuses produites par l'Aigle royal, dont nous proposons une synthèse (Tableau 1, \*Les marques de becs/serres les plus fréquentes sont les crénelures et fractures, suivies des perforations, des encoques, et des enfoncements (Lloveras et al., 2018). Seul le matériel non ingurgité est pris en compte, car nous verrons prochainement que les pelotes ne seront pas traitées dans ce mémoire.

Peu d'études portent sur la caractérisation taphonomique multicritères des accumulations osseuses produites par l'Aigle royal. Une seule traite de l'ensemble des proies consommées (Lloveras *et al.*, 2018) et aucune ne se base sur du matériel provenant du territoire français. Cet état des recherches limite la possibilité d'identifier la contribution de ce rapace dans le registre archéologique et paléontologique, et la mise en lumière des possibles variations intraspécifiques. La fréquence, la localisation et les types de modifications de surface demeurent peu documentés à ce jour et méritent que l'on s'y penche davantage comme l'ont fait par exemple A. Armstrong et G. Avery (2014) sur les accumulations sud-africaines résultant de l'activité de l'Aigle de Verreaux (*Aquila verreauxii*).

Ce mémoire, qui se focalise sur le choix des proies et les modifications induites sur leurs squelettes par l'Aigle Royal, propose un nouveau référentiel actualiste susceptible d'apporter des éléments de distinction des prédateurs accumulateurs d'ossements. Le champ d'investigation se concentre sur les phases d'acquisition des proies jusqu'à leur abandon, comprenant la sélection des taxons, leur transport jusqu'à l'aire ainsi que les modalités de leur consommation.

Taxons	<b>Oiseaux</b> Adultes dominants (Bochenski <i>et al.</i> , 1999, 2008 ; Lloveras <i>et al.</i> , 2018)	<b>Léporidés</b> Adultes et jeunes (Schmitt, 1995 ; Lloveras <i>et al.</i> , 2018)	<b>Grands rongeurs et mustélidés</b> Adultes dominants (Lloveras <i>et al.</i> , 2018)	<b>Renards</b> Juvéniles dominants (Lloveras <i>et al.</i> , 2018)	<b>Ovins, caprins et suidés</b> Juvéniles dominants (Lloveras <i>et al.</i> , 2018)
<b>Représentation anatomique</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Côtes et éléments crâniens sous-représentés, prédominance du bec</li> <li>- Sternums et coxaux surreprésentés</li> <li>- Membres supérieurs (dont ceinture scapulaire) plus nombreux que membre inférieur, avec coracoïde et humérus dominants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fémurs, tibias, coxaux et calcanéums dominants</li> <li>- Carpiens et tarsiens fréquents</li> <li>- Peu de scapulas et patellas</li> <li>- Membres postérieurs plus nombreux que membres antérieurs</li> <li>- <i>Lepus sp.</i> et <i>Sylvaticus</i> : crânes rares, davantage de mandibules (Schmitt, 1995)</li> <li>- <i>Oryctolagus cuniculus</i> : crânes fréquents (Lloveras <i>et al.</i>, 2018)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crânes, mandibules, phalanges et vertèbres surreprésentés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Côtes absentes</li> <li>- Reste du squelette représenté en totalité, avec mandibules et coxaux dominants</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Surreprésentation des crânes et mandibules</li> <li>- Peu de scapulas, métacarpiens, patellas et calcanéums</li> <li>- Côtes absentes</li> </ul>
<b>Fragmentation</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Éléments crâniens et sternums très fragmentés</li> <li>- Coxaux souvent fragmentés</li> <li>Os longs généralement entiers</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Os longs, vertèbres et sacrum majoritairement complets</li> <li>- Carpiens et tarsiens toujours complets</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Scapulas et coxaux souvent fragmentés</li> <li>- Reste du squelette complet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crânes et scapulas majoritairement fragmentés</li> <li>- Reste du squelette complet</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Crâne toujours fragmenté</li> <li>- Fragmentation régulière des mandibules, scapulas, vertèbres et os longs</li> </ul>
<b>Modifications de surface*</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sternums et coxaux fréquemment crénelés et perforés</li> <li>- Os longs peu modifiés</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <i>Lepus sp.</i> et <i>sylvaticus</i> : peu de modifications, apophyses/épines vertébrales, ramus mandibulaire, tibio-fibula et parfois pubis fracturés (origine discutée) ( Schmitt, 1995)</li> <li>- <i>Oryctolagus cuniculus</i> : marques de bec/serres principalement sur vertèbres, coxaux, tibio-fibula (Lloveras <i>et al.</i>, 2018)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Marques de bec/serres principalement sur mandibules et vertèbres</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Parfois marques de bec/serres sur crâne, mandibules, coxaux, vertèbres, scapulas et ulnas</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fractures à bords lisses et crénelés, perforations et griffades principalement sur mandibules, scapulas, vertèbres et os longs</li> </ul>

**Tableau 1** : Synthèse des connaissances sur les modifications des carcasses et de la surface des os induites par l'Aigle royal, par proies.

## II) Matériel et Méthodes

### 1. Échantillon étudié

Le matériel étudié a été récolté directement dans les lieux de nidification de l'Aigle royal par un réseau de naturalistes coordonné par C. Itty (association BECOT) dans le cadre de recherche sur le suivi de cette espèce, menée en collaboration avec le Centre d'Écologie Fonctionnelle et Évolutive (CEFE) de Montpellier. La collecte s'effectue au cours de missions consistant à la pose de bagues d'identification et de balise GPS sur les aiglons, qui permettront de suivre leur évolution. Seuls les ossements se trouvant sur et autour du nid ont été ramassés, les nids n'ont pas été fouillés en profondeur et le contrebas des corniches rocheuses n'a pas été exploré. Les échantillons de restes de repas nous ont été confiés par P. Bayle qui avait précédemment réalisé une étude (inédite) sur le régime alimentaire de ce rapace. Ce matériel provient de 23 aires (Figure 3) occupées par l'Aigle royal, situées dans les Causses (12 aires), dans les Alpes (7 aires), en Basse-Provence (3 aires) et dans les Pyrénées (1 aire). L'alimentation de ce rapace est ainsi documentée dans différentes régions françaises. Les lots ont été collectés au cours de l'été et au début de l'automne 2021 (entre juin et octobre), soit quelques semaines à quelques mois après la mort des proies, transportées dans les aires par les adultes pour le nourrissage des aiglons de l'année ainsi que de la femelle. En ce qui concerne les aires de Meyrueis et Argelliers, les restes ont été accumulés sur une plus longue période et correspondent à deux années de nourrissage (respectivement 2020 et 2019 en plus de 2021). Les aires sont inaccessibles ou difficiles d'accès aux animaux non volants et sont situées dans les cavités de corniches rocheuses, ce qui limite les possibilités de perturbations par d'autres prédateurs et/ou par des agents météorologiques. Sur la majorité des aires, un seul ramassage a été opéré, à l'exception de Genestelle, La Canourgue, Théus, La Malène et Saint Georges-de-Luzençon, où un premier ramassage a été effectué en juin et un deuxième en août, septembre, octobre ou novembre. Le corpus total est composé de plus de 4000 vestiges osseux quasi exclusivement non-ingurgités, avec vraisemblablement de très rares vestiges de pelotes disloquées. Les pelotes reconnues comme telles lors de la collecte, ainsi que les plumées collectées dans les aires en même temps que les restes osseux ont été analysées par P. Bayle, mais n'ont pas été conservées et ne seront donc pas étudiées dans ce mémoire.



*Figure 3 : Carte de répartition des aires de prélèvement (modifiée à partir de Géoportail).*

## 2. Méthodes

### 1 - Récolte des données

En amont de l'étude, la totalité de la collection a été étalée afin d'avoir une idée générale de son aspect, et ainsi mieux conceptualiser et adapter l'enregistrement des données et la base qui en résulte. Cette dernière a été construite sur le logiciel Microsoft Excel, et contient les informations suivantes, enregistrées pour chacun des ossements :

- **Lieu, date et conditions de collecte** : le contenu des étiquettes qui ont été réalisées par C. Itty lors de la collecte du matériel a été reporté dans plusieurs champs, en particulier le nom des communes dans lesquelles se trouvent les aires de prélèvement, ainsi que la date du ramassage des ossements. Des informations complémentaires, telles que le nombre de ramassages sur un même site, la période de ramassage vis-à-vis du rythme de vie des aigles (avant ou après que les aiglons aient quitté le nid définitivement), ou le prélèvement d'éléments à part ont également été consignées dans le tableur. Le prélèvement à part concerne cinq éléments, sur la totalité de la collection.
- **Identifiant** : un numéro de lot a été attribué aux ossements récupérés en connexion anatomique, afin d'attester leur appartenance à un même individu. Les pièces fragmentées ou non soudées qui peuvent être remontées ensemble ont également été enregistrées en tant que lot. Certaines pièces indépendantes présentant des états de surfaces particuliers ont été numérotées, afin de les retrouver plus facilement dans la collection. Pour cela, une gommette a été collée sur les surfaces ne présentant pas de

marques particulières (notamment sur les onglons des phalanges distales des ongulés). Parfois l'étiquette avec le numéro a été attachée à l'ossement à l'aide d'un élastique.

- **Taxon et élément anatomique** : nous avons déterminé le matériel indépendamment des identifications de P. Bayle, les résultats ont ensuite été comparés afin d'être renforcés. Chaque élément a été déterminé anatomiquement et taxinomiquement, en utilisant la collection d'anatomie comparée du laboratoire PACEA à l'Université de Bordeaux (<https://pacea-collections.inist.fr/collections/show/12>). Le traité d'anatomie comparée des mammifères domestiques de Barone (1999) et le manuel d'identification des ossements d'oiseaux de Cohen et Serjeantson (1996) ont également servi d'appui. Tous les éléments anatomiques ont été enregistrés, à l'exception des sésamoïdes des petits mammifères (lièvre, renard, mustélidés). Ces éléments sont en effet très sensibles au biais de récolte, le sédiment n'ayant pas été tamisé. Étant donné la difficulté de les repérer sur le terrain, que ce soit en contexte archéologique ou moderne, il semble donc peu pertinent de les utiliser comme critère d'identification en termes de représentation anatomique. Les dents n'ont pas été enregistrées une par une, mais incluses avec les crânes et mandibules. Les phalanges antérieures et postérieures des mammifères n'ont pas été différenciées.
- **Portion anatomique** : l'état de complétude des éléments est exprimé par des codes en partie inspirés de ceux utilisés par Costamagno (1999), adaptés pour notre étude. En cas de fragmentation, la partie présente de l'os est mentionnée.
- **Latéralisation** : chaque os a été latéralisé de façon à permettre l'estimation des Nombres Minimum d'Individus (NMI).
- **Longueur des diaphyses** : la longueur diaphysaire des os longs complets a été mesurée à l'aide d'un pied à coulisses ou d'une règle, afin de calculer le nombre minimum d'individus d'une part et d'estimer pour les juvéniles l'âge au décès des individus prélevés.
- **Âge** : il est estimé pour les mammifères à partir du degré d'épiphyssation des os longs, mis en relation avec l'âge dentaire pour le chevreuil (d'après Tomé et Vigne, 2003) et avec les mesures du crâne et mandibules pour le renard roux (d'après Englund, 2005). Pour les individus juvéniles, étant donné que la date de ramassage est connue, le facteur saisonnalité a également été utilisé de façon à déterminer un âge maximal. Enfin, en ce qui concerne les restes aviaires, les classes d'âges ont été déterminées à partir du degré de porosité de l'os (Laroulandie, 2000).

- **État de propreté** : les ossements, dont certains présentaient encore des restes de peau et de kératine (poils, onglons), n'ont pas été nettoyés pour l'étude faute de temps nécessaire pour cette étape. Afin d'évaluer la conséquence de ce choix sur la perte d'informations concernant les modifications de surface, quatre lots d'ossements (trois membres et un rachis) ont été bouillis pour en retirer les tissus restants. Aucune trace de consommation n'a été repérée sous les tissus. La présence/absence de tissus sur les os a néanmoins été renseignée afin de pondérer nos calculs uniquement sur les ossements dont les surfaces ont pu être observées.
- **Traces de bec/serres et cassures** : leur nombre et localisation ont été renseignés pour chaque os. Pour cela, un modèle de numérotation des différentes portions d'ossements a été créé au préalable. Dans le cas des crânes, l'abréviation de l'os crânien altéré a été utilisée en guise de localisation. Que ce soit sous forme d'un numéro ou d'un nom d'ossement, chaque notation correspond à une seule altération. S'il y en a plusieurs du même type, les localisations sont liées par le symbole « + » dans la cellule. Les altérations produites par l'impact du bec et/ou des serres n'ont pas été différenciées par manque d'informations sur la question. De façon à faciliter la comparaison avec les résultats d'autres études, la typologie des modifications de surface adoptée et décrite ci-dessous est celle déjà utilisée dans la littérature (par exemple Pobiner *et al.*, 2007; Armstrong et Avery, 2014 ; Lloveras *et al.*, 2018...) :
  - *Enfoncements* (« *pits* ») = enfoncements de petite taille et de forme plus ou moins circulaire, sans qu'il y ait perforation de l'os ni de signes de cassures
  - *Perforations* (« *punctures* ») = perforations engendrant une cassure pénétrant dans l'épaisseur de l'os
  - *Encoches* (« *notches* ») = ponction située au bord d'un os (donc plutôt os plat), formant alors une cassure en demi-cercle
  - *Cassures/fractures à bord lisse* (« *fractured edges* ») = cassures plus ou moins nettes de l'os, avec une surface lisse
  - *Cassures/fractures à bord crénelé* (« *crenulated edges* ») = cassures non nettes, avec un bord dentelé
  - *Griffades* (« *scores* ») = produites par les serres et/ou le bec.
- **Digestion** : même si les pelotes n'ont pas été incluses dans la collection en tant que telles, une colonne présence/absence de marques de digestion a été ajoutée dans la base de données.

- **Insectes** : un champ spécifique aux altérations causées par les insectes a été rempli par les mentions présence/absence.
- **Autres altérations** : pour les autres altérations ou remarques concernant l'état général des os, une case « observations » clôture la base de données.

## 2 - Description et quantification des données

### 2a) Détermination des proies sélectionnées

- **Taxons consommés**

Les préférences alimentaires de l'Aigle sont exprimées dans un premier temps qualitativement et quantitativement par le nombre de restes déterminés (NRD) par taxons et par sites, ce qui donne une idée générale des animaux les plus présents dans les accumulations. Pour annuler l'effet de la fragmentation et ainsi se rapprocher du nombre réel de restes introduits, le nombre minimum d'éléments squelettiques (NME) a été estimé en tenant compte de la latéralisation de ces éléments. À partir de cela, le nombre minimum d'individus a pu être calculé pour chaque taxon, en tenant compte de leur classe d'âge (NMI d'exclusion avec distinction des juvéniles, subadultes et adultes). Afin d'évaluer le degré de diversité des taxons présents au sein d'un prélèvement, les indices de Simpson et de Shannon (d'après les formules d'Edward Simpson et Claude Shannon, citées dans Costamagno, 1999) ont été calculés avec le logiciel Past, de façon à fournir un indice de diversité chiffré. Nous retenons plutôt l'indice de Shannon, qui met en lumière les taxons rares, tandis que l'indice de Simpson a tendance à les soustraire. Plus sa valeur est éloignée de 0, plus l'échantillon est diversifié. Les valeurs de l'indice de Shannon ont été corrélées avec leur NRD associé, par site. La validité de cette corrélation a été testée via le coefficient de détermination  $R^2$ , et par le coefficient de corrélation de Spearman, calculé<sup>2</sup> sur le logiciel R. Si leurs valeurs tendent davantage vers 0 que vers 1, cela signifie que la corrélation NRD/diversité est faible. Les taxons les plus prisés ont été identifiés à partir de leur NMI total. Afin de savoir si les taxons sélectionnés diffèrent en fonction de l'environnement occupé, le type de milieu environnant les différentes aires a été identifié à partir du code CORINE LAND COVER (2018) appliqué au logiciel Géoportail (<https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/corine-land-cover-2018#!>), sur un rayon de 5km autour de la localité où les ossements ont été ramassés, de façon à cibler l'environnement le plus proche de l'habitat.

---

<sup>2</sup> Le calcul a été effectué par Frédéric Santos, ingénieur d'études au laboratoire PACEA.

- **Âge/masse des individus**

L'estimation du nombre minimum d'individus adultes, subadultes et juvéniles pour chaque taxon a pour finalité de connaître la gamme de taille, et par conséquent la masse, ciblée par l'Aigle. Pour cette analyse nous avons pris en compte la totalité des prélèvements dont nous disposons. Une liaison entre l'âge sélectionné et la masse de l'animal à l'âge adulte a été estimée pour apprécier une éventuelle sélection différentielle de classe d'âge en fonction de la taille des taxons. Pour cela, nous nous sommes appuyés sur les informations tirées des fiches espèces en libre accès sur le site de la LPO (<https://www.lpo.fr/decouvrir-la-nature/fiches-especes>), de l'OFB (<https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-fiches-especes>), et de Wikipédia (<https://fr.wikipedia.org>). À l'aide de ces mêmes sources, la masse réelle des individus juvéniles de l'échantillon a été estimée à partir de la masse de naissance. La masse au décès a pu être déduite plus précisément sur la base de Pellicioni *et al.* (2004) pour le chevreuil, et Travaine et Delibes (1995) pour le renard.

## **2b) Identification des modifications sur les carcasses**

- **Représentation des éléments anatomiques**

L'objectif est de savoir, au sein d'une accumulation produite par l'Aigle Royal, quelles parties anatomiques se démarquent selon leur abondance, et d'identifier les différences de représentation des éléments en fonction des types de proies. À partir du NME de chaque élément anatomique, nous avons donc calculé leur pourcentage d'abondance relative (%RA) pour les taxons les plus abondants (pour une raison de représentativité et de faisabilité), selon la formule de Dodson et Wexlar (1979) ( $\%RA = \frac{NME \times}{NMI \times \text{quantité spécifique}} \times 100$ ). Ce pourcentage consiste à évaluer la conservation différentielle des éléments anatomiques, en tenant compte de leur différence d'effectif au sein d'un squelette. Cette procédure a été appliquée aux séries contenant un taxon représenté par un minimum de 50 restes, pour limiter l'impact des séries peu fournies, donc moins représentatives. Dans un premier temps, les séries ont été traitées séparément de manière à mesurer la variabilité intersites (et donc intraspécifique). Dans un second temps, les NME de chaque site ont été additionnés par taxons pour obtenir un modèle plus robuste, comprenant un %RA des éléments anatomiques plus fiable. La représentativité de ce pourcentage a été testée statistiquement par le calcul de l'intervalle de confiance binomiale, selon la méthode WILSON de score avec correction de continuité (recommandée par Joseph Larmarange, <https://joseph.larmarange.net/Intervalle-de-confiance-bilateralca>). Pour le lièvre,



les proportions relatives des éléments anatomiques ont été également calculées en utilisant les formules de Pelletier *et al.* (2019). Les proportions calculées sont les suivantes :

- PCRT/CR% : nombre d'éléments postcrâniens (membres, vertèbres, côtes)/nombre d'éléments crâniens (crâne et mandibules)
- PCRAP/CR% : nombre d'éléments constituant les membres (os longs, scapula, patella, autopode)/nombre d'éléments crâniens
- PCRLB/CR% : nombre d'os longs (stylopode et zeugopode)/nombre d'éléments crâniens
- AUT/ZE% : nombre d'éléments de l'autopode/nombre d'éléments du stylopode et du zeugopode
- Z/E% : nombre d'éléments du zeugopode/nombre d'éléments du stylopode
- AN/PO% : nombre d'éléments composant la partie antérieure (scapula, humérus, radius, ulna, métacarpiens)/nombre d'éléments composant l'arrière-train (fémur, tibia, métatarsiens).

Concernant l'étude de la représentation des restes d'oiseaux, nous avons sélectionné les taxons les plus abondants. Les quantités spécifiques des vertèbres étant variables selon les espèces d'oiseaux, le calcul du %RA a été réalisé en tenant compte d'un nombre moyen de vertèbre à savoir 12 vertèbres cervicales, 6 thoraciques et 7 caudales (Eyton, 1869). Les vertèbres thoraciques 2 à 5 qui forment le notarium des Galliformes (soudées) ont été enregistrées individuellement pour l'étude.

#### ○ **Fragmentation et modifications des surfaces osseuses**

Il s'agit ici d'identifier les différents types de modifications induites par l'activité alimentaire de l'Aigle sur le matériel faunique. Elles concernent la fragmentation, qui affecte l'allure générale de l'os, ainsi que diverses altérations plus légères telles que les cassures/fractures et les traces induites par des coups de bec et/ou de serres. Cette étude a été menée sur les restes des taxons les plus abondants. Contrairement à l'étude de la représentation anatomique, nous nous sommes directement appuyés sur la totalité de l'échantillon afin de disposer d'un maximum d'observations. Le NRD a été utilisé comme donnée de base pour déterminer la fréquence des modifications. Certains ossements ont été regroupés pour former des catégories : c'est le cas des os du rachis (vertèbres et sacrum), du zeugopode antérieur (radius, ulna) et postérieur (tibia, fibula), ainsi que de l'autopode (métapodes, phalanges, carpes, tarses). Pour déterminer le taux de fragmentation, le nombre de restes fragmentés a été comptabilisé selon

les parties anatomiques et pour chaque taxon. Nous considérons qu'un fragment est un os représenté par moins de 70% de son volume originel.

Pour l'étude des modifications de surfaces, le nombre de restes dont la surface est observable (non recouverte de peau) a été comptabilisé par partie anatomique et par taxon. Afin de pondérer nos observations, pour la proportion générale des ossements présentant des traces de bec/serres, nous nous référons au NRD dont la surface est observable ainsi qu'au NRD total. Les deux proportions seront notées de la façon suivante :  $\text{NRD observable/NRD total}\%$ . Pour l'étude des cassures, cette précaution n'a pas été appliquée car elles sont aisément identifiables, même en présence de tissus mous. Le calcul s'effectue alors sur le NRD total. Pour la description détaillée des marques de bec/serres, les proportions de restes touchés sont calculées par rapport au NR altéré. Les termes « cassures » et « fractures » sont utilisés en tant que synonymes. Le nombre de restes cassés/fracturés et/ou présentant des modifications induites par des coups de bec et/ou des serres, qu'elles soient uniques ou plurielles, a été renseigné par partie anatomique et par taxon, et ce pour chaque type de trace. La localisation des traces a été identifiée à partir de tableaux croisés dynamiques pour les ossements les plus fréquemment altérés.

Enfin, les ossements présentant des modifications fréquentes dans l'ensemble du corpus ont été photographiés. Les photographies de l'ensemble du volume d'un ossement ont été prises avec un appareil photographique NIKON. Des photos rapprochées (grossissement 0,57) ont été effectuées à l'aide d'une caméra Leica installée sur une loupe binoculaire, et associée au logiciel LAS X Leica. Les photographies ont été traitées via le logiciel Photoshop.

### **III) Résultats**

#### **1. Au menu de l'Aigle royal**

##### **1 - Taxons consommés**

Un total de 38 taxons a été identifié dans les restes de repas récupérés dans les 23 aires. Le NRD et le nombre minimum d'individus (NMI d'exclusion) pour chaque taxon et pour chaque site, ainsi que les indices de diversité de chaque échantillon sont détaillés dans le Tableau 2. Au cours de l'enregistrement des éléments osseux, nous avons remarqué que la grande majorité d'entre eux sont entiers. De fait, seul le nombre de restes déterminés (NRD), quasi-égal au nombre minimal d'éléments squelettiques (NME), est présenté ici.

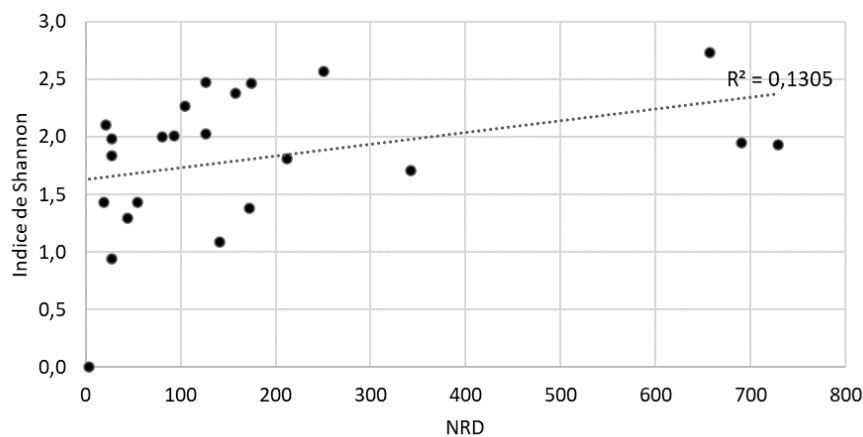
Taxon	Alpes														Causses					
	Théus (05) *F		Chanéac (07) *M		Barnas (07) *F		Genestelle (07) *F		Bouvante (26) *F		Omblèze (26) *F		Izon-la-Bruisse (26) *M		Joncels (34) *F		La Canourgue (48) *M		Meyrueis (48) *M	
	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI
<b>Squamata</b>																				
Autarchoglossa	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Serpentes sp.	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Anas platyrhynchos</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tetrao urogallus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Alectoris/Perdrix sp.</i>	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phasianus colchicus</i>	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Galliformes	1	1	1	1	-	-	1	1	-	-	3	1	-	-	-	8	1	-	-	-
<i>Columba sp.</i>	2	1	12	2	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	2	1	1	1	1
<i>Larus michahellis</i>	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Phalacrocorax carbo</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ardea cinerea</i>	-	-	1	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Circaetus sp.</i>	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Buteo buteo</i>	1	1	-	-	20	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Accipitridae	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	1	-
<i>Tyto alba</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Tyto alba/Strix aluco</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Bubo bubo</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	1	-	-	-
<i>Corvus corone/frugilegu</i>	34	4	42	2	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	12	4	14	4	4
<i>Corvus corax</i>	-	-	-	-	7	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	1
Corvidae	-	-	43	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	1
Aves indé.	3	-	-	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
<i>Vulpes vulpes</i>	36	2	64	2	17	1	41	2	4	1	1	1	-	-	5	1	44	3	6	1
<i>Meles meles</i>	1	1	-	-	6	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Martes foina</i>	-	-	-	-	20	1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-
<b>Carnivora</b>																				
<i>Martes martes</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-
<i>Martes sp.</i>	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	1	1
<i>Felis sp.</i>	16	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
carnivore indé.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	-	-	-
<i>Sus scrofa</i>	-	-	2	1	26	1	-	-	-	-	-	-	5	1	-	-	-	-	-	-
<i>Sus sp.</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Capreolus capreolus</i>	198	7	272	4	120	3	73	2	-	-	-	-	1	1	-	149	4	28	3	3
<b>rtiodactyl</b>																				
<i>Capra hircus</i>	-	-	61	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rupicapra pyrenaica</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Rupicapra rupicapra</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	1	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Ovis aries</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ongulé indé.	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Leporidae</b>																				
<i>Lepus europaeus</i>	391	9	151	2	24	2	19	1	-	-	19	2	134	7	-	492	11	60	8	8
<i>Oryctolagus cuniculus</i>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	1	-	-	-	-
<b>Rodentia</b>																				
<i>Marmota marmota</i>	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Rodentia indé.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>Mammifère indé.</b>	-	-	1	-	-	-	12*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>vertébré indé.</b>	-	-	-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>TOTAL</b>	<b>683</b>	<b>26</b>	<b>654</b>	<b>22</b>	<b>251</b>	<b>19</b>	<b>158</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>44</b>	<b>5</b>	<b>141</b>	<b>10</b>	<b>28</b>	<b>2</b>	<b>728</b>	<b>27</b>	<b>126</b>	<b>21</b>
<b>Dominance D</b>	0.1823	0.05195	0.08187	0.04444	-	-	-	-	-	-	0.1667	0.4667	-	-	0	0.19934	0.1762	-	-	-
<b>Indice Simpson 1-D</b>	0.8177	0.9481	0.9181	0.9556	-	-	-	-	-	-	0.8333	0.5333	-	-	1	0.8006	0.8238	-	-	-
<b>Indice Shannon H</b>	1.95	2.734	2.564	2.375	-	-	-	-	-	-	1.29	1.09	-	-	0.9431	1.934	2.022	-	-	-

\*F = milieu forestier dominant \*M = milieu mixte \*A = milieu plus anthropisé

Causses														Pyrénées		Basse Provence					Echantillon total							
Cassagnas (48) *F		Vialas (48) *F		La Malène (48) *M		Trèves (30) *M		Sumène (30) *F		Alzon (30) *M		Blandas (30) *M		Millau (12) *M		St Gorges-de-Luzençon (12) *M		Orliu (09) *F		Joncels (34) *F		Aumelas (34) *A		Lamanon (13) *A		Echantillon total		
NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	NRD	NMI	
-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
-	-	-	-	1	1	-	-	7	2	2	1	1	1	-	-	1	1	-	-	14	3	4	2	-	-	32	12	
-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	3	2	1	-	14	6	
-	-	1	1	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	1	1	3	1	-	-	21	10	
-	-	-	-	3	1	-	-	31	1	-	-	-	-	-	-	5	2	-	-	-	-	-	-	-	-	57	10	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	
1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	6	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	1	
-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	10	3	
-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	108	17	
-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	10	3	
-	-	-	-	-	-	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	4	
-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	8	-	-	2	-	-	24	-	
1	1	151	3	16	1	7	1	5	1	11	2	-	-	23	1	24	3	-	-	1	1	2	1	-	-	459	29	
-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	3	
-	-	-	-	40	1	-	-	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	69	2	-	-	-	135	7	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	2	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	7	-	
35	1	-	-	-	-	-	-	-	-	12	2	1	1	-	-	-	-	-	-	25	1	-	-	-	-	106	8	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
5	1	37	2	26	1	9	3	50	2	-	-	-	-	24	1	52	2	-	-	5	1	-	4	1	1053	37		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	2	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	158	4	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	21	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	-	-	-	-	-	-	-	-	4	1	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4	-	
24	1	149	3	78	3	8	1	21	2	1	1	17	1	8	1	14	1	-	-	27	2	126	5	-	1763	64		
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	1	-	-	-	-	-	7	2	-	32	4	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	3	
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	3	
27*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	40	1	
-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	
93	5	339	10	172	11	28	8	125	12	27	7	19	3	55	3	105	12	172	9	81	9	212	14	20	7	4265	253	
0	0.1556	0.05455	0.1071	0.04545	0.09524	0	0	0.07567	0.25	0.1111	0.1648	0.04762	0.75	0.8889	0.8352	0.9524	1.382	1.955	1.809	2.105	0.1111	0.1648	0.04762	0.75	0.8889	0.8352	0.9524	
2.009	1.705	2.462	1.98	2.472	1.836	1.432	1.432	2.271	1.382	1.955	1.809	2.105	1.382	1.955	1.809	2.105	1.382	1.955	1.809	2.105	1.382	1.955	1.809	2.105	1.382	1.955	1.809	2.105

Tableau 2 : Nombre de restes déterminés (NRD) et nombre minimum d'individus par taxons et par sites.

En termes de diversité taxinomique, le coefficient de détermination ( $R^2$ ) indique un coefficient de corrélation égal à 0,36. Cela signifie donc que la diversité de l'alimentation des aigles n'est pas étroitement liée à la quantité de restes ramassés (Figure 4). Le coefficient de corrélation de Spearman a fourni une valeur de 0,43, qui renforce l'estimation d'une faible corrélation entre les deux variables étudiées. Cependant, les séries comportant moins de 100 ossements ont tendance à être moins diversifiées que celles qui en contiennent davantage, mais certaines aires ayant livré moins de 50 restes ont une diversité plus ou moins équivalente à celles composées de 100 à 200 restes.



**Figure 4** : Diversité du spectre faunique (indice de Shannon) en fonction du nombre de restes déterminés (NRD), par aires.

En termes de sélection des proies (exprimé en NMI et non en NRD), l'Aigle royal consomme en période de reproduction principalement des lièvres bruns (25,2 % du matériel), des chevreuils (14,3%) et des renards roux (11,2%). Les oiseaux de taille moyenne comme la corneille/corbeau freux (6,7%), les perdrix (4,7%), les Galliformes (4,2%) et les pigeons (3,8%) sont aussi appréciés. En moindre proportion sont documentés d'autres artiodactyles (sanglier, isard, chamois, chèvre, mouton), des carnivores de taille moyenne (blaireau, chat) et de plus petite taille (fouine, martre). Les oiseaux sont représentés par des taxons plutôt de taille moyenne (Corvidés, Accipitridés, Anatidés, circaète, goéland, faisan, chouette, buse et tétras), mais également de grande taille (grand cormoran, grand corbeau, Ardéidés et hibou grand-duc), moins présents. Les oiseaux de petite taille (type moineau) et de très grande taille (type aigle) sont absents du corpus. Le Grand Tétras (*Tetrao urogallus*) d'Orlu dans les Pyrénées, une femelle, a pu être identifié car son cousin le Tétras lyre est absent de cette région. L'isard d'Orlu, le chamois d'Ombrière, la chèvre domestique de Chanéac et le goéland leucophée de Barnas ont été déterminés par l'absence des espèces similaires (chamois, isard, bouquetin et goéland argenté) dans les régions concernées (cette répartition a été renseignée par P. Bayle).

Enfin, les reptiles (lézard, serpent), marmottes et petits rongeurs sont également rapportés au nid. Parmi la classe « mammifères indéterminés », 28 éléments correspondent à de l'os spongieux non soudé.

Étant donné la grande variabilité des taxons identifiés, nous voulions savoir si l'environnement de chasse conditionnait le régime alimentaire. En étudiant le contexte environnemental de chaque localité, trois types d'environnements ont été identifiés ;

- les milieux majoritairement forestiers parsemés de clairières et de terres agricoles (Théus, Barnas, Genestelle, Bouvante, Omblèze, Joncels, Cassagnas, Vialas, Sumène, Orlu)
- les milieux mixtes composés de forêts, clarières et terres agricoles (Izon-la-Bruisse, Meyrueis, La Malène, Alzon, La Canourgue, St Georges-de-Luzençon,, Chanéac, Millau, Trèves, Blandas)
- les milieux davantage anthropisés avec un tissu urbain légèrement plus important, composés de cultures mais aussi de broussailles et de forêts (Aumelas, Argelliers, Lamanon).

En se fondant sur le Tableau 2, aucune différence majeure n'est visible dans la sélection des proies entre ces différents environnements. L'exception notable est l'aire d'Orlu dans les Pyrénées, qui a fourni des restes d'isard, de marmotte, de Grand Tétrás et de canard colvert, qui ne sont pas présents dans les échantillons issus d'autres régions.

## **2 - Individus ciblés**

### **2a) Âge/masse des individus**

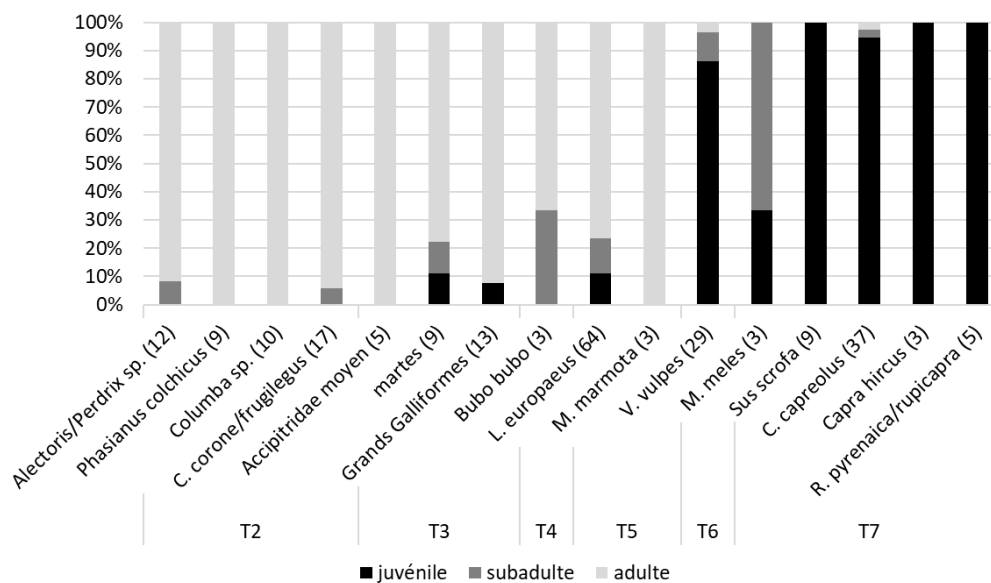
Les classes d'âge sélectionnées diffèrent nettement en fonction des taxons (Tableau 3). Afin de faciliter la comparaison entre ces différentes espèces, ces données sont exprimées par l'histogramme associé (Figure 5). Pour plus de clarté, certains taxons de corpulence similaire, appartenant au même genre ou au même ordre, ont été regroupés. De ce fait, les grands galliformes désignent le Grand tétras (*Tetrao urogallus*), les faisans et les autres galliformes de taille importante dont l'espèce n'a pas été identifiée. Les mustélidés (*Martes foina*, *Martes martes* et *Martes* sp.) sont regroupés sous l'appellation « martes ». Parmi les taxons restants, seuls ceux représentés par un NMI de 3 ont été pris en compte, de façon à ce que le résultat soit un minimum représentatif.

Un net clivage dans la modalité de sélection des individus est visible entre les taxons pesant 5 kg ou moins à l'âge adulte, qui sont représentés en majorité par des adultes, et ceux pesant plus de 5 kg, qui sont majoritairement représentés par des individus juvéniles. Parmi les lièvres

(*Lepus europaeus*), les adultes sont dominants (76,5 %) mais les juvéniles sont également présents (11 %), ainsi que les subadultes (12,5 %). La marmotte (*Marmota marmota*), est représentée uniquement par des adultes. Néanmoins cette donnée est à considérer avec prudence puisqu'elle est fondée sur 3 individus seulement. Le corpus des mustélinés inclut 5 individus adultes, 1 subadulte et 1 immature. Du côté des oiseaux, les taxons de taille moyenne (T2), à savoir les perdrix (*Alectoris/Perdrix* sp.), faisans (*Phasianus colchicus*), pigeons (*Columba* sp.), et corneilles/corbeaux freux (*Corvus corone/frugilegus*) sont représentés majoritairement par des individus adultes (95%), et comptent seulement deux individus subadultes. Les Accipitridés moyens, y compris la buse (*Buteo buteo*) sont représentés uniquement par des individus matures. Cette prédominance des adultes est également valable pour les autres oiseaux de masse plus importante (T3 et T4), mais elle est légèrement plus nuancée avec 3 jeunes individus et 2 juvéniles sur un total de 24 individus.

Masse à l'âge adulte	Taxons	Classes d'âge			
		juvénile	subadulte	adulte	
T1 : <400 g	<i>Autarchoglossa</i>	–	–	2	
	<i>Serpentes</i> sp.	–	–	1	
	Petit accipitridae	–	–	1	
	<i>Rodentia</i> indet.	–	–	1	
T2 : 400 - 800 g	<i>Alectoris/Perdrix</i> sp.	–	1	11	
	<i>Phasianus colchicus</i>	–	–	9	
	<i>Columba</i> sp.	–	–	10	
	<i>Corvus corone/frugilegus</i>	–	1	16	
	<i>Tyto alba</i>	–	–	1	
	<i>Tyto alba/Strix aluco</i>	–	–	1	
	<i>Anas platyrhynchos</i>	–	–	1	
	<i>Circaetus</i> sp.	–	–	1	
T3 : 800 - 2 300 g	<i>Buteo buteo</i>	–	–	1	
	Accipitridae moyen	–	–	5	
	<i>Corvus corax</i>	–	1	2	
	<i>Oryctolagus cuniculus</i>	–	1	3	
	<i>Ardea cinerea</i>	–	2	–	
	<i>Martes foina</i>	1	1	5	
	<i>Martes martes</i>	–	–	1	
	<i>Martes</i> sp.	–	–	1	
	Galliformes	1	–	9	
	<i>Tetrao urogallus</i> (femelle)	–	–	2	
T4 : 2 000 - 4 000 g	<i>Phalacrocorax carbo</i>	–	–	1	
	<i>Bubo bubo</i>	–	1	2	
T5 : 3 500 - 5 000 g	<i>Felis</i> sp.	–	–	1	
	<i>Lepus europaeus</i>	7	8	49	
Masse à la naissance	<i>Marmota marmota</i>	–	–	3	
70 - 1 200 g	T6 : 6 000 - 9 000 g	<i>Vulpes vulpes</i>	25	3	1
	T7 : >10 000 g	<i>Meles meles</i>	1	2	–
<i>Sus scrofa</i>		9	–	–	
<i>Capreolus capreolus</i>		35	1	1	
<i>Capra hircus</i>		2	–	–	
1 000 - 2 700 g	<i>Rupicapra pyrenaica/rupicapra</i>	5	–	–	
	<i>Ovis aries</i>	1	–	–	
2 000 - 5 000 g					

**Tableau 3** : Nombre minimum d'individus (NMI) par classe d'âge et par taxons, en rapport avec la gamme de taille et la masse approximative des espèces à l'âge adulte, sur la totalité de l'échantillon.



**Figure 5 :** Pourcentage pour chaque classe d'âge (adulte, subadulte, juvénile) d'individus selon les taxons classés par taille croissante, sur la totalité des aires. Le NMI total est indiqué entre parenthèses à la suite du taxon.

Parmi les proies de masse supérieure à 5 kg, la tendance s'inverse. Les renards (*Vulpes vulpes*) sont représentés principalement par des individus juvéniles (86%). Nous avons pu également décompter trois individus subadultes et un adulte. Chez le renard, les individus âgés de 7 à 12 mois pèsent au maximum 5 kg (Travaine et Delibes, 1995). Dans notre échantillon, les individus dont l'âge a été déterminé à partir des mesures du crâne n'ont pas plus de 3 mois, et ont donc par déduction une masse inférieure à 5 kg. Le décompte des restes de blaireau (*Meles meles*) montre un schéma similaire, bien que moins robuste car basé sur 3 individus ; il est représenté par un juvénile et deux subadultes. En ce qui concerne les ongulés, à savoir le chevreuil (*Capreolus capreolus*), le sanglier (*Sus scrofa*), l'isard/chamois (*Rupicapra pyrenaica/rupicapra*) et la chèvre domestique (*Capra hircus*), la dominance des juvéniles est nettement plus marquée. En effet, sur les 51 individus recensés, seul un adulte est présent. Il s'agit d'un chevreuil provenant de Millau. Un autre chevreuil sortant du lot est un juvénile/subadulte n'ayant pas encore atteint la taille adulte, venant de Théus. Une nuance est aussi notable du côté des sangliers : parmi les individus uniquement juvéniles, celui récupéré à Izon-la-Bruisse se démarque car il demeure très éloigné de la taille adulte standard d'un sanglier, mais il ne s'agit pas non plus d'un petit marcassin comme ceux présents dans les autres aires. De ce fait, sa masse était sans aucun doute supérieure à 7 kg. Pour les ongulés, il faut retenir que, excepté les deux cas cités précédemment, les individus juvéniles ont un âge compris entre 0 et 4 mois. Les individus âgés d'un mois pèsent en moyenne 5 à 6 kg maximum



(Pellicioni *et al.*, 2004). Il s'agit en effet de petits ongulés, et non de bovidés ou d'équidés pesant une quarantaine ou une cinquantaine de kilogrammes à la naissance.

De façon générale, il n'y a pas de différence notable entre les sites dans la gamme de taille sélectionnée, malgré les quelques exceptions mentionnées précédemment. Les proies de taille moyenne pesant entre 400 g et 5 kg (en tenant compte de leur âge) sont les plus présentes dans les accumulations produites par l'Aigle royal. Des proies plus lourdes se retrouvent aussi dans l'échantillon. Étant donné que l'Aigle royal ne peut physiologiquement pas transporter d'éléments de plus de 5 kg, l'étude de la représentation des éléments anatomiques permettra de connaître les modalités de leur introduction dans le site.

## **2b) État sanitaire**

Le référentiel comporte trois individus pathologiques : un rachis de lièvre présente une sacralisation de la septième vertèbre lombaire sur son côté gauche, certainement liée à un problème de développement du squelette, qui aurait pu entraîner une réduction de la mobilité des pattes arrières. Un deuxième élément pathologique est un tibia gauche dont l'extrémité distale est englobée d'une excroissance, due à une pathologie articulaire. Il se pourrait qu'il s'agisse d'une pathologie traumatique puisque le dessous de l'excroissance est parsemé de cavités ressemblant à celles produites par un cloaque infectieux. En tout cas, l'individu ne pouvait pas se servir correctement de sa patte gauche. Le dernier individu pathologique est un fémur représenté par un coxal droit présentant une fusion sacro-iliaque, qui aurait pu entraîner des problèmes de locomotion, mais sans certitudes.

## 2. Représentation des éléments anatomiques

### 1 - Les mammifères

#### 1a) Variabilité inter-sites

Les données brutes des différents éléments anatomiques (NME et %RA) sont détaillées par sites et par taxons (Tableau 4, Tableau 5). La représentation des éléments anatomiques du lièvre a été étudiée à partir de huit aires, avec un NME compris entre 60 et 488 (Tableau 4), et un NMI de 45 individus. Pour le chevreuil, cinq aires ont été considérées, avec un NME compris entre 68 et 271, et un NMI de 20 individus (Tableau 5). Pour le renard nous nous sommes appuyés sur deux sites, contenant un minimum de 59 et 149 éléments squelettiques (Tableau 5), avec 5 individus au total.

Elément anatomique	<i>Lepus europaeus</i>															
	Chanéac		Théus		La Canourgue		Izon Labruisse		Meyrueis		Vialas		La Malène		Aumelas	
	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA
crâne	1	50%	1	11%	3	27%	1	13%	0	0%	0	0%	2	67%	0	0%
mandibule	0	0%	0	0%	3	14%	0	0%	0	0%	0	0%	3	50%	1	10%
vertèbre cervicale	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	3%
vertèbre thoracique	0	0%	1	1%	4	3%	0	0%	0	0%	0	0%	4	11%	0	0%
vertèbre lombaire	9	64%	26	41%	23	30%	29	52%	11	20%	11	52%	16	76%	8	23%
vertèbre caudale	0	0%	4	6%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
sternum	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
côte	0	0%	3	1%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	2	3%	0	0%
scapula	0	0%	3	17%	2	9%	0	0%	1	6%	1	17%	1	17%	0	0%
humerus	2	50%	2	11%	0	0%	0	0%	1	6%	2	33%	0	0%	0	0%
radius	2	50%	4	22%	6	27%	1	6%	1	6%	2	33%	0	0%	0	0%
ulna	2	50%	4	22%	5	23%	1	6%	1	6%	2	33%	0	0%	0	0%
carpiens	18	50%	36	22%	27	14%	0	0%	8	6%	9	17%	0	0%	0	0%
metacarpiens	10	50%	20	22%	15	14%	0	0%	5	6%	5	17%	0	0%	0	0%
sacrum	2	100%	5	56%	4	36%	5	63%	2	25%	1	33%	3	100%	2	40%
coxal	4	100%	8	44%	11	50%	8	50%	4	25%	2	33%	6	100%	5	50%
femur	1	25%	6	33%	2	8%	0	0%	3	19%	0	0%	3	50%	4	40%
patella	1	25%	0	0%	1	4%	6	38%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
tibio-fibula*	3	75%	14	78%	20	83%	11	69%	9	50%	5	83%	4	67%	4	40%
tarsiens	18	75%	63	58%	88	67%	54	56%	2	2%	30	83%	15	42%	27	45%
métatarsiens	12	75%	39	54%	64	73%	10	16%	4	6%	17	71%	8	33%	20	50%
phalange 1	22	61%	55	34%	77	39%	4	3%	5	3%	21	39%	9	17%	20	22%
phalange 2	20	63%	50	35%	71	40%	3	2%	2	1%	20	42%	1	2%	18	20%
phalange distale	22	61%	47	29%	62	31%	1	1%	1	1%	21	39%	1	2%	16	18%
indéterminé	—	—	1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
<b>Total</b>	<b>149</b>	<b>—</b>	<b>392</b>	<b>—</b>	<b>488</b>	<b>—</b>	<b>134</b>	<b>—</b>	<b>60</b>	<b>—</b>	<b>149</b>	<b>—</b>	<b>78</b>	<b>—</b>	<b>126</b>	<b>—</b>

**Tableau 4 :** NME et %RA des différents éléments anatomiques de *Lepus europaeus*, par sites (\* Parmi un total de 70 tibio-fibula, seulement 13 comprennent la partie distale de la fibula, cet élément est absent pour les autres restes).

Element anatomique	<i>Capreolus capreolus</i>										<i>Vulpes vulpes</i>			
	Chanéac		Théus		Genestelle		La Canourgue		Barnas		Vialas		Chanéac	
	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA	NME	%RA
crâne	2	50%	2	29%	2	100%	4	100%	1	33%	3	100%	2	100%
mandibule	2	25%	1	7%	2	50%	6	75%	0	0%	7	88%	3	75%
vertèbre cervicale	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	12	24%	0	0%
vertèbre thoracique	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	16	31%	0	0%
vertèbre lombaire	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	18	64%	0	0%
vertèbre caudale	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	6	8%	0	0%
sternum	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
côte	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	11	11%	0	0%
scapula	0	0%	3	21%	0	0%	0	0%	0	0%	3	38%	0	0%
humerus	1	13%	3	21%	0	0%	0	0%	2	33%	2	25%	0	0%
radius	7	88%	5	36%	1	25%	5	63%	2	33%	3	38%	1	25%
ulna	6	75%	4	29%	1	25%	5	63%	2	33%	3	38%	2	50%
carpiens	37	77%	24	40%	5	21%	11	23%	20	56%	14	50%	3	11%
metacarpiens	6	75%	6	43%	1	25%	3	38%	3	50%	10	25%	5	25%
doigt vestige ant.	12	75%	9	32%	2	25%	4	25%	4	33%	–	–	–	–
sacrum	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	3	75%	0	0%
coxal	0	0%	4	29%	0	0%	0	0%	0	0%	6	75%	2	50%
femur	0	0%	3	29%	1	25%	8	100%	3	50%	1	13%	0	0%
patella	1	13%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	25%
tibia	7	88%	10	71%	4	100%	6	75%	4	67%	1	13%	2	50%
fibula	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1	13%	1	25%
tarsiens	29	60%	22	17%	16	67%	24	50%	9	25%	0	0%	7	25%
métatarsiens	6	75%	4	29%	4	100%	4	50%	3	50%	0	0%	5	25%
doigt vestige post.	12	75%	4	14%	0	0%	6	38%	6	50%	–	–	–	–
phalange 1	24	75%	17	30%	10	63%	12	38%	10	42%	10	14%	9	25%
phalange 2	24	75%	25	45%	10	63%	9	28%	8	33%	8	17%	8	25%
phalange distale	23	72%	15	27%	9	56%	8	25%	8	33%	10	14%	8	22%
sesamoides	72	75%	32	19%	0	0%	26	27%	30	42%	–	–	–	–
métapode indet.	–	–	–	–	–	–	3	–	–	–	–	–	–	–
doigt vestige indet.	–	–	–	–	–	–	2	–	–	–	–	–	–	–
<b>Total</b>	<b>271</b>	<b>–</b>	<b>193</b>	<b>–</b>	<b>68</b>	<b>–</b>	<b>146</b>	<b>–</b>	<b>115</b>	<b>–</b>	<b>149</b>	<b>–</b>	<b>59</b>	<b>–</b>

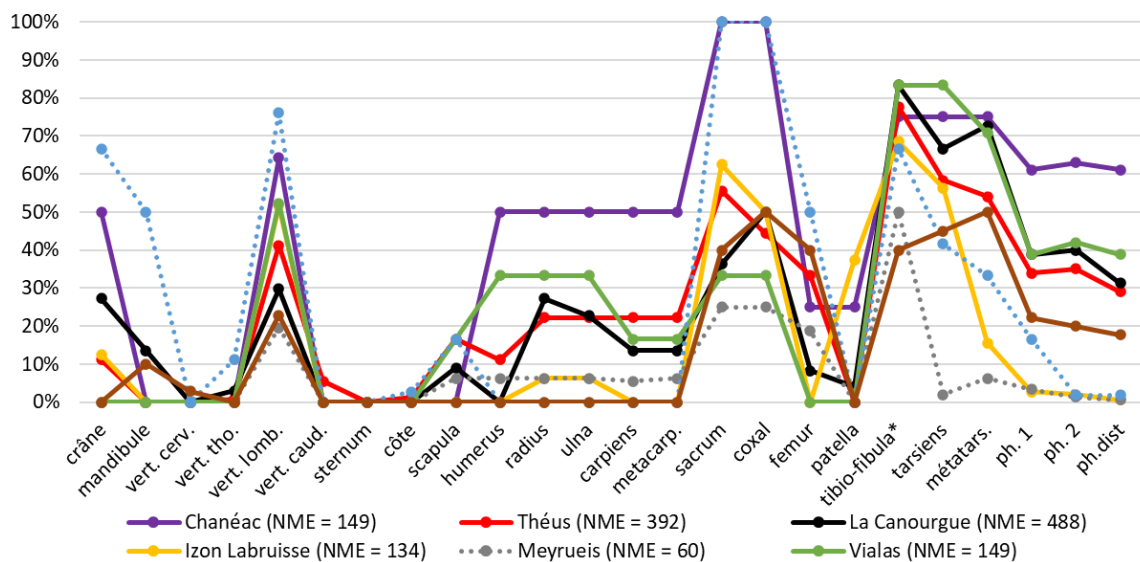
**Tableau 5 :** Nombre minimum d'éléments squelettiques (NME) et abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de *Capreolus capreolus* et *Vulpes vulpes*, par sites.

Les %RA des éléments anatomiques de *Lepus europaeus* (Figure 6), *Capreolus capreolus* (Figure 7) et *Vulpes vulpes* (Figure 8) présentent une certaine variabilité d'une aire à l'autre. Cependant, des tendances sont visibles et diffèrent en fonction du taxon :

○ **Le lièvre**

Globalement, les éléments de l'arrière-train (vertèbres lombaires, sacrum, coxal, membre postérieur) sont plus abondants que ceux de la partie antérieure (crâne, mandibule, scapula et membre antérieur), avec une surreprésentation des tibio-fibulas. Des pics d'abondances des vertèbres lombaires, sacrum et coxaux sont aussi visibles. En revanche, les vertèbres cervicales, thoraciques et caudales, les côtes et les patellas sont quasi absentes, et le sternum est le seul élément absent sur la totalité des aires. Au niveau des membres, le zeugopode (tibio-fibula,

radius, ulna) est le plus abondant, suivi de l'autopode (carpiens, tarsiens, métapodes, phalanges), tandis que le stylopede (fémur et humérus) est sous-représenté. Les crânes sont peu fréquents, puisque pour cinq sites sur huit, leur taux d'abondance se situe en-dessous de 20%. Malgré ces tendances, les valeurs d'abondance relative des différents éléments anatomiques sont variables en fonction des sites, et pourraient être mises en relation avec la quantité d'éléments dans une série. En effet, si on prend l'exemple des séries les plus abondantes (Théus et La Canourgue, Figure 6, respectivement courbe rouge et courbe noire), on s'aperçoit que leurs valeurs de représentations demeurent relativement proches. Cela n'est pas toujours le cas pour les séries contenant moins de restes comme par exemple Chanéac et Vialas (Figure 6, courbe violette et courbe verte), qui ont toutes deux un NME égal à 149, et dont les valeurs de %RA sont assez différentes.



**Figure 6 :** Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de *Lepus europaeus*, par sites (en pointillés : séries dont NME < 100).

Nous associons à ces informations tirées du %RA les taux de représentation des portions anatomiques, calculés à partir des indices de Pelletier et al. (2019). Le Tableau 6 permettra de comparer les résultats avec les référentiels d'accumulations de léporidés produites par d'autres agents.

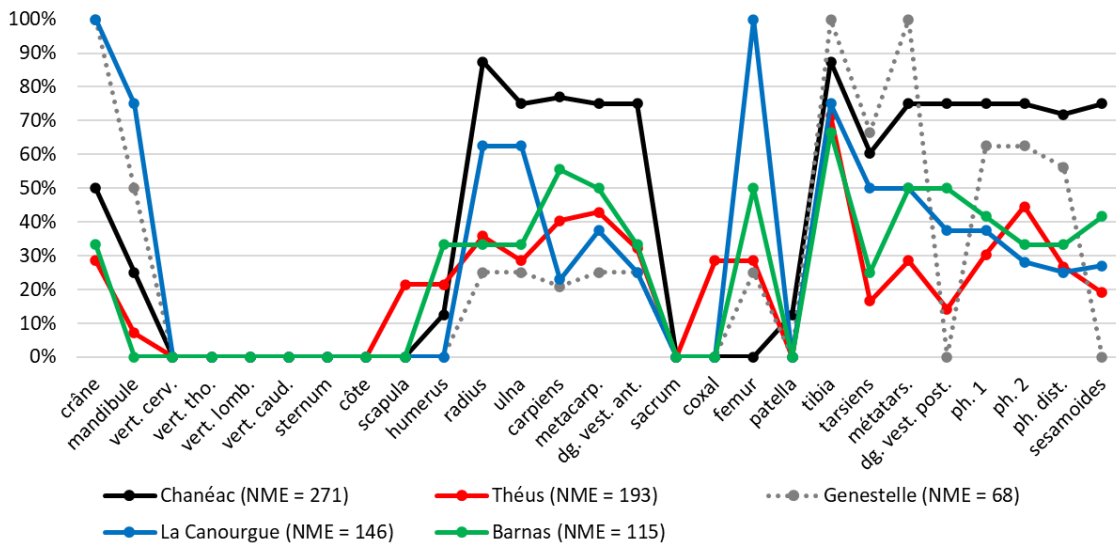
	Chanéac	Théus	La Canourgue	Izon la bruisse	Meyrueis	Vialas	La Malène	Aumelas	Total
<b>NRD</b>	151	195	492	134	60	149	78	126	<b>1392</b>
<b>NMI</b>	2	9	11	8	8	3	3	5	<b>49</b>
<b>PCRT/CR%</b>	96,2%	98,5%	93,4%	95,8%	100%	100%	71,7%	95,6%	<b>97,1%</b>
<b>PCRAP/CR%</b>	97,4%	98,9%	95,3%	96,2%	100%	100%	70,2%	96,8%	<b>96,2%</b>
<b>PCRLB/CR%</b>	96,9%	99,1%	94,6%	97,6%	100%	100%	81,7%	96,2%	<b>96,4%</b>
<b>AUT/ZE%</b>	50,6%	55,8%	56,6%	31,6%	18,0%	57,7%	37,2%	60,7%	<b>54,9%</b>
<b>Z/E%</b>	60,8%	67,5%	91,1%	100%	64,7%	75,0%	47,0%	40,0%	<b>72,1%</b>
<b>AN/PO%</b>	42,8%	26,9%	19,6%	6,6%	29,6%	29,0%	4,5%	0%	<b>20,5%</b>

**Tableau 6 :** Proportion (%) des différentes portions anatomiques de *Lepus europaeus*, par sites.

Les éléments crâniens sont légèrement sous-représentés par rapport aux éléments postcrâniens. Parmi ces derniers, les os des membres sont clairement surreprésentés au vu de l'équivalence relative entre les ratios PCRT/CR, PCRAP/CR et PCRLB/CR. Le squelette axial est donc moins présent que le squelette appendiculaire. La représentation des autopodes et des os longs est variable en fonction des sites puisque les valeurs oscillent entre 18 et 60,7%, mais en moyenne elle est à peu près équivalente. Le ratio Z/E est également variable, mais en moyenne le zeugopode est surreprésenté par rapport au stylo-pode. Le rapport AN/PO étant toujours très bas, les éléments du membre antérieur sont donc nettement sous-représentés par rapport à ceux du membre postérieur.

#### ○ Le chevreuil

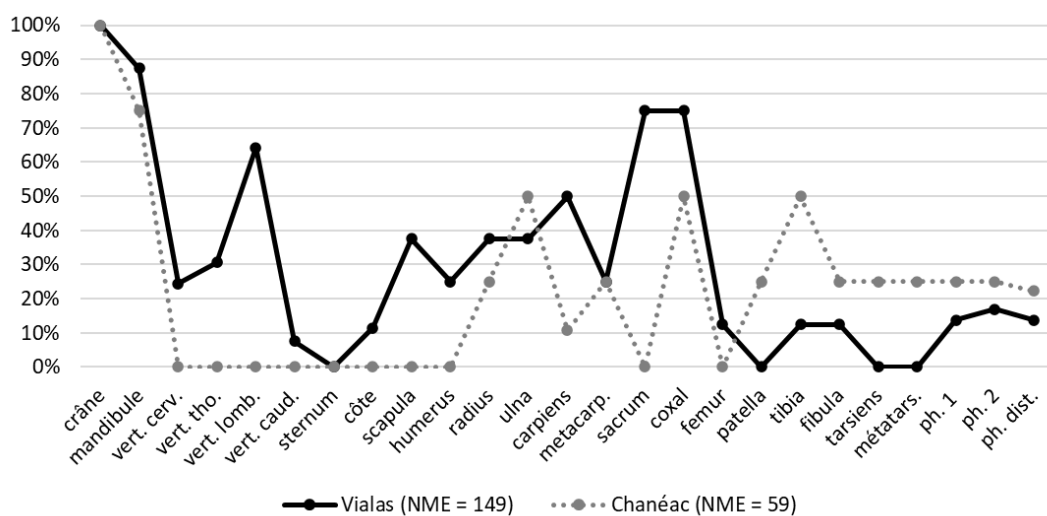
L'absence de vertèbres et de sacrum, et ce sur la totalité des aires, est frappante. L'os coxal, la scapula et la patella sont également quasi absents puisque seulement 4 coxaux et 3 scapulas ont été récupérés dans la série de Théus, et une patella dans la série de Chanéac. A contrario, les os des membres ainsi que le bloc crânien sont bien présents, avec des %RA peu éloignés, excepté pour le fémur, dont le %RA est compris entre 0% et 100%. La proportion du membre antérieur par rapport au membre postérieur est plus ou moins équilibrée, avec des pics de surreprésentation du zeugopode. Au niveau du crâne, les hémi-mandibules sont moins représentées que le bloc crânien. Le chevreuil étant moins abondant que le lièvre, il est difficile de comparer les aires entre elles car le nombre d'éléments squelettiques demeure relativement faible.



**Figure 7 :** Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de *Capreolus capreolus*, par sites (en pointillés : séries dont NME<100).

### o Le renard

Pour le renard, les résultats dont nous disposons sont peu robustes, étant donné qu'une seule série (Vialas) présente un nombre de restes satisfaisant (149). La comparaison inter-sites est alors peu pertinente. Si l'on se fonde sur cette série, les vertèbres lombaires, l'os coxal et le sacrum apparaissent surreprésentés, et les éléments du membre antérieur sont plus abondants que ceux du membre postérieur. Toutefois la série de Chanéac contient une proportion plutôt équilibrée entre les os du membre antérieur et ceux du membre postérieur, et les éléments du tronc sont absents. Dans les deux cas, tous les crânes des cinq individus sont présents, et le sternum est de nouveau absent.



**Figure 8 :** Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de *Vulpes vulpes*, par sites (en pointillés : séries dont NME<100).

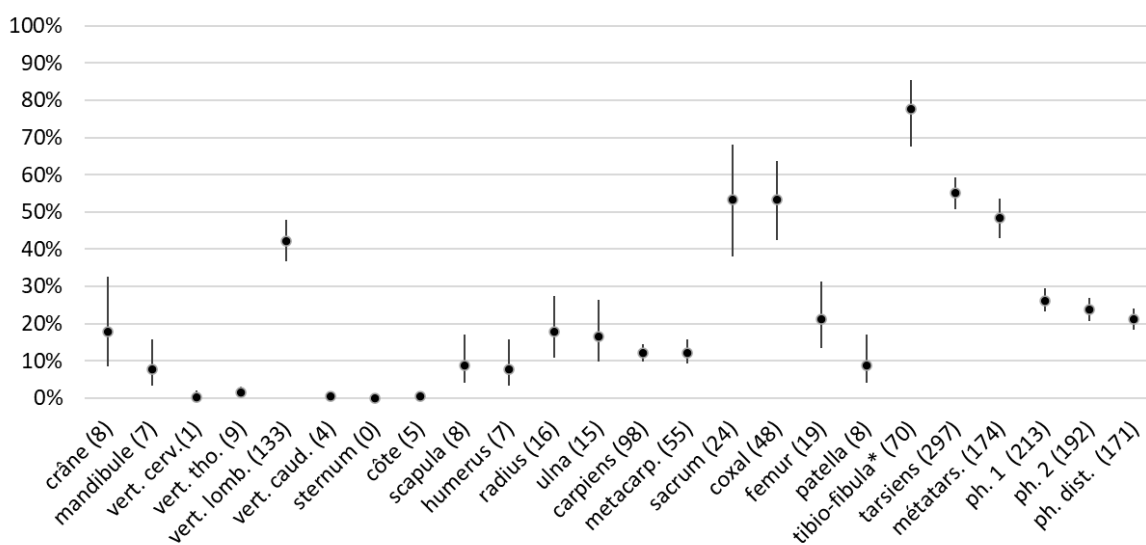
L'abondance relative des éléments anatomiques présente donc une certaine variabilité en fonction des séries. Cela dit, un modèle de représentation anatomique plus synthétique est nécessaire, c'est ce qui a été fait dans la partie suivante.

### 1b) Modèle général

L'addition des NME des sites les plus abondants a permis d'obtenir un échantillon suffisant afin de préciser les tendances de représentation anatomique des ossements des taxons les plus présents. Le lièvre est donc représenté par un minimum total de 1576 éléments (pour 8 sites), et le chevreuil par 793 éléments (pour 5 sites). L'intervalle de confiance de l'abondance relative de chaque élément anatomique a donc pu être estimé. Les résultats sont représentés dans les deux prochains graphiques pour le lièvre (Figure 9) et le chevreuil (Figure 10).

#### o Le lièvre

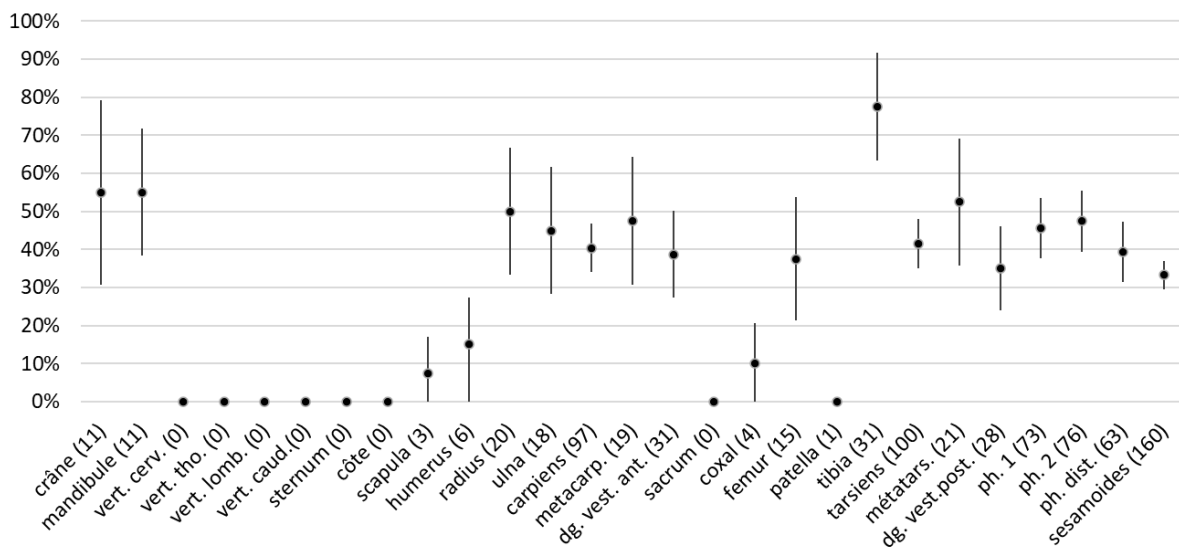
La collection de restes de lièvre est la plus abondante ; ainsi les intervalles de confiances calculés pour les %RA de chaque portion sont très réduits. Le tibio-fibula est l'élément le plus représenté dans les collections, avec un %RA situé entre 67 et 86%. À l'exception du fémur et de la patella, les autres éléments de l'arrière-train sont bien représentés (vertèbres lombaires, sacrum, coxal, tarsiens, métatarsiens), avec un %RA variant entre 37 et 54%. Tandis que l'abondance relative des éléments antérieurs est comprise entre 3 et 32%. Les valeurs les plus faibles sont obtenues sur les portions de la mandibule, de l'encolure, du thorax, des vertèbres caudales, de la scapula, et de la patella, avec des %RA oscillant entre 0 et 17%. C'est donc plutôt la partie postérieure de l'animal qui est ramenée dans l'aire.



**Figure 9 :** %RA et intervalle de confiance des abondances relatives des différents éléments anatomiques de *Lepus europaeus* (entre parenthèses : NME) (\*la fibula est majoritairement absente).

○ **Le chevreuil**

La collection de restes de chevreuil est moins importante que celle du lièvre ; en conséquence les intervalles de confiance calculés pour chaque %RA sont plus importants. Le tibia est l'élément le mieux représenté, avec une abondance relative variant entre 63 et 92%. Exception faite de la patella qui est quasi-absente et l'humérus qui est sous-représenté, les %RA des éléments des membres et du crâne sont équilibrés, avec en moyenne un os sur deux conservé au nid. La scapula et les coxaux sont très peu représentés, avec un %RA ne dépassant pas 21%. Les éléments du rachis et du thorax sont absents. Les membres et les crânes sont alors fréquemment ramenés aux aires, tandis que les éléments du tronc et des ceintures scapulaires et pelvienne le sont peu.



**Figure 10 :** %RA et intervalle de confiance des abondances relatives des différents éléments anatomiques de *Capreolus capreolus* (entre parenthèses : NME).

**2 - Les oiseaux de taille moyenne**

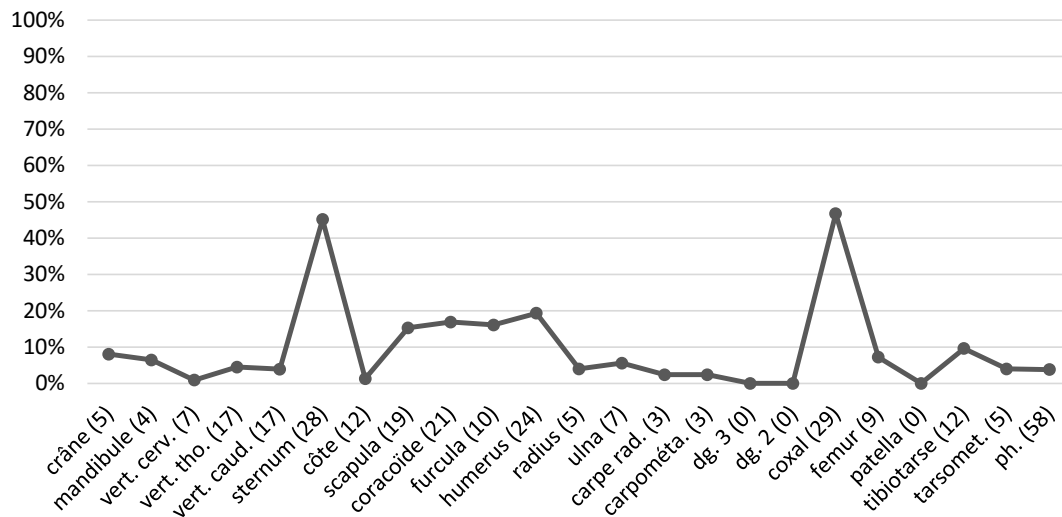
Pour l'étude de la représentation anatomique des oiseaux de taille moyenne (*Corvus corone/fragileus*, *Columba* sp., *Alectoris/Perdrix* sp., *Phasianus colchicus*, Corvidés, Accipitridés, Galliformes), nous ne disposons pas d'assez de restes pour examiner la variabilité intersites. Comme précédemment, nous avons opéré un regroupement de ces 23 aires et des



taxons qu'elles ont livré. Le NME et %RA par élément anatomique sont renseignés dans le Tableau 7, et exprimés par la Figure 11 pour plus de visibilité.

Element anatomique	NME	%RA
crâne	5	8%
mandibule	4	6%
vertèbre cervicale	7	1%
vertèbre thoracique	17	5%
vertèbre caudale	17	4%
sternum	28	45%
côte	12	1%
scapula	19	15%
coracoïde	21	17%
furcula	10	16%
humerus	24	19%
radius	5	4%
ulna	7	6%
carpe radial	3	2%
carpométacarpe	3	2%
doigt 3	0	0%
doigt 2	0	0%
coxal	29	47%
femur	9	7%
patella	0	0%
tibiotarse	12	10%
tarsométatarse	5	4%
phalanges	58	4%
<b>Total</b>	<b>295</b>	<b>-</b>

**Tableau 7 :** Nombre minimum d'éléments squelettiques (NME) et abondance relative (%RA) pour les différents éléments anatomiques des oiseaux de taille moyenne, après regroupement des 23 aires de nidification.



**Figure 11 :** Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques des oiseaux de taille moyenne, après regroupement des 23 aires de nidification.

Le coxal est l'élément le mieux représenté, suivi du sternum ainsi que de l'humérus et des éléments de la ceinture scapulaire (coracoïde, scapula, furcula). Les autres éléments du squelette sont peu présents, avec une abondance relative inférieure à 10%. L'autopode, les vertèbres (dont un notarium), le zeugopode supérieur et les éléments du crâne sont rares. Les phalanges de l'aile et la patella sont absentes.

### 3 - Zoom sur les individus lourds (> 5 kg)

Comme cela a été mentionné dans la partie concernant l'âge et la masse des individus, certains individus consommés avaient une masse corporelle nettement supérieure à 5 kg. Parmi les chevreuils, un individu provenant de Millau est représenté par un membre antérieur entier (de l'humérus jusqu'aux phalanges distales). Un autre membre antérieur entier rattaché à la partie

proximale de la scapula a été collecté à Théus et appartient à un juvénile de plus grande taille que les individus habituellement présents dans le matériel. En effet son humérus a une longueur de diaphyse de 7 cm, le radius de 9 cm et le métacarpe de 10 cm, tandis que les diaphyses des autres juvéniles mesurent environ 5 à 6 cm pour l'humérus, 6 à 7 cm pour le radius et 6,5 à 8 cm pour les métacarpiens. Chez un chevreuil adulte, la diaphyse de l'humérus mesure environ 9 cm, le radius 12 cm, et le métacarpe 13 cm. Il s'agit donc soit d'un juvénile plus robuste que la moyenne, soit d'un faon consommé plus tard dans la saison.

Au sein de la population des sangliers, un individu juvénile trouvé à Izon-la-Bruisse se démarque également par sa grande taille. Cependant, il demeure éloigné de la taille adulte. Il est représenté par un crâne complet mesurant 28 cm de long (longueur totale), un tibia dont la diaphyse mesure approximativement 9 cm, ainsi qu'un talus et une malléole. Chez un adulte, le crâne mesure environ 32 cm de long, et le tibia 14 cm. Un autre élément particulier provient d'un suidé non déterminé subadulte ou adulte, trouvé à Alzon. Il s'agit de l'épine dorsale d'une vertèbre cervicale portant des marques de sciage. Cet élément a été considéré à part, puisqu'il s'agit d'un reste de boucherie, et non d'un individu chassé ou charogné. Il ne figure donc pas dans le tableau d'âge des proies.

Nous avons décompté précédemment trois renards subadultes. De petite stature (peut-être des femelles), leur masse corporelle n'était probablement pas beaucoup plus élevée que 5 kg. Deux proviennent de Vialas, représentés par deux crânes, deux mandibules complètes, deux rachis, deux bassins, un membre antérieur et un fémur, un tibia et une fibula. Le troisième provient de Théus, représenté par un crâne et une vertèbre cervicale. Quant au renard adulte de Barnas, il est représenté par le rachis (des deux dernières vertèbres thoraciques au sacrum), le bassin, une scapula, un radius et une ulna.

Les derniers individus un peu plus lourds que 5 kg sont deux blaireaux subadultes : l'un représenté par le maxillaire (Théus), et l'autre par la ceinture pelvienne et un fémur (Sumène). Ce court aparté a permis de décrire les individus dont la masse corporelle est plus importante que la masse critique que l'aigle peut transporter et qui ont été identifiés dans différentes aires. Il apparaît ici que pour ces proies ce sont uniquement des quartiers qui sont apportés au nid.

### **3. Fragmentation et modifications des surfaces osseuses**

Les modifications morphologiques des ossements induites par l'Aigle royal lors de la consommation des proies ont été étudiés sur les restes de lièvre, de chevreuil, de renard et d'oiseaux de taille moyenne (*Alectoris/Perdrix* sp., *Phasianus colchicus*, *Columba* sp., *Corvus*

*corone/fragilegus* et autres Corvidés de taille moyenne). Le NRD modifiés et le NRD dont la surface corticale est observable sont indiqués par taxon et partie anatomique (Tableau 8).

## **1 - La fragmentation**

La fragmentation est relativement faible et concerne 183 restes sur 3603, soit 5% de l'effectif total retenu : la plupart des éléments sont donc complets. Chez les mammifères, le crâne est l'os le plus fréquemment touché, avec un pourcentage de fragmentation de 70% chez le lièvre, 64% chez le chevreuil, et 35% chez le renard. Étant donné que les renards et chevreuils sont majoritairement immatures, leur crâne n'est pas soudé : le rapport NRD/NME des crânes est de 2,9 pour le renard, et 2,2 pour le chevreuil, contre 1,4 pour le lièvre, représenté en majorité par des adultes. La plupart des côtes de renard sont fragmentées (85%) et représentées par leur partie proximale. Chez les oiseaux, 59% des sternums et 34% des coxaux sont incomplets. Sur les 5 restes crâniens, un crâne est complet, et deux éléments sont représentés par le bec. Les côtes sont également majoritairement cassées et représentées par la partie proximale. Aucune furcula n'est complète : dans 9 cas sur 11, une des branches est retrouvée articulée à la ceinture scapulaire.

## **2 - Les modifications des surfaces osseuses**

Parmi les 3603 restes étudiés, plus de la moitié (54%) présentent une surface observable (Tableau 8). Les autres éléments, au nombre de 1657, sont recouverts de tissus mous, dont 1640 appartenant à l'autopode (99% de l'effectif non observable). L'observation des surfaces osseuses exclue donc 69% des éléments de l'autopode, et 17 autres éléments, à savoir quatre restes crâniens, une mandibule d'oiseau, une furcula, un humérus et quatre radius de chevreuil, deux fémurs, un tibia et un sacrum de lièvre, et deux patellas.

Globalement, la fréquence des modifications de la surface des ossements est modérée : 35% (NR observable) / 19% (NR total) des éléments présentent des traces de consommation, à savoir des cassures et/ou des traces de bec/serres. Les os d'oiseaux sont davantage affectés que les os de mammifères, avec 49/42% d'ossements modifiés, contre 33/17%. Parmi ces derniers, le renard est le taxon sur lequel la plus grande fréquence de modifications a été relevée, puisque 41/32% de ses restes sont altérés, suivi du lièvre (40/20% des restes) et du chevreuil (14/6% des restes).

Taxon	Elément anatomique	état général			altérations de surfaces					NR altéré
		NR			cassures		coups bec/serres			
		total sélectionné	surface observable	fragmenté*	Bord lisse	Bord crénelé	Encoches	Perforations	Enfoncements	
<i>Vulpes vulpes</i>	crâne (NME=23)	66	65	23	24	29	6	8	9	47
	mandibule	35	35	1	9	2	–	–	–	11
	rachis	98	98	5	40	7	2	1	1	49
	côtes	13	13	11	11	–	–	–	–	11
	scapula	10	10	2	–	9	3	1	2	10
	humerus	6	6	0	–	–	–	–	–	–
	zeugopode ant.	17	17	0	–	–	1	–	–	1
	coxal	23	23	0	5	5	7	4	4	15
	femur	5	5	0	–	–	–	–	–	–
	patella	1	0	0	–	–	–	–	–	–
	zeugopode post.	18	18	4	3	–	–	1	–	3
	autopodes	167	68	0	–	–	–	–	–	–
<b>total</b>	<b>459</b>	<b>358</b>	<b>46</b>	<b>133</b>		<b>41</b>			<b>147</b>	
<i>Lepus europaeus</i>	crâne (NME=12)	17	16	12	8	11	1	1	1	14
	mandibule	10	10	0	1	9	1	1	–	10
	rachis	220	219	3	170	7	4	5	–	175
	côtes	6	6	1	3	–	–	–	–	3
	scapula	11	11	1	–	11	–	3	1	11
	humerus	12	12	1	1	–	–	1	–	–
	zeugopode ant.	39	39	2	–	1	–	–	–	1
	coxal	60	60	5	21	12	32	4	–	50
	femur	24	23	2	1	2	–	–	2	3
	patella	8	7	0	–	–	–	–	–	–
	zeugopode post.	85	84	2	82	–	–	–	–	82
	autopodes	1301	409	6	6	–	–	–	–	6
<b>total</b>	<b>1793</b>	<b>896</b>	<b>35</b>	<b>334</b>		<b>55</b>			<b>355</b>	
<i>Capreolus capreolus</i>	crâne (NME=14)	31	31	20	4	14	3	5	1	18
	mandibule	13	13	1	4	8	1	2	–	10
	rachis	3	3	1	–	–	–	–	–	–
	sternum	2	2	0	–	1	–	1	–	2
	scapula	8	8	1	1	4	6	3	–	7
	humerus	13	12	1	1	1	–	–	–	2
	zeugopode ant.	55	51	2	3	–	–	1	2	6
	coxal	9	9	2	3	3	4	3	–	8
	femur	23	22	0	1	–	–	–	–	1
	patella	1	1	0	–	–	–	–	–	–
	zeugopode post.	46	46	0	2	–	–	1	–	3
	autopodes	849	238	2	2	–	–	1	–	3
<b>total</b>	<b>1053</b>	<b>436</b>	<b>30</b>	<b>48</b>		<b>28</b>			<b>60</b>	
oiseaux de taille moyenne	crâne	5	3	4	–	4	–	1	1	5
	mandibule	4	3	1	–	2	–	–	–	2
	vertèbres	42	42	0	2	–	–	–	–	2
	sternum	29	29	17	7	24	2	12	2	25
	côtes	12	12	10	6	2	–	–	–	8
	coracoïde	21	21	2	2	1	3	1	–	6
	scapula	19	19	5	8	2	1	1	–	11
	furcula	11	10	11	7	3	–	1	–	9
	humerus	24	24	3	4	8	3	10	1	18
	zeugopode ant.	12	12	0	–	–	–	–	–	–
	coxal	29	29	10	3	21	2	11	–	27
	femur	9	9	3	3	–	–	–	–	3
zeugopode post.	12	12	4	6	1	2	–	–	7	
autopodes	69	31	2	2	–	–	–	–	2	
<b>total</b>	<b>298</b>	<b>256</b>	<b>70</b>	<b>110</b>		<b>52</b>			<b>125</b>	
<b>total général</b>	<b>3603</b>	<b>1946</b>	<b>183</b>	<b>457</b>	<b>204</b>	<b>84</b>	<b>84</b>	<b>27</b>	<b>687</b>	

**Tableau 8 : Nombre de restes modifiés (NRD), par partie anatomique et par taxons (\*NRD fragmenté : ossements représentés par moins de 70% du volume attendu)**

Un total de 1293 traces de consommation a été observé. Les cassures à bord lisse sont les modifications de surface les plus fréquentes (représentent 53% de la totalité des traces), suivies des cassures à bords crénelés (27%), des perforations (9%), des encoches (8%) et des enfoncements (3%).

Dans les paragraphes suivants sont traités la fréquence de ces différentes modifications ainsi que les ossements et localisations les plus touchées, par classe de vertébrés, et par portion anatomique (squelette axial et squelette appendiculaire). Étant donné que certains os présentent plusieurs modifications, les valeurs totales des NR altérés ne correspondent pas forcément à la somme des NR altérés de chaque élément anatomique, pour les cinq types de modifications (Tableau 8).

## **2a) Cassures/fractures**

Tous taxons compris, 625 ossements présentent des cassures qui modifient à la marge la morphologie de l'os (17% de la totalité des restes). Sachant que certains ossements montrent plusieurs cassures, un total de 1037 fractures a été observé. Parmi elles, 681 présentent des bords lisses (66%), et 356 présentent des bord crénelés (34%)

### **o Mammifères**

Pour le **squelette axial**, 213 vertèbres sont brisées, sur un total de 281 (soit 76%). Parmi ces 394 cassures, principalement à bords lisses (376), 265 (67%) se trouvent sur les apophyses transverses (Figure 13, A, B, b1), 117 (30%) sur les apophyses dorsales et 12 (3%) sur le corps. Parmi les 39 sacrum représentés dans la portion « rachis », 8 sont cassés, avec un bord de cassure lisse. La plupart des éléments crâniens (73 éléments) sont incomplets ; les bords de fractures (nb = 131) sont à bords lisses (51 ; 39%) et à bords crénelés (80 ; 61%). Parmi les 58 mandibules décomptées, 32 (55%) montrent des cassures (nb = 38), dont 24 à bords crénelés et 14 à bords lisses. Chez le renard, 11 mandibules sont touchées, principalement sur le haut du ramus et au niveau du corps (Figure 12, C). Chez le lièvre, 8 mandibules sur les 9 altérées ont des bords de fracture crénelés au niveau du ramus (Figure 12, B). Tandis que chez le chevreuil, 10 mandibules sont cassées, surtout au niveau de la partie incisive du corps. La moitié des coxaux de lièvre présentent des fractures, majoritairement au niveau du pubis. Ce caractère est également relevé sur des coxaux de renards (8/23, soit 35%). Sur les 19 côtes documentées, 14 sont fracturées au niveau du corps, à proximité de la tête. La majorité des côtes (nb = 12) sont représentées par la partie proximale (seule ou avec un demi corps).

Parmi les éléments du **squelette appendiculaire**, les tibio-fibulas de lièvres sont très fréquemment cassés au niveau de la fibula : parmi les 85 éléments, seule une fibula est complète, et elle est totalement absente dans 68 cas, fracturée à sa base soudée au tibia (Figure 14, C, d1). Les 14 fibulas incomplètes sont composées uniquement de leur base (7/14) ou d'une partie de la diaphyse (7/14) (Figure 14, A, B). Les deux éléments restants sont des parties proximales non soudées. Sur les 21 scapulas de lièvre et de renard, 20 sont crénelées sur le bord opposé à la surface articulaire (surtout la partie proche du cartilage de la fosse infra-épineuse) (Figure 14, G). Parmi elles, 13 présentent également des crénelures sur l'épine scapulaire (Figure 14, G). Les scapulas de chevreuil sont fracturées sur ces mêmes localités, mais à moindre fréquence puisqu'une sur deux ne montre pas de telles traces.

#### ○ Oiseaux

Les éléments du **squelette axial** sont les plus cassés, en particulier le sternum, dont 82,7% portent des bords de fractures crénelés (Figure 15, A, B). Plus de 70% des coxaux sont également fracturés, principalement au niveau du pelvis (Figure 15, E, F). Les 4 fragments de crânes présentent des bords de cassures crénelés. Les côtes fracturées au niveau du corps ou près de la tête, sont représentées par leur partie proximale.

Au niveau du **squelette appendiculaire**, des crénelures sont visibles le long de la crête deltoïdienne sur 8 humérus sur 24 (Figure 15, C). Plus de la moitié des scapulas sont fracturées (10 sur 19), et documentées par des fragments proximaux. La moitié des tibiotarses (6 sur 12) sont cassés, à différents endroits.

#### 2b) Traces de bec/serres

Les traces produites par l'impact du bec et/ou des serres sont peu nombreuses ; elles sont visibles sur 176 restes, soit 9 (NR observable)/5 (NR total)% du corpus, et ont été quantifiées au nombre de 256. Ces traces se retrouvent principalement sous forme de perforations (N = 115) et d'encoches (N = 104), mais aussi d'enfoncements (N = 37).

#### ○ Mammifères

Sur le **squelette axial**, des encoches sont visibles sur 43 os coxaux parmi les 92 recensés, soit 47% des cas. Le lièvre est le plus affecté : plus de la moitié des coxaux (53%) présentent des encoches (N = 39). Vingt d'entre elles sont localisées au niveau de la branche ischio-pubienne et sont plutôt de petite taille (Figure 13, b2), 13 de taille plus importante affectent l'ilium (Figure 13, C), 6 se trouvent sur la partie inférieure de l'ischium (Figure 13, B). Les coxaux de renards

sont encochés uniquement au niveau de l'ilium (Figure 13, d1), avec 7 encoches au total. Le crâne est l'os sur lequel les enfoncements sont les plus concentrés, avec 13 enfoncements (sur les 24 présents sur les mammifères), visibles sur la partie antérieure des crânes, en particulier le maxillaire (Figure 12, a1). Les enfoncements affectant le reste du squelette sont anecdotiques et n'ont pas de localisation particulière. Les crânes présentent parfois des perforations (N = 27), notamment dans la région des orbites (Figure 12, a2, a3, a4) et du maxillaire (N = 17).

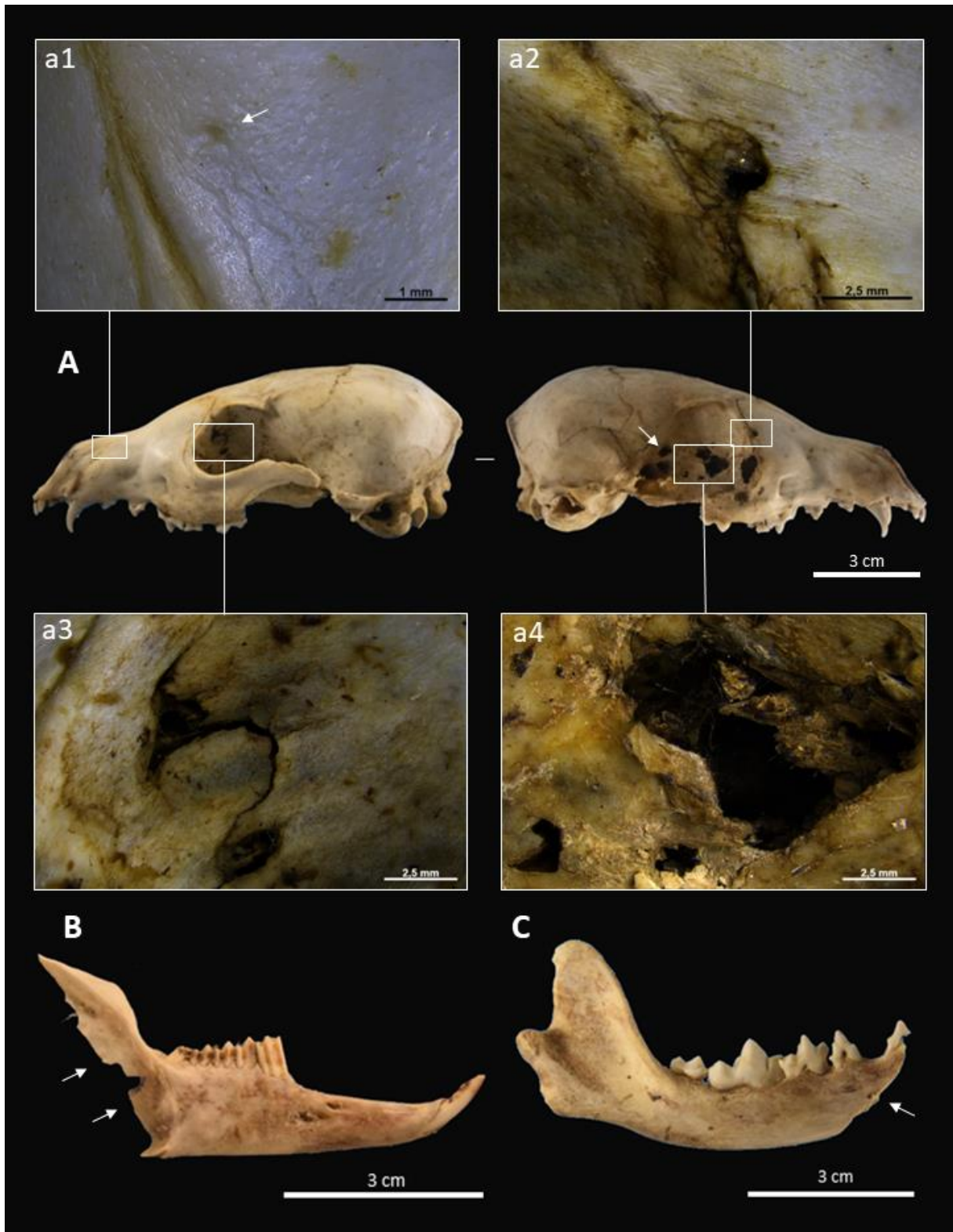
Sur le **squelette appendiculaire**, les encoches se rencontrent parfois sur les scapulas, plutôt sur le bord de la fosse infra-épineuse, à l'opposé de la surface articulaire (Figure 14, F, E, e1), et sur l'épine scapulaire. Des perforations se trouvent également sur ce même élément (Figure 14, e2) : sur un total de 29 scapulas, 7 sont affectées.

#### ○ Oiseaux

Le sternum, l'os coxal et l'humérus sont les éléments les plus touchés, principalement par des perforations qui affectent 41% des sternums (Figure 15, b1), 42% des humérus et 38% des coxaux (Figure 15, e1). Sur les 10 humérus concernés, 7 sont perforés au niveau de la partie proximale (Figure 15, D), et 3 sur la partie distale. Les perforations sur les coxaux sont distribuées de manière aléatoire. Il en est de même pour le sternum mis à part que la carène tend à être épargnée par rapport au reste de l'élément, puisqu'un seul sternum sur 12 offre une carène perforée.

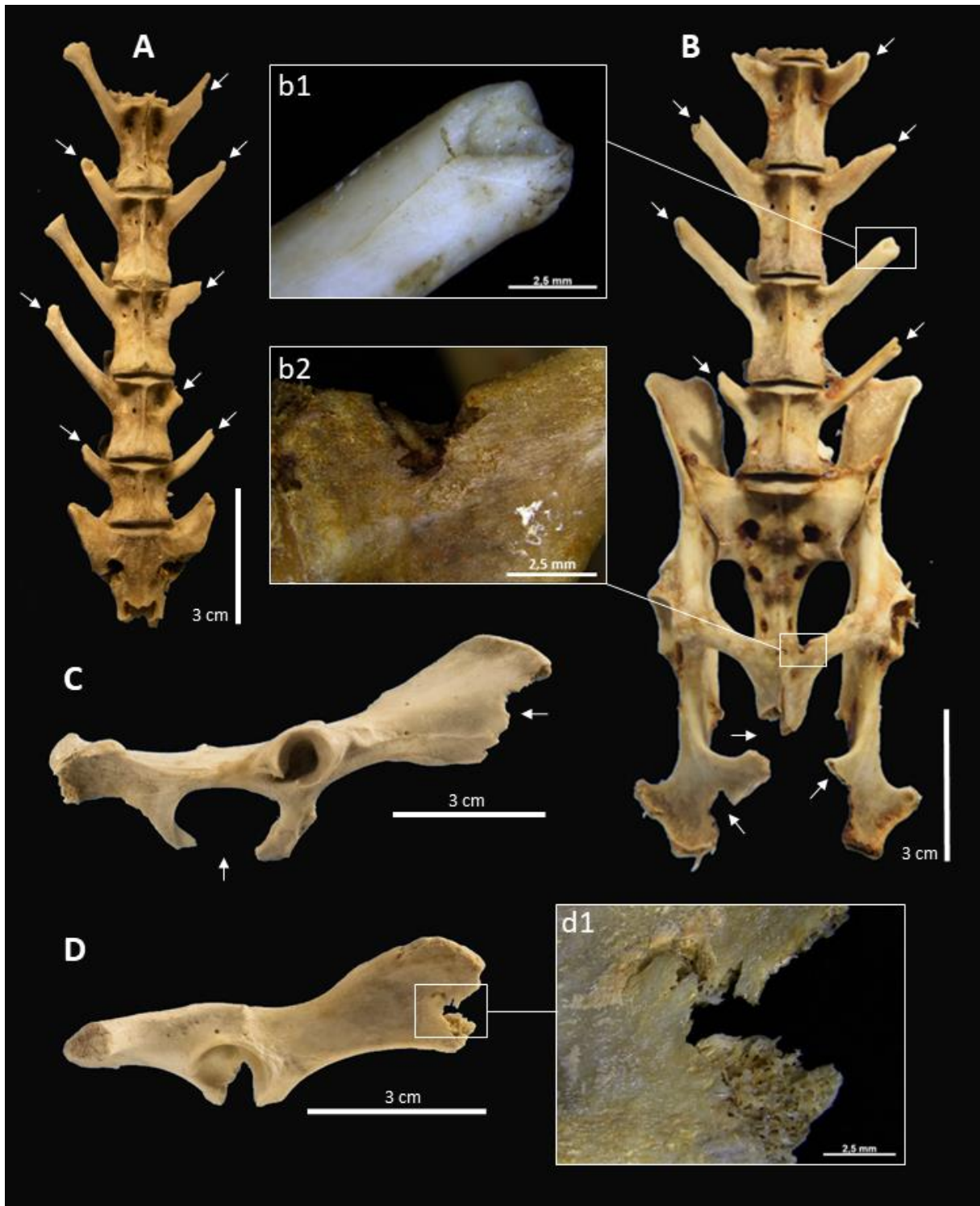
#### **2c) Digestion**

Sur la totalité de l'échantillon (tous taxons compris), seuls 11 éléments présentent des traces de digestion, et proviennent probablement de pelotes disloquées qui ont rejoint notre échantillon composé quasi exclusivement de restes non-ingurgités. Il s'agit de deux tibias (un presque complet et une partie distale) et d'une vertèbre cervicale de renardeau, d'un fémur et d'un humérus de corneille/corbeau freux, d'une extrémité distale de fémur de corvidé de taille moyenne, d'une phalange de lièvre, d'une partie proximale de fémur de perdrix, d'un coracoïde de chouette, d'une ulna de rongeur, et enfin d'une diaphyse d'os long d'oiseau de taille moyenne. Ces ossements sont fortement attaqués par les sucs digestifs : les bords sont amincis, certaines parties de la surface des os ont été désagrégées ou sont transparentes, et la surface est parfois blanchie. Le fémur de corneille/corbeau freux a été tordu. En plus de ces restes, 5 vertèbres ont possiblement été digérées, mais sans certitudes : leur aspect est transparent et gras, et le bord des fractures au niveau des apophyses transverses est légèrement poli.

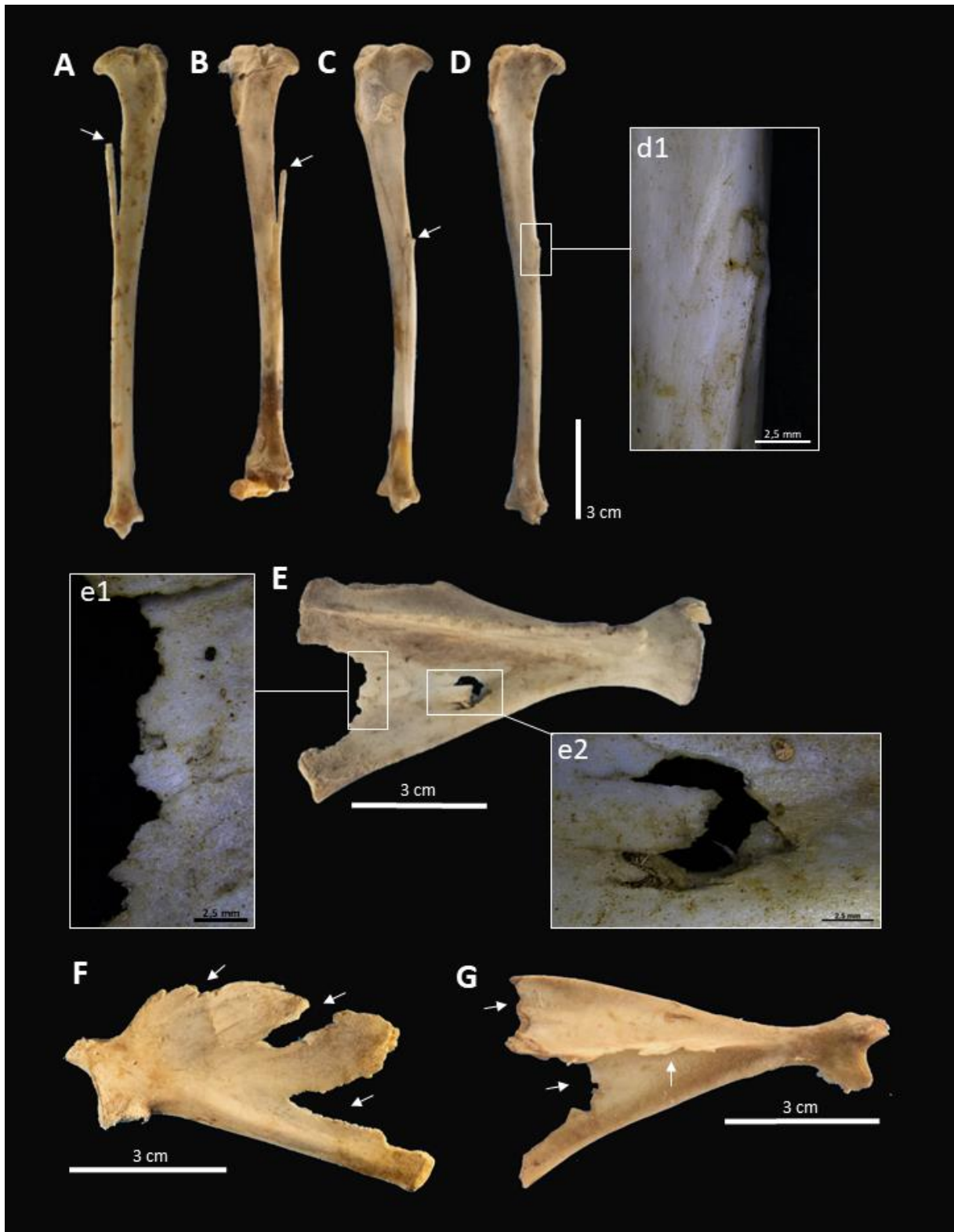


**Figure 12** : Modifications observées sur les éléments crâniens de mammifères : enfoncement (a1) et perforations (a2, a3, a4) sur un crâne de renardeau (A), cassure à bord crénelé sur une mandibule de lièvre (B), et cassure à bord lisse sur une mandibule de renardeau (C).

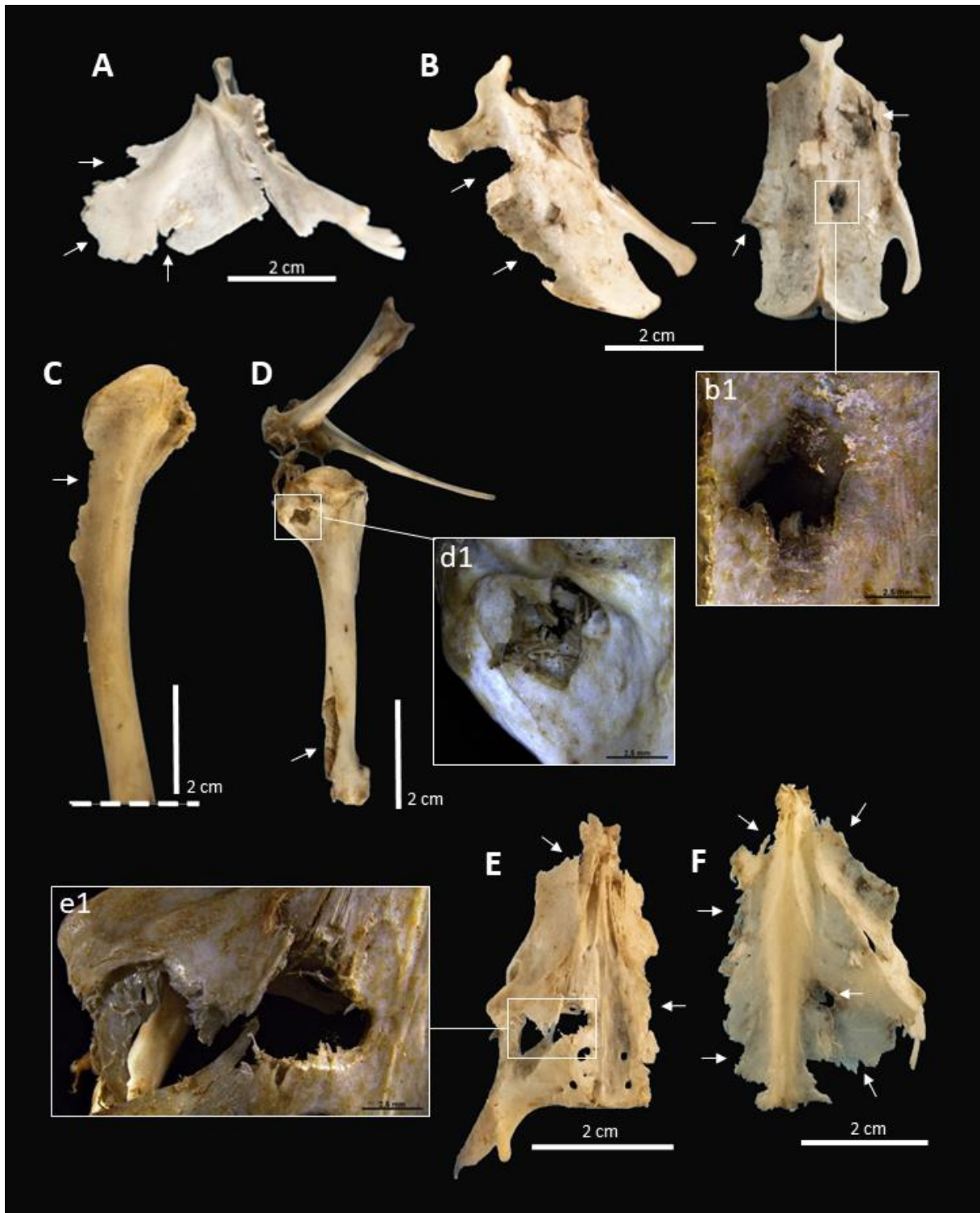




**Figure 13** : Modifications observées sur les éléments du tronc des mammifères : fractures des apophyses transverses des vertèbres de lièvre (A, B, b1), fractures de la branche ischio-pubienne des coxaux de lièvre (B, C), encoches sur le pubis et l'ischium des coxaux de lièvre (B), encoche et cassure sur l'ilium d'un coxal de lièvre (C) et de renard (D).



**Figure 14** : Modifications observées sur le squelette appendiculaire des mammifères : fracture de la fibula des lièvres (A, B, C, D, d1), encoche (e1) et perforation (e2) sur une scapula de chevreuil (E), encoches et cassures à bord crénelé sur une scapula de renard (F) et de lièvre (G).



**Figure 15** : Modifications observées sur les restes d'oiseaux : cassures à bord crénelé et encoches sur des sternums de colombiforme (A) et de corneille/ corbeau freux, également perforé (B, b1), cassure à bord crénelé sur un humérus de buse (C), perforation sur un humérus de corneille/corbeau freux (d1), perforations et cassures à bord crénelé sur des coxaux de corneille/corbeau freux (E, e1) et de pigeon (F).

### 3 – Autres altérations observées

Des perforations de forme circulaire produites par des dermestes ont été observées sur 18 ossements. L'identification des insectes a été effectuée par Jean-Bernard Huchet (paléontomologue) à partir de spécimens extraits des chambres de pupation creusées dans l'os. Des traces d'altérations météorologiques sont visibles sur quatre ossements de goéland et un ossement de chevreuil en provenance de Barnas, présentant une surface fissurée. Malgré ces quelques exceptions, l'environnement des accumulations n'a visiblement pas eu d'impact sur la morphologie des ossements.

## IV) Discussion et conclusion

### 1. Discussion et comparaison inter-référentiels

Le bon état de surface des ossements et les conditions de ramassage de l'échantillon dont nous disposons ont joué en faveur de notre étude. En effet, le fait que les ossements aient été récoltés peu de temps après leur apport sur les aires a permis d'écarter le rôle des autres prédateurs dans la constitution des accumulations ; il est en effet fréquent que ces espaces servent à d'autres rapaces comme cela a été mentionné dans les études de Hockett (1991, 1995). La collecte rapide des ossements a aussi limité les biais induits par les animaux charognards. De même, la morphologie en niche des parois rocheuses a grandement limité les perturbations postdépositionnelles. La conservation des tissus articulaires qui a maintenu les éléments anatomiques a facilité leur détermination taxinomique et augmenté la qualité de notre référentiel. Ce travail a donc permis de mettre en évidence des caractères diagnostiques des accumulations osseuses produites par l'Aigle royal, qui peuvent maintenant être discutés.

#### ○ Alimentation de l'Aigle royal

Concernant le régime alimentaire, la littérature mentionnait déjà que l'Aigle est un prédateur opportuniste, ciblant les proies facilement transportables et suffisamment charnues pour rentabiliser le ratio effort/apport énergétique. Les proies identifiées dans notre échantillon corroborent tout à fait les observations éthologiques concernant l'alimentation des différentes espèces d'aigles. Nous insistons toutefois sur le fait que le spectre faunique représenté dans les nids correspond au menu de l'Aigle royal **pendant la période de nourrissage des aiglons** (printemps et été), impliquant l'alimentation de la femelle et du ou des aiglon(s). Nous n'avons pas décelé de différence significative dans la sélection des proies en fonction des

environnements dans lesquels les aires sont implantées. Il est cependant naturel que l'Aigle adapte son régime alimentaire en fonction des proies disponibles, au vu de la diversité taxinomique des restes de repas. Des variations alimentaires sont effectivement mises en évidence par Ricau et Decorde (2009, p. 244-247) entre différents massifs d'Europe : les mammifères herbivores de taille moyenne sont majoritairement consommés dans les Alpes du Sud (73% du régime alimentaire) et dans les Corbières (59%), où les aigles qui occupent ce dernier massif consomment également des mammifères carnivores (20%). Dans les Pyrénées, les reptiles et batraciens, les oiseaux de taille moyenne et les ongulés constituent la majorité du menu (respectivement 21%, 20% et 15% de l'alimentation). Enfin, les Aigles qui vivent en Macédoine sont friands de tortues (53% du régime). Dans notre échantillon, les seules différences notées dans le régime alimentaire se trouvent dans le prélèvement d'Orlu (Pyrénées ariégeoises), où l'isard et la marmotte remplacent respectivement le chevreuil et le lièvre. Quant à la chèvre et au chamois, ils sont présents de manière ponctuelle dans les échantillons en provenance de régions montagneuses. Cependant, dans la mesure où nous disposons d'un unique échantillon prélevé dans les Pyrénées, nous ne pouvons pas généraliser cette observation. Par ailleurs, l'identification de trois individus pathologiques souffrant possiblement de problèmes de locomotion, pourrait montrer que l'Aigle profite de l'opportunité qu'offrent ces individus invalides, dont la capacité de fuite est contrainte. Néanmoins, il faudrait connaître la fréquence moyenne de ces pathologies dans l'environnement afin de tester l'hypothèse d'une capture préférentielle.

L'opportunisme de l'Aigle est toutefois limité par le caractère transportable de la proie ; c'est pourquoi les animaux qui pèsent entre 1 et 5 kg sont le plus rencontrés dans les aires. Si les proies de cette gamme ne sont pas disponibles, l'Aigle se rabattra sur des animaux plus petits, ou plus grands (Ricau et Decorde, 2009). Concernant les proies de masse supérieure à 5 kg à l'âge adulte (renards, blaireaux, ongulés), n'ayant pas connaissance de documentation assez précise sur l'évolution de la masse chez les animaux juvéniles, leur masse au moment de leur acquisition a été difficilement estimable. S'agissant de sujets âgés de moins de 4 mois, la masse des renardeaux ne dépassait pas 5 kg. Les faons et marcassins pesaient probablement entre 5 kg pour les plus jeunes, et jusqu'à 10 kg pour les juvéniles plus âgés.

#### ○ **Représentation des éléments anatomiques**

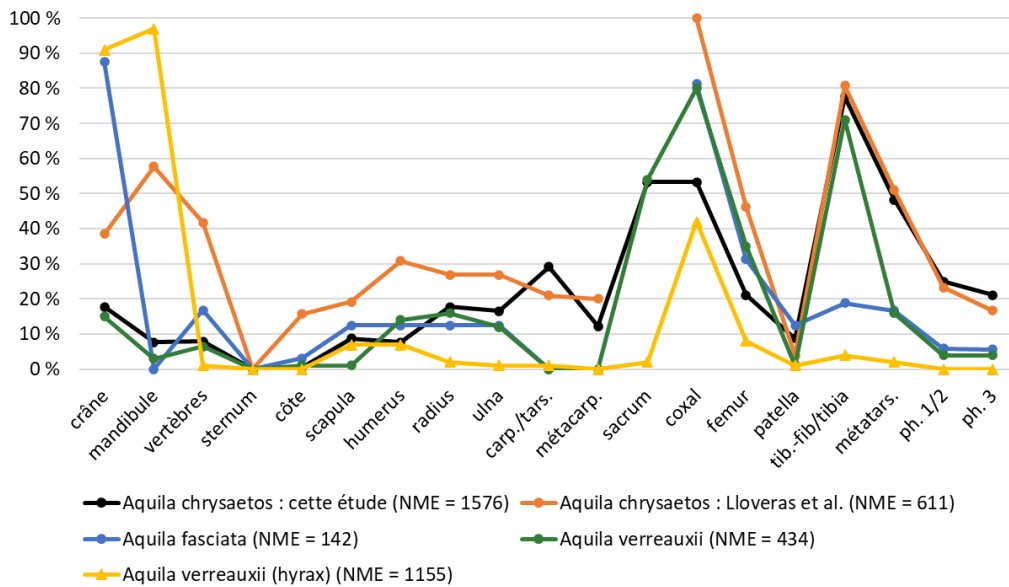
Pour le calcul de l'abondance relative des éléments anatomiques de lièvre, de faon de chevreuil et de renardeaux, le traitement séparé des aires a mis en lumière une variabilité inter-sites en ce



qui concerne les modalités de consommation, ce qui n'a pas été le cas dans les études précédentes. Les Figure 6, Figure 7 et Figure 8 sont essentielles pour observer cette variabilité, mais les dissemblances entre les courbes résultent en partie de l'effectif des séries. En effet, 6 séries sur 8 contiennent moins de 150 restes osseux : la présence/absence d'un seul élément anatomique avec une quantité spécifique faible (de 1 ou 2) entraîne donc une forte variation de la courbe. La validité de ces différences n'étant pas statistiquement testables, il est nécessaire d'accorder une moindre attention aux forts éloignements de %RA entre les éléments provenant de séries peu abondantes. Les modèles globaux du %RA des éléments osseux de lièvre et de chevreuil permettent de clarifier les résultats avancés en s'appuyant sur un NME plus important. Les intervalles de confiance associées aux ossements de lièvre sont plutôt rapprochés, ce qui nous permet de considérer ces résultats comme représentatifs. Pour le chevreuil, les intervalles de confiance sont plus grands (exception faite des éléments de l'autopode). Les résultats sont donc à nuancer, et l'intégration de nouvelles séries permettra de tester nos premières observations par le biais de comparaisons.

Concernant les lièvres capturés, il semble que l'Aigle ramène préférentiellement l'arrière-train au nid, puisqu'il s'agit du quartier le plus nourrissant pour les aiglons. La fréquence du phénomène de surreprésentation de l'arrière-train écarte le soupçon du charognage, impliquant une sélection plus aléatoire de quartiers. Nous avons comparé les %RA des éléments anatomiques de lièvre avec des référentiels créés à partir de restes de léporidés et d'hyrax non ingérés (Figure 16) et accumulés par l'Aigle royal, l'Aigle de Bonelli (*Aquila fasciata*) et l'Aigle de Verreaux (*Aquila verreauxii*). L'échantillon correspondant à l'Aigle royal est celui étudié par Lloveras *et al.*, (2017), composé de restes de lapins de garenne (*Oryctolagus cuniculus*) et de lièvres (*Lepus europaeus*). Les lapins de garenne constituent également les accumulations produites par l'Aigle de Bonelli, étudiées par Lloveras *et al.* (2014). Quant aux restes de repas de l'Aigle de Verreaux, analysés par Armstrong et Avery (2014), ils contiennent des restes de lièvres (*Lepus sp.*, *Lepus capensis*, *Lepus saxatilis*) d'une part, et des restes d'hyrax (*Procavia capensis*) d'autre part. Toutes ces accumulations se caractérisent par les mêmes tendances au regard de la représentation anatomique (Figure 16). Certains éléments manquants tels que les vertèbres cervicales et thoraciques, le sternum, les côtes et les patellas, auraient pu être ingurgités, et se retrouveraient donc dans les pelotes de rejection. Nous ne sommes cependant pas en mesure de fournir des hypothèses expliquant la sous-représentation du fémur, notamment par rapport au tibio-fibula et aux coxaux qui l'encadrent. Nous pouvons déduire du profil anatomique qu'il consomme la partie antérieure sur le lieu de capture ou sur

un perchoir, notamment pour alléger la proie. Des parties arrières de lièvres sont en effet fréquemment trouvés dans les nids lors de leur exploration, et les images capturées par les pièges vidéo posées par les naturalistes montrent régulièrement des adultes au jabot plein apportant la proie.



**Figure 16 :** %RA des éléments anatomiques de léporidés (4 échantillons) et d'hyrax (1 échantillon) accumulés par *Aquila chrysaetos*, *Aquila fasciata*, et *Aquila verreauxii*.

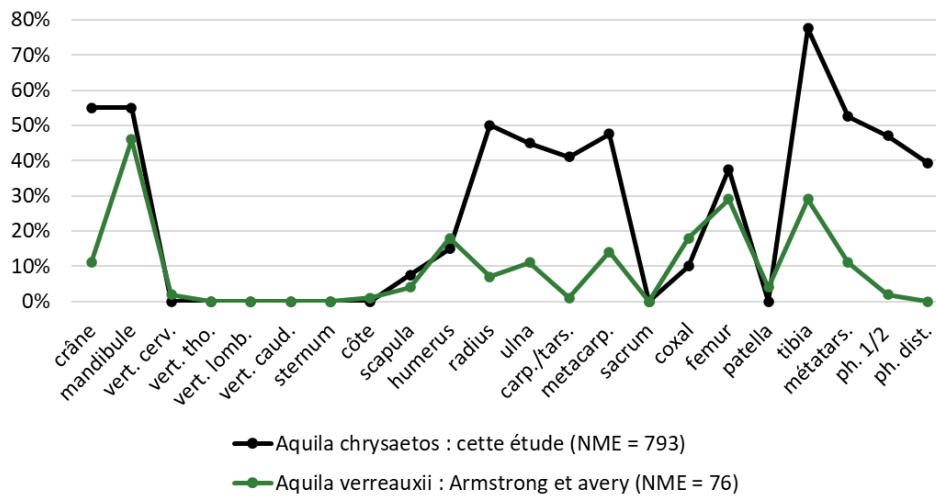
Il est difficile de comparer nos données chiffrées avec celles issues de Hockett (1993, 1995) et Schmitt (1995). D'une part, leurs analyses ne comprennent pas le calcul du %RA des éléments anatomiques et de plus, le NMI n'étant pas renseigné, nous n'avons pas pu calculer ce %RA. Toutefois nos résultats sont cohérents avec ceux de ces auteurs : parmi les restes non ingérés, l'arrière train est effectivement surreprésenté, et dominé par les éléments de la patte arrière et du bassin. Dans le cas de l'échantillon mêlant lapins et lièvres (Lloveras *et al.*, 2017), la tête, le bassin et les pattes avant sont nettement plus fréquents que dans les échantillons uniquement composés de lièvres. Cette différence peut être expliquée par la plus faible stature du lapin par rapport au lièvre (pesant respectivement 1,5 à 2,5 kg, et 3,5 à 5 kg) : l'Aigle a sans doute davantage tendance à rapporter des lapins entiers à l'aire. Les vertèbres cervicales et les premières vertèbres thoraciques, peu volumineuses, ont pu être avalées puisque Lloveras *et al.* (2017) et Hockett (1993, 1995) ont identifié des vertèbres dans les pelotes de rejection de leur collection, ainsi que des éléments de petite taille (phalanges, carpiens, tarsiens). Concernant l'échantillon accumulé par l'Aigle de Bonelli, la majorité des éléments osseux suivent ce schéma, excepté le crâne qui est surreprésenté, et les tibio-fibula, qui sont sous-représentés. La ceinture pelvienne semble davantage représentée dans notre échantillon que dans ceux qui ont

été étudiés par Schmitt (1995) et Hockett (1993, 1995). Cette observation rejoint celle qui avait été faite par Hockett (1993, 1995) à Matrac Roost, puisque le prélèvement contient 17 restes d'os coxal et de sacrum, sur 930 restes au total. Pour rappel, ces deux auteurs mêlent également les restes de lièvre et de lapin d'Amérique (*Sylvilagus*) dans leur analyse. Un autre biais a été rencontré lors de la comparaison de la conservation différentielle des vertèbres. En effet, Hockett (1991, 1995) mais aussi Lloveras *et al.* (2017) ne distinguent pas les vertèbres par rang (cervicale, thoracique, lombaires et caudales). Or nous avons pu montrer que les vertèbres lombaires et le sacrum dans une moindre mesure étaient davantage représentés dans les aires de nidification. Toutefois, l'étude de Schmitt (1995) vient pallier ce manque, puisque dans sa collection les lombaires représentent 70% des vertèbres identifiées. Cette donnée tend à valider nos observations et pourrait indiquer que l'abondance de lombaires serait un critère diagnostique des accumulations produites dans les aires de nidification de l'Aigle royal. L'échantillon comprenant des restes d'hyrax est celui qui se démarque le plus : les éléments de la tête et l'os coxal sont largement surreprésentés, tandis que les autres éléments du squelette sont plutôt rares. Sachant que l'hyrax a une masse corporelle égale à celle des léporidés (comprise entre 2 et 5 kg), il semblerait qu'il existe une différence de traitement également entre taxons de masse similaire.

Parmi les faons, il se pourrait que les individus les plus légers (âgés de quelques jours) aient été ramenés entiers. Dans ce cas, les éléments du tronc ont certainement été évacués par les parents lors du nettoyage de l'aire. Il est peu probable que les vertèbres et les côtes soient avalées en totalité, au vu de leur taille. La patella a pu être ingérée, ou s'est infiltrée dans la litière du nid. Concernant les faons plus lourds dont la masse corporelle est d'approximativement 5 kg, voire légèrement plus, l'Aigle semble en ramener des quartiers pour nourrir ses poussins. Nous n'avons pas de certitudes pouvant expliquer l'absence totale des éléments du tronc, mais il se pourrait que les membres et la tête soient ramenés au nid, après consommation du tronc sur le lieu de capture, ou sur un perchoir. La surreprésentation du tibia incite à penser que, comme les léporidés, la cuisse serait préférentiellement ramenée, mais nous n'avons encore une fois pas d'arguments pouvant expliquer l'infériorité numérique des fémurs par rapport aux tibias. Le %RA des éléments anatomiques calculé par Armstrong et Avery (2014) sur quelques dizaines de restes de bovidés (raphicères, ovins et caprins) accumulés par l'Aigle de Verreaux (Figure 17), montre un équilibre quantitatif entre le fémur et le tibia. Ces auteurs relèvent également l'absence des éléments du tronc. Mis à part le fait que les mandibules sont surreprésentées dans

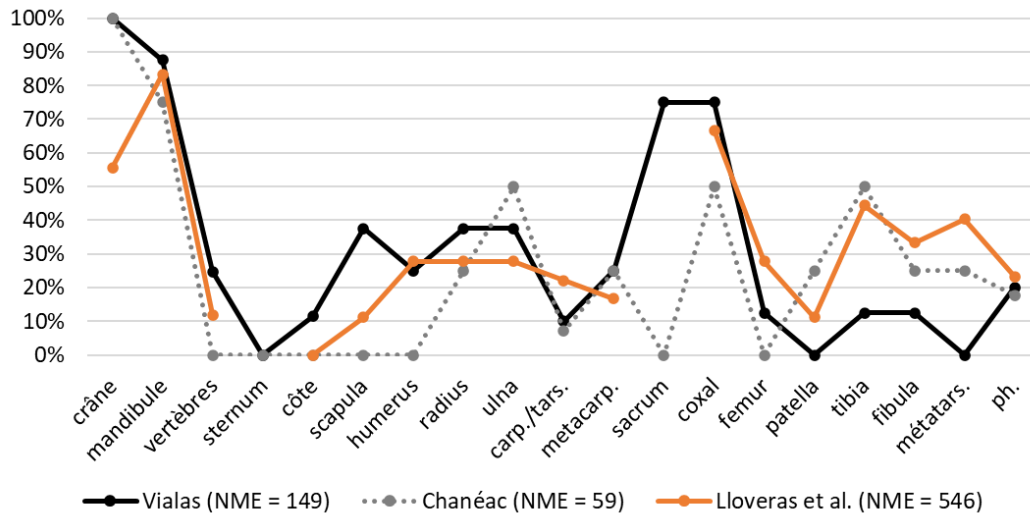


leur collection et les tibias moins représentés, le profil anatomique est comparable à nos résultats.



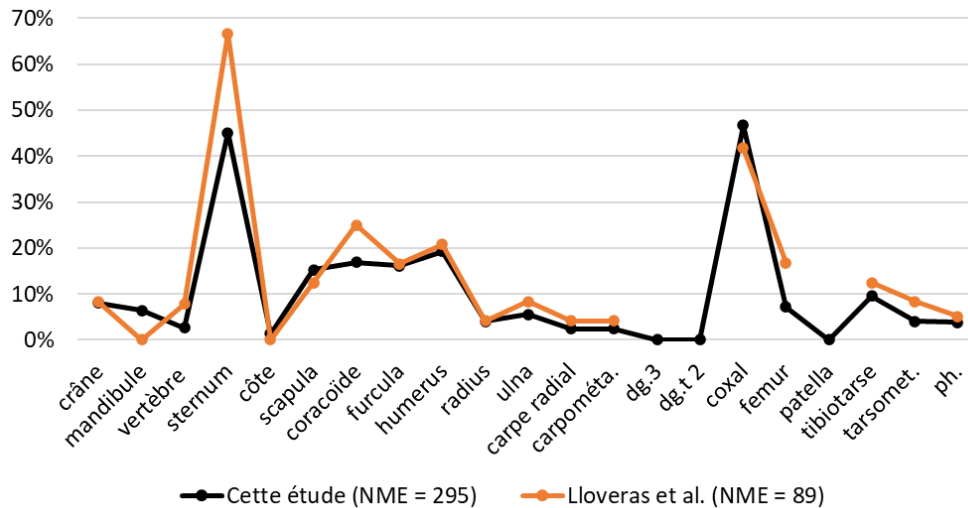
**Figure 17 :** %RA des éléments anatomiques de *Capreolus capreolus* accumulés par *Aquila chrysaetos* (notre étude, et de *Bovidae* accumulés par *Aquila verreauxii* (Armstrong et Avery, 2014).

Pour le renard, excepté la sur-représentation du crâne et de la mandibule, nous n'avons pas pu identifier de tendances dans la représentation des éléments anatomiques des carcasses, puisque les prélèvements de Chanéac et Vialas ont fourni des signaux contradictoires. La comparaison de nos données avec celles de Lloveras *et al.* (2017), concernant la représentation anatomique des carnivores (principalement du renard, mais aussi des restes de mustélidés et de blaireaux) (Figure 18) a permis de les clarifier. Il apparaît en effet que la tête et les coxaux tendent à être surreprésentés dans les accumulations. Les vertèbres et les côtes sont régulièrement manquantes, donc peut-être évacuées et/ou partiellement ingérées. La proportion membre antérieur/membre postérieur est relativement équilibrée. Les renardeaux semblent donc être rapportés à l'aire plus ou moins entiers. En tout cas, si une partie de leur corps est consommée en cours de route, aucune préférence pour un quartier en particulier ne se distingue. L'absence d'éléments du tronc dans le prélèvement de Chanéac résulte certainement de l'évacuation du tronc par les parents. Quant aux éléments de petite taille, ils ont pu s'infiltrer dans la litière du nid.



**Figure 18** : %RA des éléments anatomiques de *Vulpes vulpes* (cette étude : Vialas, Chanéac), et de mammifères carnivores (Lloveras et al., 2017) accumulés par *Aquila chrysaetos*.

Concernant les oiseaux de taille moyenne, il ne serait pas étonnant que les vertèbres et les ossements des autopodes soient avalés, mais ne se retrouvent pas dans les pelotes de rejection. En effet, au vu de la finesse de l'os cortical et de la petite taille de ces ossements, ils ont pu être totalement dissouts par les sucs gastriques. De fait, cela expliquerait leur absence dans les pelotes étudiées par Lloveras *et al.* (2017) et Hockett (1993, 1995). L'autre hypothèse est que ces ossements de petite taille se sont infiltrés dans la litière du nid. Dans leur étude, Lloveras *et al.* (2017) ont calculé un %RA des éléments anatomiques d'oiseaux à partir de la totalité des restes : excepté les Colombiformes, les différentes gammes de taille n'ont pas été séparées. Le corpus, composé de 89 restes est dominé par les Colombiformes (29 restes), les petits passereaux (28 restes) et le héron cendré (12 restes). La masse de la totalité des oiseaux représentés dans l'échantillon est donc comprise entre 30 g et 4 kg. Malgré tout, il est intéressant d'observer que la courbe de représentation anatomique suit de près celle construite dans ce mémoire : le sternum, l'os coxal, et les éléments de la ceinture scapulaire demeurent surreprésentés. Les os du membre supérieur sont aussi légèrement plus abondants que ceux du membre inférieur. Bochenski (1999, 2009) a également observé les mêmes faits dans sa collection. Il se pourrait que les oiseaux soient rapportés entiers au nid, et que les éléments des membres se retrouvent peu dans les échantillons pour une raison que nous n'expliquons pas actuellement.







**Figure 19** : %RA des éléments anatomiques d’oiseaux de taille moyenne (notre étude) et de toutes tailles (Lloveras et al.) accumulés par *Aquila chrysaetos* (entre parenthèses : NME).

Quant aux individus à la masse corporelle élevée (p. 38), il est certain que leur transport entier est impossible. Nous ne pouvons pas certifier que les restes de sanglier en provenance d’Izon-la-Bruisse (crâne, tibia, talus et os malléolaire) appartiennent à un même individu, mais si c’est le cas il a été transporté en deux trajets reliant le lieu d’acquisition à l’aire. S’il s’agit de deux individus différents, seule une partie du corps a été ramenée ; la part du charognage n’est donc pas à exclure. Concernant la vertèbre sciée de suidé récupérée à Alzon, il est évident qu’il s’agit d’un reste de boucherie abandonné qui devait présenter des restes de viande. Il est donc envisageable que l’Aigle se serve occasionnellement dans les aires de nourrissage dédiées aux autres grands rapaces.

Concernant la composition des échantillons, nous avons été confrontés à deux principaux biais. Dans un premier temps, le biais de collecte concernerait davantage les petits éléments tels que la patella et les os de l’autopode, s’ils ne sont pas ingérés ni maintenus par une connexion anatomique, qui auraient pu s’infiltrer dans la litière du nid. Il est en revanche peu probable que ce soit le cas des éléments plus volumineux tels que les côtes, les fémurs et les vertèbres cervicales, thoraciques et lombaires de mammifères. Nous considérons donc que le fait de ne pas avoir fouillé la totalité des nids représente un biais de collecte de faible envergure. Celui-ci pourrait davantage résulter de la rapidité de la collecte, en cas d’état de stress de l’aiglon qui doit être bagué. Un autre biais auquel nous sommes confrontés est le nettoyage de l’aire par les aigles, impliquant une conservation différentielle en fonction de la morphologie des aires. En effet, les aires étroites ont tendance à être nettoyées plus régulièrement, tandis que les ossements

présents dans les aires plus spacieuses bénéficient de davantage d'espace pour s'accumuler, sans empiéter sur le nid. Nous n'avons pas clairement connaissance des modalités de ce nettoyage, son impact sur la composition des échantillons demeure donc difficile à évaluer.

Nous proposons ainsi une synthèse regroupant la composition des prélèvements étudiés en termes d'éléments anatomiques par taxons, et la composition hypothétique des autres accumulations résultants de l'activité alimentaire de l'Aigle (Tableau 9). Il est important de souligner que les comportements individuels des aigles et leur expérience en tant que parents est un autre facteur à prendre en considération dans l'équation.

		Proies				
						
<b>Caractéristiques des accumulations</b>	<b>Âge ciblé</b>	< adultes	< juvéniles	< juvéniles	< adultes	
	<b>Perchoir</b>	↗ Avant-main	↗ Tronc	Résultat non significatif	∅	
	<b>Aire</b>	<b>Non ingérés</b>	↗ Arrière-train ↘ crânien, pattes antérieures, fémur ∅ Côtes, vertèbres cervicales, thoraciques et caudales	↗ Tête, pattes ∅ Tronc	↗ tête, bassin, pattes	↗ Sternum, coxal, humérus, ceinture scapulaire ↘ tête, fémur, zeugopodes, autopodes ∅ vertèbres, côtes
		<b>Digérés (pelotes)</b>	Degré de digestion élevé : os amincis, désagrégés, transparents, tordus			
		<b>Percolation dans la litière</b>	patella, carpiens, tarsiens, phalanges, côtes, vertèbres cervicales, thoraciques, caudales	Patella, carpiens, tarsiens	Patella, carpiens, tarsiens	Vertèbres, autopodes, patella
	<b>Évacuation</b>	Ossements encombrants, recouverts de restes de peau/fourrure				

Accumulation en pied de corniche

**Tableau 9 :** Synthèse des caractéristiques certifiées (âge, non ingérés) et hypothétiques (perchoir, pelotes, percolation, évacuation) des différentes accumulations osseuses produites par l'Aigle royal en période de nourrissage des aiglons ( ↗ : dominance ; ↘ : rareté ; ∅ : absence)

○ **Fragmentation et modifications de la surface des ossements**

La récolte du matériel ayant suivi de peu la période d'accumulation, nous estimons que la fragmentation et les modifications observées sur la surface corticale des ossements sont issues de la prédation et de l'activité alimentaire de l'Aigle royal. L'absence de modifications à la

surface des trois lots d'ossements nettoyés nous incitent à penser que la présence de peau est un biais négligeable tant qu'elle n'est pas omniprésente dans l'échantillon. Il est important de noter que classer les traces observées dans différentes catégories fermées demeure difficile et quelque peu subjectif, dans la mesure où leur aspect est variable en fonction de leur intensité et de leur localisation : l'ambiguïté peut se retrouver par exemple entre un enfoncement et une perforation, ou entre une perforation et une encoche.

En ce qui concerne la fragmentation des éléments osseux, la comparaison des résultats issus des études antérieures (Hockett, 1993 ; Bochenski, 2008 ; Lloveras *et al.*, 2014 ; Armstrong et Avery, 2014 ; Lloveras *et al.*, 2017) avec nos résultats est à nuancer car nous n'avons pas toujours utilisé les mêmes modes d'enregistrement que nos prédécesseurs. En effet, la proportion d'ossements modifiés dans notre collection est élevée car nous y avons inclus les cassures, et pas seulement les marques d'impact de bec/serres. De fait, ces dernières modifications peuvent être considérées comme peu présentes. Globalement, les altérations que l'on peut rencontrer sont variables. Nous pouvons cependant observer que le rapport NISP/NME déterminé dans les études antérieures est relativement peu écarté, la fragmentation n'affecte donc pas la majorité des restes composant les échantillons. Notre échantillon est toutefois moins affecté, notamment au niveau des os longs, davantage fracturés dans les accumulations produites par l'Aigle de Verreaux. Pour l'étude de la fragmentation, les crânes de renardeaux et de faons de chevreuils ont été particulièrement difficile à traiter, car ils ne sont pas soudés ce qui a pu artificiellement augmenter le taux de fragmentation. Pour un traitement plus précis, des champs supplémentaires auraient été souhaitables dans la base de données. Néanmoins, la fréquence de la fragmentation des crânes, observée également par d'autres auteurs, semble résulter du mode de capture des proies d'une part, et du piétinement du nid d'autre part. En effet, la tête constitue une prise permettant de transporter la proie, et l'aiglon, ne quittant pas le nid pendant environ deux mois et demi, piétine ce qui s'y trouve. Ce piétinement a également pu conduire les petits éléments à s'infiltrer dans la litière du nid. Au vu des résultats exprimés, peu de crânes présentent des marques produites par des coups de bec/serres, mais nous pouvons estimer que les perforations sur les côtés du crâne, notamment au niveau des orbites, sont récurrentes. En effet, ce caractère se retrouve sur les 4 crânes complets de renard et s'observent également sur des taxons dont l'analyse taphonomique n'a pas été présentée en détail ici (mustélicés, marmottes, suidés), ainsi que sur les crânes de l'échantillon étudié par Lloveras *et al.* (2017). Ce type de trace pourrait justement résulter de l'accroche de la tête par les serres lors du transport de la carcasse à moins qu'il ne résulte de la consommation des yeux.

Dans notre étude, les traces produites par des coups de bec ou de serres sur les os longs sont anecdotiques, tandis qu'elles sont légèrement plus fréquentes dans les échantillons étudiés par Schmitt (1995) et Armstrong et Avery (2014). La fracturation des apophyses vertébrales, des côtes et de la branche ischio-pubienne résulte probablement de l'évidage de la proie et de la consommation des muscles du dos. La fréquente altération des ramus mandibulaires peut s'expliquer par la consommation du masséter, particulièrement développé chez le lièvre. Lloveras *et al.* (2017) ont observé les mêmes caractéristiques au sein de leur matériel. Leur origine, questionnée précédemment (Schmitt, 1995 ; Hockett, 1993 et 1995 et voir paragraphe 2 p.13), est donc éclairée. Cependant, lors de l'analyse de restes anciens, le rôle d'autres prédateurs et d'autres processus taphonomiques n'est évidemment pas à exclure. La forte altération des sternums et des coxaux d'oiseaux, et ce dans tous les échantillons, semble résulter du prélèvement de chair : le sternum supporte les muscles pectoraux, et l'os coxal a pu être attaqué dans le but de consommer les cuisses. Les scapulas servant également de supports musculaires (notamment du muscle infra-épineux et supra-épineux), il n'est pas étonnant qu'elles soient cassées et parfois perforées.

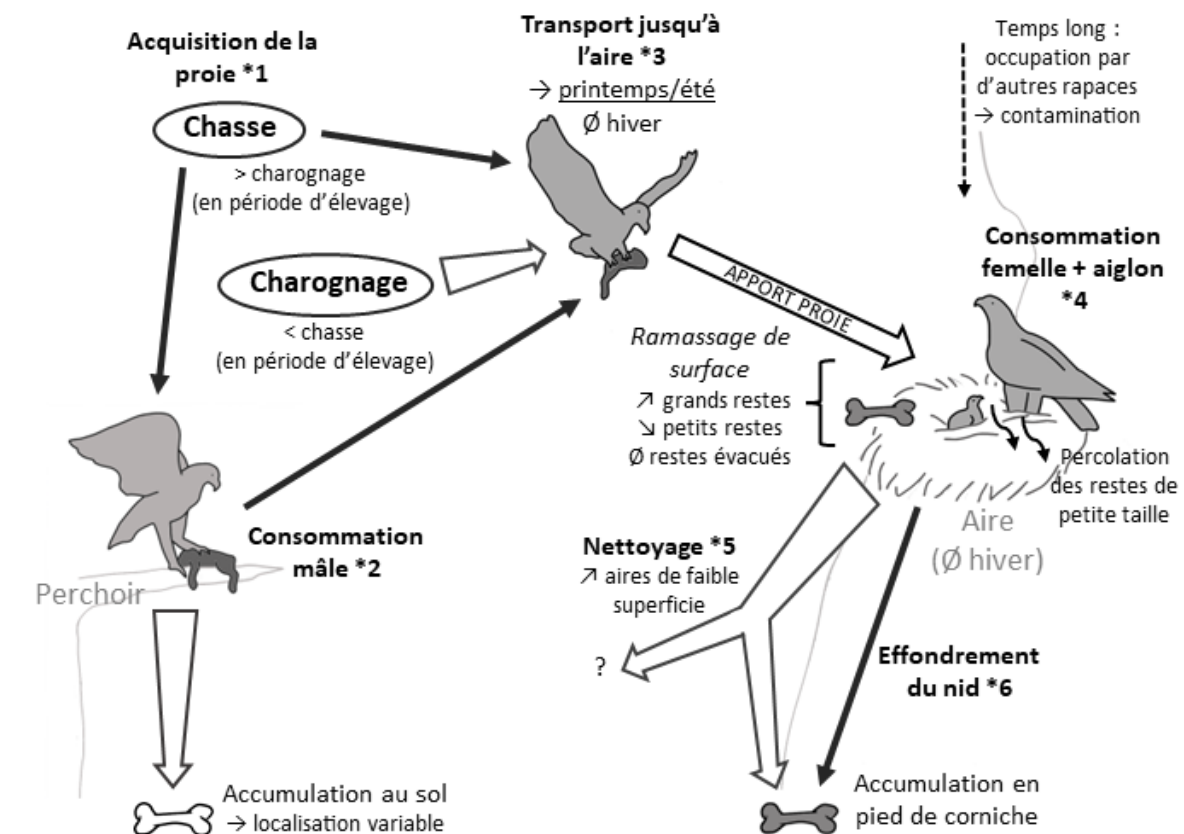
Enfin, parmi les éléments digérés, le tibia de lièvre qui a été observé montre que l'Aigle est capable d'avaler des éléments volumineux. Cet ossement est certainement issu d'une pelote disloquée régurgitée par la femelle, qui se nourrit souvent au nid en même temps qu'elle nourrit ses petits (le mâle effectue rarement cette tâche). Les trois vertèbres en connexion anatomique possiblement ingurgitées ont peut-être été régurgitées avant d'être complètement digérées, d'où le faible degré de digestion.

#### ○ **Genèse et évolution d'une accumulation osseuse**

Les résultats de cette étude permettent de mieux cerner la genèse des accumulations osseuses produites par l'Aigle. La composition des accumulations osseuses étudiées dans ce mémoire est conditionnée par les modalités d'acquisition d'une proie (chasse ou charognage) (Figure 20, \*1). Dans un premier temps, la saison d'acquisition joue un rôle majeur puisqu'elle conditionne le choix de la proie, et les ossements ne s'accumulent dans les aires qu'en période d'élevage des aiglons. Nous ne disposons donc pas d'informations concernant l'alimentation des aigles en hiver, mis à part le fait qu'il s'agisse de la période de l'année où ils charognent le plus. Dans un second temps, le type de proie acquise conditionne son transport, et donc ce qui va être amené au nid. L'alimentation du mâle sur le site de capture ou au cours du transport sur des perchoirs est également un facteur responsable de l'absence de certains éléments dans l'accumulation (Figure 20, \*2). En effet, la consommation partielle d'une proie va donc

conduire à une accumulation extérieure à l'aire, que nous n'avons pas étudié dans ce travail mais qui peut être considérée comme le négatif de ce que l'on trouve dans le nid, dans la mesure où l'animal a été chassé. La proie ramenée à l'aire (Figure 20, \*3) va être consommée par la femelle et par le ou les aiglon(s) (Figure 20, \*4). De fait, une partie des ossements (surtout ceux de petite taille) va être ingérée et accumulée dans des pelotes de rejection après avoir été en contact avec de puissants sucs digestifs. La chair présente sur le reste de la carcasse se verra prélevée sans que les os soient avalés. Ces ossements non ingérés seront piétinés, éparpillés, mais aussi évacués.

Ce phénomène d'évacuation des os (Figure 20, \*5), ayant pour conséquence leur absence dans l'échantillon, est à mettre en relation avec leur état de propreté (présence de fourrure ou de tissus non consommés) et avec la superficie de l'aire : les restes de carcasse recouverts de fourrure sont fréquemment enlevés, et les aires étroites sont nettoyées régulièrement. Les autres éléments rapportés ne figurant pas dans la collection sont ceux qui ont percolé dans la litière du nid, donc surtout les restes de petite taille.



**Figure 20** : Genèse et évolution d'une accumulation osseuse produite par l'Aigle royal dans l'aire de nidification (☞ : ossements non ingérés ; ☞ : ossements non ingérés et pelotes).

Cela dit, concernant l'étude d'accumulations anciennes, d'autres paramètres sont à prendre en compte. Dans un premier temps l'aire peut, après son abandon par l'Aigle, être réoccupée par d'autres rapaces, dont les restes de repas vont se mêler à ceux de l'Aigle. Dans un second temps, les ossements accumulés dans la niche peuvent au fur et à mesure se retrouver sur le sol en contrebas de l'aire, de par l'effondrement du nid ou le balayage des restes par les oiseaux ayant réoccupés la niche (Figure 20, \*6). De fait, les petits éléments ayant percolés dans le nid seront présents dans l'accumulation au sol.

## 2. Conclusion

Ce travail se fonde sur l'analyse de plusieurs milliers d'ossements provenant d'une vingtaine d'aires d'Aigle royal situées dans le Sud de la France. Il met en évidence des caractéristiques dans la composition des prélèvements osseux. Ces caractéristiques concernent les préférences alimentaires des aigles, la fréquence des parties anatomiques en fonction des taxons, ainsi que la typologie des altérations observées sur les éléments anatomiques. Globalement, nos résultats complètent et renforcent les résultats issus d'études antérieures sur les signatures taphonomiques de l'Aigle royal, de l'Aigle de Bonelli et de l'Aigle de Verreaux. Nous n'excluons pas l'existence de différences comportementales interspécifiques, mais elles semblent relativement faibles. À partir des informations dont nous disposons, nous pouvons en conclure que les représentants du genre *Aquila* tendent à avoir des comportements alimentaires précis, qui donneront naissance à des accumulations osseuses dans les aires de nidification, partageant plus ou moins les mêmes caractères.

Pour conclure, l'ensemble fouillé au sol par les archéologues peut résulter de l'ensemble des phénomènes décrits plus hauts, mais aussi de modifications et de pollution induites par l'occupation (humaine ou animale) du site, et par les processus sédimentaires participant à la formation du gisement. Complétés par l'approche contextuelle du site, les critères d'identifications exprimés dans ce travail permettront de diagnostiquer l'occupation de grands rapaces prédateurs diurnes dans les niches surplombant un gisement se trouvant en pied de falaise. Il est maintenant nécessaire de comparer plus précisément ces résultats avec des collections issues de l'activité alimentaire d'autres rapaces diurnes de grande taille, en particulier le Gypaète barbu (*Gypaetus barbatus*), le percnoptère (*Neophron percnopterus*), le vautour moine (*Aegypius monachus*) et le vautour fauve (*Gyps fulvus*), afin de pouvoir les différencier clairement à partir de leurs reliefs alimentaires, et ainsi appréhender la répartition historique et préhistorique de ces différentes espèces. Mais au vu de l'étroite relation entre le



comportement de l'Aigle et les accumulations qu'il produit, nous pensons qu'il peut dès à présent être distinguable des accumulations produites par des rapaces exclusivement charognards, tels que le gypaète et les vautours. Il serait intéressant d'analyser les pelotes régurgitées par l'Aigle royal, afin de confirmer les hypothèses émises au sujet de l'absence de certains éléments anatomiques, mais leur identification peut être limitée par l'agressivité des sucs digestifs de l'Aigle. Enfin, il serait pertinent de comparer nos résultats concernant la représentation anatomique des faons de chevreuil avec la représentation anatomique de faons de rennes représentés dans des collections scandinaves, afin de tester pleinement l'applicabilité de nos résultats aux gisements paléolithiques. Le renne étant plus lourd que le chevreuil (masse comprise entre 90 et 250 kg à l'âge adulte), il est possible que leur prédation s'accompagne d'une segmentation et d'un transport des quartiers à l'aire de nidification qui diffèrent de ce qui a été mis en évidence dans notre étude.

## Table des illustrations

### ○ Tableaux

**Tableau 1** : Synthèse des connaissances sur les modifications des carcasses et de la surface des os induites par l'Aigle royal, par proies. .... 15

**Tableau 2** : Nombre de restes déterminés (NRD) et nombre minimum d'individus par taxons et par sites. .... 25

**Tableau 3** : Nombre minimum d'individus (NMI) par classe d'âge et par taxons, en rapport avec la gamme de taille et la masse approximative des espèces à l'âge adulte, sur la totalité de l'échantillon. .... 28

**Tableau 4** : NME et %RA des différents éléments anatomiques de *Lepus europaeus*, par sites ..... 31

**Tableau 5** : Nombre minimum d'éléments squelettiques (NME) et abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de *Capreolus capreolus* et *Vulpes vulpes*, par sites. .... 32

**Tableau 6** : Proportion (%) des différentes portions anatomiques de *Lepus europaeus*, par sites. .... 34

**Tableau 7** : Nombre minimum d'éléments squelettiques (NME) et abondance relative (%RA) pour les différents éléments anatomiques des oiseaux de taille moyenne, après regroupement des 23 aires de nidification. .... 38

**Tableau 8** : Nombre de restes modifiés (NRD), par partie anatomique et par taxons (\* NRD fragmenté : ossements représentés par moins de 70% du volume attendu) ..... 41

**Tableau 9** : Synthèse des caractéristiques certifiées (âge, non ingérés) et hypothétiques (perchoir, pelotes, percolation, évacuation) des différentes accumulations osseuses produites par l'Aigle royal en période de nourrissage des aiglons. .... 57

### ○ Figures

**Figure 1** : Répartition actuelle d'*Aquila chrysaetos* sur le globe, à partir des observations effectuées de 1830 à 2022 (tirée de GBIF) ..... 7

<b>Figure 2</b> : Répartition actuelle (disques orange) et ancienne (sites mentionnés précédemment) (triangles) d’ <i>Aquila chrysaetos</i> en France, à partir des observations effectuées de 1830 à 2022 (modifiée d’après GBIF). .....	8
<b>Figure 3</b> : Carte de répartition des aires de prélèvement (modifiée à partir de Géoportail)...	17
<b>Figure 4</b> : Diversité du spectre faunique (indice de Shannon) en fonction du nombre de restes déterminés (NRD), par aires.....	26
<b>Figure 5</b> : Pourcentage de chaque classe d’âge (adulte, subadulte, juvénile) des individus par taxons triés par gamme de taille croissante, sur la totalité des aires. Le NMI total est indiqué entre parenthèses à la suite du taxon. ....	29
<b>Figure 6</b> : Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de <i>Lepus europaeus</i> , par sites. ....	33
<b>Figure 7</b> : Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de <i>Capreolus capreolus</i> , par sites .....	35
<b>Figure 8</b> : Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques de <i>Vulpes vulpes</i> , par sites.....	35
<b>Figure 9</b> : %RA et intervalle de confiance des abondances relatives des différents éléments anatomiques de <i>Lepus europaeus</i> .....	36
<b>Figure 10</b> : %RA et intervalle de confiance des abondances relatives des différents éléments anatomiques de <i>Capreolus capreolus</i> . ....	37
<b>Figure 11</b> : Abondance relative (%RA) des différents éléments anatomiques des oiseaux de taille moyenne, après regroupement des 23 aires de nidification.....	38
<b>Figure 12</b> : Modifications observées sur les éléments crâniens de mammifères : enfoncement (a1) et perforations (a2, a3, a4) sur un crâne de renard (A), cassure à bord crénelé sur une mandibule de lièvre (B), et cassure à bord lisse sur une mandibule de renard (C). .....	45
<b>Figure 13</b> : Modifications observées sur les éléments du tronc des mammifères : fractures des apophyses transverses des vertèbres de lièvre (A, B, b1), fractures de la branche ischio-pubienne des coxaux de lièvre (B, C), encoches sur le pubis et l’ischium des coxaux de lièvre (B), encoche et cassure sur l’ilium d’un coxal de lièvre (C) et de renard (D). .....	46
<b>Figure 14</b> : Modifications observées sur le squelette appendiculaire des mammifères : fracture de la fibula des lièvres (A, B, C, D, d1), encoche (e1) et perforation (e2) sur une scapula de chevreuil (E), encoches et cassures à bord crénelé sur une scapula de renard (F) et de lièvre (G). .....	47
<b>Figure 15</b> : Modifications observées sur les restes d’oiseaux : cassures à bord crénelé et encoches sur des sternums de colombeforme (A) et de corneille/ corbeau freux, également	

perforé (B, b1), cassure à bord crénelé sur un humérus de buse (C), perforation sur un humérus de corneille/corbeau freux (d1), perforations et cassures à bord crénelé sur des coxaux de corneille/corbeau freux (E, e1) et de colombiforme (F)..... 48

**Figure 16** : %RA des éléments anatomiques de léporidés (4 échantillons) et d'hyrax (1 échantillon) accumulés par *Aquila chrysaetos*, *Aquila fasciata*, et *Aquila Verreauxii*. ..... 52

**Figure 17** : %RA des éléments anatomiques de *Capreolus capreolus* accumulés par *Aquila chrysaetos* (notre étude, et de Bovidae accumulés par *Aquila Verreauxii* (Armstrong et Avery, 2014)..... 54

**Figure 18** : %RA des éléments anatomiques de *Vulpes vulpes* (cette étude : Vialas, Chanéac), et de mammifères carnivores (Lloveras et al., 2017) accumulés par *Aquila chrysaetos*. ..... 55

**Figure 19** : %RA des éléments anatomiques d'oiseaux de taille moyenne (notre étude) et de toutes tailles (Lloveras et al.) accumulés par *Aquila chrysaetos*..... 56

**Figure 20** : Genèse et évolution d'une accumulation osseuse produite par l'Aigle royal dans l'aire de nidification. .... 60

## Bibliographie

- ANDREWS P. (1990) – *Owls, caves, and fossils: predation, preservation, and accumulation of small mammal bones in caves, with an analysis of the Pleistocene cave faunas from Westbury-sub-Mendip*, Somerset, UK, University of Chicago Press, 230 p.
- ARMSTRONG A., AVERY G. (2014) – Taphonomy of Verreaux's Eagle (*Aquila verreauxii*) prey accumulations from the Cape Floral Region, South Africa : implications for archaeological interpretations, *Journal of Archaeological Science*, 52, p. 163-183.
- BARONE R. (1999) – *Anatomie comparée des mammifères domestiques*, Tome 1, Ostéologie. Paris: Vigot Freres, 428 p.
- BOCHENSKI (1999) – Fragmentation and preservation of bird bones in food remains of the golden eagle *Aquila chrysaetos*, *Archaeofauna*, 8, p. 31-39.
- BOCHENSKI Z.M., TOMEK T., TORNBERG R., WERTZ K. (2009) – Distinguishing nonhuman predation on birds: pattern of damage done by the white-tailed eagle *Haliaeetus albicilla*, with comments on the punctures made by the golden eagle *Aquila chrysaetos*, *Journal of Archaeological Science*, 36, 1, p. 122-129.
- CALLOU C. (2023) – Inventaire archéozoologique et archéobotanique de France (Inventaire national du Patrimoine naturel). <https://inpn.mnhn.fr/programme/inventaires-historiques-et-archeologiques>
- COCHARD D. (2004) – *Les léporidés dans la subsistance paléolithique du Sud de la France*, thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 361 p.
- COHEN A., SERJEANTSON D. (1996) – *A manual for the identification of bird bones from archaeological sites* (Archetype Publications), 117 p.
- COSTAMAGNO S. (1999) – *Stratégies de chasse et fonction des sites au Magdalénien dans le sud de la France*, thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, 2 vol, 495 p.
- DODSON P., WEXLAR D. (1979) – Taphonomic investigations of owl pellets, *Paleobiology*, 5, 3, p. 275-284.
- ENGLUND J. (2005) – Cranial and skeletal growth patterns in red foxes (*Vulpes vulpes* L., 1758), *Russian Journal of Theriology, Русский териологический журнал*, 4, 2, p. 101-108.
- EYTON P.C. (1875) – *Osteologia Avium, or, A Sketch of the Osteology of Birds*, R. Hobson, 1, 237 p.
- FINLAYSON S., FINLAYSON G., GUZMAN F.G., FINLAYSON C. (2019) – Neanderthals and the cult of the Sun Bird, *Quaternary Science Reviews*, 217, p. 217-224.
- FIGURE I., GALA M., TAGLIACOZZO A. (2004) – Ecology and subsistence strategies in the Eastern

Italian Alps during the Middle Palaeolithic, *International Journal of Osteoarchaeology*, 14, 3-4, p.273-286.

GEROUDET P. (1965) – *Les Rapaces diurnes et nocturnes d'Europe*, Neuchâtel, Delachaux et Niestlé, La Vie des Oiseaux, 446 p.

GIFFORD D.P. (1981) – Taphonomy and Paleoecology : A Critical Review of Archaeology's Sister Disciplines, in *Advances in Archaeological Method and Theory*, Elsevier, p. 365-438.

GIFFORD-GONZALEZ D. (1991) – Bones are not enough : Analogues, knowledge, and interpretive strategies in zooarchaeology, *Journal of Anthropological Archaeology*, 10, 3, p. 215-254.

GIL-SANCHEZ J.M., RODRIGUEZ-CARO R.C., MOLEON M., MARTINEZ-PASTOR M.C., LEON-ORTEGA M., EGUIA S., GRACIA E., BOTELLA F., SANCHEZ-ZAPATA J.A., MARTINEZ-FERNANDEZ J., ESTEVE-SELMA M.A., GIMENEZ A. (2022) – Predation impact on threatened spur-thighed tortoises by golden eagles when main prey is scarce, *Scientific Reports*, 12, 1.

HEMERY A., MUGNIER-LAVOREL L., ITTY C., DURIEZ O., BESNARD A. (2023) – Timing of departure from natal areas by golden eagles is not constrained by acquisition of flight skills, *Journal of Avian Biology*, 13 p.

HOCKETT B.S. (1991) - *Taphonomy of the leporid bones from Hogup Cave, Utah : implications for cultural continuity in the eastern Great Basin*, Doctoral dissertation, University of Nevada.

HOCKETT B.S. (1995) – Comparison of Leporid Bones in Raptor Pellets, Raptor Nests, and Archaeological Sites in the Great Basin, *North American Archaeologist*, 16, 3, p. 223-238.

HOCKETT B.S. (1996) – Corroded, Thinned and Polished Bones Created by Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*): Taphonomic Implications for Archaeological Interpretations, *Journal of Archaeological Science*, 23, 4, p. 587-591.

HOCKETT B.S. (1993) – Taphonomy of the leporid bones from Hogup Cave, Utah : implications for cultural continuity in the eastern Great Basin, *University of Nevada, Reno*.

HOCKETT B.S. (1991) – Toward distinguishing human and raptor patterning on leporid bones. *American antiquity*, 56, 4, p.667-679.

KATZNER T.E., KOCHERT M.N., STEENHOF K., MCINTYRE C.L., CRAIG E.H., MILLER T.A. (2020) – Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*), in S. M. Billerman, B. K. Keeney, P. G. Rodewald, et T. S. Schulenberg (dir.), *Birds of the World*, Cornell Lab of Ornithology, 185 p.

LAROULANDIE V. (2000) – *Taphonomie et archéozoologie des Oiseaux en grotte: applications aux sites paléolithiques du Bois-Ragot (Vienne), de Combe Saunière (Dordogne) et de La Vache (Ariège)*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux 1, 396 p.

LEBRETON L., DESCLAUX E., HANQUET C., MOIGNE A.-M., PERRENOUD C. (2016) –

Environmental context of the Caune de l'Arago Acheulean occupations (Tautavel, France), new insights from microvertebrates in Q-R levels, *Quaternary International*, 411, p. 182-192.

LLOVERAS L., THOMAS R., LOURENÇO R., CARO J., DIAS A. (2014) - Understanding the taphonomic signature of Bonelli's Eagle (*Aquila fasciata*), *Journal of archaeological science*, 49, p. 455-471.

LLOVERAS L., COSSO A., SOLE J., CLARAMUNT-LOPEZ B., NADAL J. (2018) – Taphonomic signature of golden eagles (*Aquila chrysaetos*) on bone prey remains, *Historical Biology*, 30, 6, p. 835-854.

LLOVERAS L., NADAL J., FULLOLA J.M. (2020) – Distinguishing the taphonomic signature of wolves from humans and other predators on small prey assemblages, *Scientific Reports*, 10, 1, 8030.

MENATORY G. (1972) – *L'Aigle royal*, Série « Comment vivent-ils ? », Atlas visuels Payot-Lausanne.

MORIN E., LAROULANDIE V. (2012) – Presumed symbolic use of diurnal raptors by Neanderthals, *PLoS One*, 7, 3, 5 p.

MOURER-CHAUVIRE C. (1975) – *Les oiseaux du Pléistocène moyen et supérieur de France*, Lyon : Laboratoire de géologie de la Faculté des sciences de Lyon, 64, 2, 624 p.

PELLETIER M., DESCLAUX E., MALLYE J.B., CREGUT-BONNOURE E. (2020) – Identifying the accidental-natural mortality of leporids in the archaeological record : insights from a taphonomical analysis of a pitfall without evidence of human presence, *Journal of Quaternary Science*, 35, 5, p.677-694.

PELLICCIONI E.R., SCREMIN M., TOSO S. (2004) – Early body development of roe deer *Capreolus capreolus* in a sub-Mediterranean ecosystem, *Wildlife Biology*, 10, 2, p. 107-113.

POBINER B.L., DESILVA J., SANDERS W.J., MITANI J.C. (2007) – Taphonomic analysis of skeletal remains from chimpanzee hunts at Ngogo, Kibale National Park, Uganda, *Journal of Human Evolution*, 52, 6, p. 614-636.

RICAU B., DECORDE V. (2009) – *L'Aigle royal, biologie, histoire et conservation, situation dans le Massif central*, Edition Biotopie, Mèze, 320 p.

ROMANDINI M., PERESANI M., LAROULANDIE V., METZ L., PASTOORS A., VAQUERO M., SLIMAK L. (2014) – Convergent Evidence of Eagle Talons Used by Late Neanderthals in Europe : A Further Assessment on Symbolism M. D. Petraglia (dir.), *PLoS ONE*, 9, 7.

ROYER A., MALLYE J.B., PELLETIER M., GRISELIN S. (2021) – Who Killed the Small Mammals of Ittenheim (Northeastern France)? An Integrative Approach and New Taphonomic Data for Investigating Bone Assemblages Accumulated by Small Carnivores, *Quaternary*, 4, 4, p. 41.

SCHMITT D.N. (1995) – The taphonomy of golden eagle prey accumulations at Great Basin roosts, *J Ethnobiol*, 15, 2, p. 237–256.

SEGUIN J.F. (2001) – The diet of young golden eagles *Aquila chrysaetos* in Corsica: foraging in a man-made mammal fauna, *Ardea*, 89, 3, p. 527-535.

SIDIROPOULOS L., WHITFIELD D.P., ASTARAS C., VASILAKIS D., ALIVIZATOS H., KATI V. (2022) – Pronounced Seasonal Diet Diversity Expansion of Golden Eagles (*Aquila chrysaetos*) in Northern Greece during the Non-Breeding Season: The Role of Tortoises, *Diversity*, 14, 2, p. 135.

STODDER A.L.W. (2018) – Taphonomy and the nature of archaeological assemblages, in M. A. Katzenberg et A. L. Grauer (dir.), *Biological Anthropology of the Human Skeleton*, p. 73-115.

SULLIVAN A.P. (1978) – Inference and Evidence in Archaeology: A Discussion of the Conceptual Problems, in *Advances in Archaeological Method and Theory*, Elsevier, 1, p. 183-222.

TJERNBERG M. (1981) – Diet of the golden eagle *Aquila chrysaetos* during the breeding season in Sweden, *Ecography*, 4, 1, p. 12-19.

TOME C., VIGNE J.D. (2003) – Roe deer (*Capreolus capreolus*) age at death estimates: new methods and modern reference data for tooth eruption and wear, and for epiphyseal fusion, *Archaeofauna, International Journal of Archaeozoology*, 12, p. 157-173.

TRAVAINA A., DELIBES M. (1995) – Weight and external measurements of Red foxes (*Vulpes vulpes*) from SW Spain, *Estación Biológica de Donana, Consejo Superior de Investigaciones Científicas*, Sevilla, Spain.

## Webographie

Base GBIF : [www.gbif.org](http://www.gbif.org)

Code CORIN via Géoportail : <https://www.geoportail.gouv.fr/donnees/corine-land-cover-2018#!>

Collection d'anatomie comparée PACEA : <https://pacea-collections.inist.fr/collections/show/12>

Fiches espèces LPO : <https://www.lpo.fr/decouvrir-la-nature/fiches-especes>

Fiches espèces OFB : <https://professionnels.ofb.fr/fr/doc-fiches-especes>

Intervalle de confiance binomiale : <https://joseph.larmarange.net/Intervalle-de-confiance-bilateralca>



Répartition historique et préhistorique de l'Aigle royal :  
[https://inpn.mnhn.fr/espece/cd\\_nom/2645/tab/carte](https://inpn.mnhn.fr/espece/cd_nom/2645/tab/carte)

Wikipédia : <https://fr.wikipedia.org>

## Résumé

### **Caractérisation des accumulations osseuses produites par l'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) : approche néotaphonomique.**

L'Aigle royal (*Aquila chrysaetos*) niche dans les cavités rocheuses et y accumule des ossements pendant l'élevage des petits. Ces os sont susceptibles de composer des gisements archéologiques et paléontologiques. Cette étude a pour objectif d'identifier les caractéristiques de ces accumulations à travers le relief de ses repas, afin de pouvoir les reconnaître dans le registre fossile. Elle est fondée sur les restes fauniques actuels collectés dans 23 aires de nidification du Sud de la France. Elle a mis en évidence une sélection de proies de taille moyenne (< 5 kg), ainsi que des récurrences dans la représentation anatomique des différents taxons. Les surfaces des ossements sont peu modifiées lors de leur consommation, mais des traces caractéristiques sont observées. La comparaison de nos résultats avec ceux d'autres études nous a permis de démontrer que les accumulations produites montrent une certaine cohérence dans leur composition chez les différentes espèces du genre *Aquila*. À l'issue de cette étude, il est nécessaire de comparer les critères identifiés avec les accumulations produites par d'autres rapaces, et tester leur applicabilité au registre fossile.

**Mots-clés :** Aigle royal, taphonomie, restes alimentaires, référentiel actuel, comparaison.

## Abstract

### **Characterization of bone accumulations produced by the Golden Eagle (*Aquila chrysaetos*): a neotaphonomic approach.**

The golden eagle (*Aquila chrysaetos*) nests in rock cavities, where it accumulates bones while rearing its eaglets. These bones are likely to make up archaeological and paleontological deposits. The aim of this study is to identify the characteristics of these accumulations through the relief of their meals, that they can be recognized in the fossil record. It is based on current faunal remains collected in 23 nesting areas in southern France. It revealed a selection of medium-sized prey (< 5 kg), as well as recurrences in the anatomical representation of different taxa. Bone surfaces were not much altered during consumption, but characteristic traces were observed. By comparing our results with those of other studies, we were able to demonstrate that the accumulations produced show a certain consistency in their composition in the different species of the *Aquila* genus. Following this study, we need to compare the criteria identified with accumulations produced by other raptors, and test their applicability to the fossil record.

**Key-words :** Golden eagle, taphonomy, food remains, current reference, comparison.