

THÈSE

en vue de l'obtention du grade de docteur en Archéologie
Université Paris 1 Panthéon-Sorbonne - ED 112 d'Archéologie
Laboratoire de rattachement - UMR TEMPS 8068

présentée par
Natacha Catz

Territoires et mobilité des chasseurs-cueilleurs et de leurs gibiers à la fin du Paléolithique dans le nord de la France (19 400 – 12 000 cal BC) :

Apports de la biochimie et des micro-usures dentaires à l'archéozoologie

sous la direction de Marianne Christensen et l'encadrement scientifique d'Olivier Bignon-Lau



Soutenue le 15 décembre 2025 devant un jury composé de :

M. Carlos Tornero, Professeur Universidad Autonoma de Barcelone (Espagne) - Rapporteur

M. Maxime Pelletier, Docent, Université d'Oulu (Finlande) - Rapporteur

M. Olivier Bignon-Lau, CRCN CNRS UMR 8068 - Examineur

Mme Kate Britton, Professeure, Department of Archaeology, School of Geosciences University of Aberdeen (Ecosse) – Examinatrice

M. Cyril Montoya, Conservateur Régional de l'Archéologie de P.A.C.A. – Examineur

Mme Marianne Christensen, Professeure Université Paris I Panthéon-Sorbonne - Directrice

M. Gildas Merceron, Directeur de Recherche, CNRS UMR7262 PALEVOPRIM – Président du jury

REMERCIEMENTS

Je remercie Olivier qui m'a tout appris sur l'archéozoologie et le travail de recherche avec un soutien inconditionnel dans les épreuves. Merci de m'avoir appris à me poser les bonnes questions, merci pour les heures de discussion qui étaient nécessaires et surtout merci pour cette aventure. Merci aussi pour les missions en Norvège avec Anita, on a fini par les voir ces aurores boréales...avec un peu d'acharnement. Merci à tous les deux pour votre soutien pendant les années de master et de thèse.

Je remercie Marianne d'avoir dirigé ce travail de thèse et les prémices de ces travaux en master. Merci pour ta confiance, ta patience et merci d'avoir toujours gardé un regard bienveillant sur mes travaux. Merci à toute l'équipe de Paris I, et notamment à Boris et Roxane qui ont toujours pris le temps de m'orienter dans les eaux troubles de l'enseignement des TD. Merci aussi à Hélène Criaud d'avoir toujours été disponible pour me guider sur les démarches administratives pendant la thèse.

Je remercie Cyril Montoya, sans qui la préhistoire serait encore une période un peu floue. Les Bee Gees dans la voiture le matin en allant fouiller à Chézy, écoper dans un vieux champ du sud de la Picardie pour fouiller un foyer pendant plus de trois semaines et découvrir la méthode scientifique à tes côtés et aux côtés des badegouliens de Chézy. Merci.

Je remercie les membres du laboratoire UMR Temps, anciennement l'équipe « Ethno-Pré », je pense plus particulièrement à Ludovic, Colas, Pierre et Nejma, merci d'avoir toujours pris le temps d'engager des discussions autour de la préhistoire, du badegoulien et même du méso parfois. J'en profite pour remercier les doctorants.e.s de l'équipe qui sont toujours disponibles pour échanger sur nos travaux et toujours avec bienveillance. Clémence, on en a fait du chemin avec une grossesse et un enfant en bas âge sans lâcher la recherche, on l'a fait !

Je remercie ensuite Marie Balasse pour sa bienveillance et ses enseignements si précieux sur la méthode isotopique. Merci à Denis Fiorillo pour les analyses, les explications sur le spectromètre de masse et des heures de travail toujours accompagnées de bons thés à la menthe.

Je remercie Gildas, Émilie et Anusha pour les moments passés à me former et à discuter sur les micro-usures. Merci Émilie de m'avoir hébergé à maintes reprises lorsque je venais à Poitiers.

I would like to thank Kate, Maël and Élodie for their warm welcome at the university of Aberdeen a few years ago, I will always remember my first discussion about isotope in English trying to understand it all at once in one day, it was a wonderful time spent with your team. Special thanks to Sarah Pederzani who helped a lot during the paleotemperature reconstruction.

Je voudrais aussi remercier Stéphane Hinguant et Rozenn Colleter de m'avoir accueilli pour une superbe journée de découverte à la Grotte Rochefort et dans ce magnifique endroit qu'est le canyon de Saulges.

Un grand merci à l'équipe du musée Argentomagus pour votre accueil lors de l'étude des collections et pour nos pauses déjeuner. Séverine, Arnaud, Philippe et Sylvaine merci pour votre confiance et votre bienveillance. Merci aussi à Françoise Trotignon d'avoir toujours pris le temps de répondre à mes nombreuses questions sur l'histoire des fouilles de l'abri Fritsch et merci, chère Françoise, de m'avoir emmené pour la première fois sur le site en question.

Merci à l'équipe du CAP, pour le prêt des collections de Pincevent et pour les moments passés sur ce beau site rempli d'histoire de la Préhistoire. Merci Gaëlle, Caroline, Gregory, Romain pour les moments de détente quand c'était nécessaire à Pincevent. Et merci à Marie et Eddy pour l'accueil sur le site.

Thank you Vebjorn for your welcome in Tromsø and thanks to all the Norwegian colleagues we have met in Trondheim and Oslo.

Je remercie l'équipe de DeerPal pour l'accueil à Gaillac et au laboratoire de Toulouse. Merci pour votre accueil dans le Sud-Ouest, les cervidés c'est la vie !

Merci à la team ArkéoMédia qui m'a offert un avenir dans la médiation en archéologie alors que je n'ai même pas le diplôme. Je peux parler de micro-usures dentaires et d'isotopie aux

CE2 avec beaucoup plus d'assurance grâce à vous depuis quelques mois. Merci pour votre accueil, merci pour votre bienveillance et pour tous les moments riches en émotion passés et à venir.

Merci aux copains du master Préhistoire qui m'avaient encouragé à faire une thèse. Marine, Baptiste et Clément, vous avez soutenu depuis bien longtemps mais vous m'avez montré un l'exemple, grâce à vous je me suis dit que c'était possible de rendre sa thèse et que la vie continuera malgré tout.

Merci à la team Boîte pour les soutiens sans faille depuis toutes ces années au cap ou ailleurs quand je disais « je vais la terminer cette année la thèse » et que je vous ai menti pour la dernière fois cet été, cette fois c'est la bonne. Merci à Manon pour le partage biblio sur l'odontogénèse, c'est toujours intéressant d'avoir une dentiste dans sa poche !

Merci à Antoine Messenger d'avoir mis à notre disposition ses compétences en algorithme et en code. Merci de ta patience et de ton dévouement pour faire parler mes données et de m'avoir appris à utiliser Python.

Merci Marty et Apophis d'avoir toujours cru en moi.

Merci Natha, Emma, Apolline, Aude, Violaine et Benjamin, Nico et Julie, vous m'avez permis de m'échapper quand j'en avais besoin. Esther et Samuel je vais pouvoir passer vous voir bientôt maintenant que je vais avoir mes week-ends de libres.

Merci à la team Brocoli, Sarah, Nolwenn, Cécile, c'était difficile de vous voir quitter Paris mais vous restez dans mon cœur et vos accomplissements personnels et professionnels m'ont donné des ailes pour aller toujours plus loin dans la vie. Nolwenn si tu n'avais pas proposé à Sarah d'aller fouiller à Chézy en 2013...je n'aurais jamais découvert la Préhistoire...merci !

Merci Marie et Clémentine pour votre soutien vital ces dernières années.

Je voudrai enfin remercier Guillaume et sa famille qui m'ont soutenu, même en période de confinement. Merci Guillaume pour ton soutien inconditionnel et ton amour qui me portent depuis que je t'ai rencontré il y a 9 ans, je sortais tout juste du grand jury de thèse. Il s'en est passé des choses depuis, mais nous avons surmonté toutes les épreuves grâce à ton courage et ta force. C'est grâce à toi que je n'ai pas baissé les bras et que je termine ce manuscrit.

Je remercie enfin les personnes sans qui je ne pourrai pas avoir entrepris ces travaux, sans qui je n'aurai pas pu partir en mission à droite à gauche l'esprit tranquille et libre, merci à ma famille, Baba, Hoppy, Vence, Clara, Léo, Nico, SMT, Louise.

À Raphaël et Gaspard

Table des matières

INTRODUCTION	8
Pour une meilleure compréhension des relations chasseur-proie au Paléolithique	10
Un corpus choisi pour une approche multi-indicateurs	11
Choix des taxons et du corpus étudiés.....	11
Corpus archéologique, des séquences stratigraphiques exceptionnelles.....	12
Un corpus d'espèces modernes nécessaire à la comparaison éthologique	14
Mise en place d'une approche multi-indicateurs adaptée aux vestiges fauniques	14
Présentation du plan	15
PARTIE I – TERRITOIRE ET MOBILITÉ DES CHASSEURS-CUEILLEURS : DÉFINIR UN RÉSEAU	17
CHAPITRE 1 – Définition du cadre théorique de l'étude	18
I.1.1 – Territoire et mobilité : quelques concepts et définitions	18
I.1.2 – Territoire et mobilité des chasseurs-cueilleurs de la préhistoire	22
I.1.3 – Une approche en réseau du territoire et de la mobilité	25
CONCLUSION	32
CHAPITRE 2 – Quelles limites pour notre territoire d'étude ? Définir les composantes du réseau	33
I.2.1. Contextes géographique et géologique de la zone d'étude : le Bassin parisien	33
I.2.2. Le Bassin parisien : un territoire occupé par différents acteurs à la fin du Paléolithique	43
CONCLUSION	58
PARTIE II – INTERACTION CHASSEUR-PROIE AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE : ÉTUDE DE L'ABRI FRITSCH	60
CHAPITRE 1. L'abri Fritsch : une succession d'occupations humaines du Solutrén au Magdalénien	61
II.1.1. Découverte du site et attribution chronostratigraphique.....	61
II.1.2. Les activités humaines à l'abri Fritsch : esquisser les éléments constitutifs d'un territoire d'approvisionnement des ressources animales	72
CONCLUSION	78
CHAPITRE 2. De nouvelles données sur l'exploitation des ressources animales à l'abri Fritsch : étude archéozoologique des niveaux badegouliens	79
II.2.1. Présentation du corpus d'étude : les couches badegouliennes inférieures.....	79
II.2.2. Constat sur l'état général des vestiges fauniques et difficultés rencontrées	81
II.2.3. Analyse taphonomique des vestiges osseux	86
II.2.4. Résultats de l'analyse archéozoologique	91
CONCLUSION	118
PARTIE III – PRATIQUES D'EXPLOITATION DU GIBIER AU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR DANS LE BASSIN PARISIEN	121
CHAPITRE 1. Pincevent : véritable laboratoire d'étude du mode de vie des magdaléniens du Bassin parisien	121
III.1.1. Particularités géographiques et historiques du site de Pincevent	121

III.1.2. Des pratiques culturelles mieux identifiées au Tardiglaciaire chez les magdaléniens du Bassin parisien.....	127
CONCLUSION.....	133
CHAPITRE 2. Exploitation des ressources animales par les Magdaléniens : étude archéozoologique des niveaux IV40 et IV30	134
III.2.1. Présentation du corpus d'étude : bref historique des fouilles des niveaux IV40 et IV30.....	134
III.2.2. Résultats d'analyse par couche.....	140
CONCLUSION.....	150
<i>PARTIE IV – GÉOCHIMIE ET TRIBOLOGIE APPLIQUÉES AUX TISSUS DENTAIRES : POUR UNE MEILLEURE COMPRÉHENSION DE L'ÉTHOLOGIE DU RENNE ET DU CHEVAL AU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR</i>	152
CHAPITRE 1 - Les dents : anatomie, composition des tissus et intérêt de leur étude en archéozoologie	152
IV.1.1. Analyse macroscopique et détermination spécifique : anatomie des dents et régime alimentaire des rennes et chevaux.....	153
IV.1.2 - Étude microscopique des dents - histologie dentaire : analyse des tissus biominéralisés	155
IV.1.3. Intérêt de l'étude des tissus dentaires pour l'archéologie.....	158
CONCLUSION.....	162
CHAPITRE 2 – Géochimie - Analyses isotopiques séquentielles du carbone et de l'oxygène.....	164
IV.2.1. Présentation des corpus d'étude.....	164
IV.2.2. Résultats et analyse des données isotopiques séquentielles chez les rennes et le cheval.	169
CONCLUSION : sur les analyses isotopiques	215
CHAPITRE 3 – Tribologie - Analyses de texture des micro-usures dentaires	217
IV.3.1. Présentation des corpus d'étude.....	218
IV.3.2. Résultats et analyse des données.....	221
IV.3.3. Conclusion sur les analyses de texture des micro-usures dentaires	231
CONCLUSION : utilisation des indicateurs environnementaux pour reconstituer le régime alimentaire des proies du DMG au Tardiglaciaire.	233
<i>CONCLUSION GÉNÉRALE</i>	237
<i>BIBLIOGRAPHIE.....</i>	241
<i>ANNEXES</i>	273
ANNEXE 1 - ABRI FRITSCH : données supplémentaires pour l'approche.....	273
Exploitation des ressources minérales et malacologiques.....	273
ANNEXE 2 – Méthodologie en archéozoologie	281
Étude taphonomique.....	284
Détermination spécifique et anatomique : acquisition (figure A1)	286
Caractérisation des profils et saisons d'abattages : acquisition (figure A1).....	289
Phase de traitement et transformation des matières animales in situ (figure A1)	290
Reconstitution des phases de consommation et de rejet des ressources animales (figure A1)	291
ANNEXE 3 – Base de données archéozoologiques en ligne.....	294
ANNEXE 4 – PROTOCOLES suivis pour les analyses paléoenvironnementales	295

PROTOCOLE 1 : Analyse isotopique séquentielle de la bioapatite.....	295
PROTOCOLE 2 : Analyse de texture des micro-usures dentaires	304
ANNEXE 5 - PLANS DES NIVEAUX IV0 et IV20	312
ANNEXE 6 – DONNEES ETHOLOGIQUES SUR LE RENNE	314

INTRODUCTION

« [...] l'immersion imaginative a probablement joué un rôle fondamental dans l'évolution de l'extraordinaire talent cynégétique des humains, ces étranges prédateurs empiriques. L'imagination est comme un sens supplémentaire qui nous permet de nous mettre à la place des animaux et de percevoir les intentionnalités de l'environnement. »

Voyager dans l'Invisible, Stépanoff, 2020, p.413

À l'heure du dérèglement climatique lié notamment à une exploitation intensive des ressources qu'offre notre planète, nos rapports au climat et à l'écologie sont en crise. On parle aussi parfois de « changement » ou encore de « réchauffement » climatique pour désigner les variations de températures moyennes à la surface du globe ou les conditions météorologiques qui se dégradent sur le long terme. Par le passé, les températures n'ont fait que varier notamment à la fin Pléistocène (entre 20 000 et 11 700 BP), avec l'alternance de phases glaciaires et interglaciaires. Depuis la dernière glaciation qui remonte à – 20 000 ans environ (Dernier Maximum Glaciaire - DMG) jusqu'à aujourd'hui, notre planète connaît un réchauffement global des températures et du climat jusqu'à entrer dans une nouvelle ère géologique et climatique baptisée Holocène il y a environ 11 000 ans. Mais depuis le début du XIX^{ème} siècle la hausse des températures à la surface du globe s'est amplifiée. Ceci est causé par les activités humaines avec, principalement, l'utilisation de combustibles fossiles, tels que le charbon, le pétrole et le gaz, qui produisent des gaz à effets de serre.

Face à cette situation, certains pensent que la technologie sauvera l'humanité et prônent une innovation toujours plus importante pour pallier les différentes catastrophes environnementales qui submergent déjà certaines zones du globe. D'autres pensent qu'il faut revenir en arrière et prônent une décroissance économique. D'autres encore appellent à renouer avec le vivant et à retrouver une place plus pérenne dans l'environnement en développant des moyens de communication inter-espèces (Morizot, 2020). Cette pluralité de positions vient du fait que les phénomènes climatiques se déroulent sur le long terme. Il est en fait difficile pour l'humain de se projeter dans le temps long, et c'est pour cette raison que nous avons compris tardivement les conséquences qui poussent certaines personnes à agir aujourd'hui pour préserver nos habitats.

Si nous ressentons et connaissons désormais la réalité du dérèglement climatique au XXI^{ème} siècle, c'est parce que de nombreux chercheurs ont développé des outils permettant de mesurer et quantifier l'impact des activités humaines sur l'environnement. Depuis l'essor de l'exploitation industrielle et de l'agriculture intensive, on évoque une crise anthropique, que certains renomment même Anthropocène, afin de nous sensibiliser à l'impact néfaste de nos activités sur les écosystèmes à l'échelle de la planète. Par écosystème on entendra ici : un ensemble d'interactions d'espèces entre elles et avec le milieu environnant (Frontier & Pichot-Viale, 1995).

Ce qui nous intéresse dans ces écosystèmes, c'est la nature des interactions société-milieu et de la temporalité qui les anime. En remontant dans le temps, on peut observer la résilience de notre espèce. *Homo sapiens* ne s'extirpe pas tout de suite de son milieu pour le façonner et le remodeler selon ses besoins. Il y a 200 000 ans nos ancêtres préhistoriques ont dû apprendre à partager les ressources environnantes avec d'autres espèces animales et à interagir avec elles dans un environnement dont les composantes changent selon différentes phases climatiques. Pour répondre à leurs besoins (alimentaires et techniques), les humains ont développé un mode de vie basé sur l'exploitation des ressources environnantes : ils chassent, cueillent, collectent des ressources notamment minérales en se déplaçant (nomades). Ce mode de vie a perduré pendant toute la période géologique et climatique du Pléistocène supérieur. Il aura donc fallu seulement 200 ans aux sociétés modernes pour entrer en crise avec leur milieu et influencer des phénomènes climatiques alors que les modes de subsistances des premières sociétés humaines ont perduré pendant environ 200 000 ans et ce, malgré des variations climatiques importantes. Comment les modes de subsistances des sociétés du passé ont pu perdurer malgré un contexte climatique fluctuant ?

Pour tenter de répondre à cette question, nous avons choisi d'investiguer des périodes au cours desquelles les sociétés humaines se sont confrontées à des conditions que l'on considérerait aujourd'hui comme « extrême ». Au Paléolithique supérieur notamment, les humains semblent avoir développé des stratégies pour se procurer des ressources locales dans des environnements variés et fluctuants. L'étude de ces stratégies de subsistance via l'archéologie nous aidera, ici, à analyser ces formes d'organisation spatiale et économique qui se sont maintenues malgré des variations climatiques importantes.

Notre étude porte spécifiquement sur le Bassin parisien car il représente un carrefour de routes de migrations animales et humaines à la fin du Paléolithique. Situé dans le Nord de la

France, le Bassin parisien reste très proche des zones les plus froides (grande proximité avec l'Inlandsis) pendant la période du DMG mais semble avoir été une zone habitable car cela n'a pas empêché l'expansion des cultures du Paléolithique supérieur. En effet, différents groupes aurignaciens, gravettiens, solutréens, badegouliens et magdaléniens ont occupé cette zone géographique. Les sites archéologiques témoignent de leur passage et de leurs activités liées notamment à l'exploitation des matières minérales et des ressources animales.

Les différents groupes culturels que l'on vient d'évoquer ont dû élaborer leurs stratégies dans des environnements marqués par le froid. La végétation restant peu développée, ils ont davantage dépendu des ressources carnées pour répondre à leurs besoins. De ce fait, découle notre choix d'étudier les stratégies d'exploitation des ressources animales. Pour cette période, nous abordons l'élaboration des stratégies cynégétiques à travers une double approche archéozoo-étho-logique car on a cherché à comprendre dans quelle mesure les variations climatiques de la fin du Pléistocène ont pu influencer les comportements spatial et économique des humains et des gibiers dans le cadre des activités de chasse. On sait déjà que ces cultures présentent des comportements cynégétiques stables pour la période. En effet, les différentes cultures de chasseurs-cueilleurs nomades du Bassin parisien ont visé presque systématiquement les deux mêmes espèces pour répondre à leurs besoins : le renne et le cheval. Si les tableaux de chasse restent stables sur la période climatique qui s'étend du DMG au Tardiglaciaire cela veut dire que certaines formes d'organisation spatiale et économique des premières sociétés humaines se sont maintenues sur plusieurs centaines de milliers d'années dans la région d'étude. Sur plus de 8 000 ans, les proies préférentielles ne semblent pas changer mais les modalités d'acquisition et les armes (stratégies et tactiques de chasse) changent à plus petite échelle temporelle (celle d'une culture) et géographique (à l'échelle locale et intrasite). Nous essayons, par nos travaux, de mieux cerner les interactions : entre le chasseur et sa proie et entre communautés animales et communautés végétales pour rendre compte de potentielles variations des comportements en lien avec les variations climatiques et environnementales.

Pour une meilleure compréhension des relations chasseur-proie au Paléolithique

Nos objectifs de recherche sont donc, d'une part, de mieux comprendre les liens qu'ont pu développer les humains avec les espèces chassées, afin de mieux comprendre, d'autre part, l'impact des variations climatiques sur les interactions chasseur-proie à la fin du Paléolithique. Nos analyses se sont donc déroulées en deux temps.

Dans un premier temps nous avons cherché à identifier des variations de comportement chez les chasseurs d'une culture à l'autre à la fin du Paléolithique. Pour ce faire nous avons étudié des collections fauniques de deux sites stratifiés du Bassin parisien (Parties II et III). Ces deux sites recouvrent à eux deux plus de 8 000 ans d'occupations et ce malgré les variations climatiques du Dernier Maximum Glaciaire au Tardiglaciaire, il s'agit du site de l'abri Fritsch (dans l'Indre, Partie II) et du site de Pincevent (en Seine-et-Marne, Partie III). Ces stratigraphies sont précieuses car elles nous permettent l'identification de variation des stratégies et tactiques de chasse d'une occupation à l'autre à l'échelle d'un gisement (interstratifié), d'une culture régionale voire d'une période de transition climatique.

Dans un second temps, nous avons reconstitué les comportements des gibiers (Partie IV). Pour ce faire nous avons dû conduire une étude sur l'éthologie des rennes et chevaux tués et consommés par les groupes qui ont occupé les sites stratifiés évoqués ci-dessus. Ce sont les restes dentaires de ces deux espèces que nous avons analysés. En effet, les tissus dentaires sont des archives environnementales précieuses pour comprendre l'impact des variations climatiques sur le mode de vie des espèces d'herbivores qu'ont côtoyé les humains au Paléolithique supérieur. Pour conclure, nous avons pu proposer une reconstitution des interactions chasseurs-proies à l'aide des données sur les comportements humains et sur l'éthologie des proies qu'ils ont visés à la fin du Paléolithique dans le Bassin parisien (Conclusion).

Un corpus choisi pour une approche multi-indicateurs

Choix des taxons et du corpus étudiés

Cette étude porte sur les deux proies préférentiellement chassées au Paléolithique supérieur : le renne et le cheval. Le renne tient une place prépondérante dans les assemblages fauniques et a donné son nom à la « civilisation du renne » (Beyries & Vaté, 2007). Cette « civilisation » englobe alors toutes les cultures et espèces humaines (*homo neanderthalensis* et *homo sapiens* à ce jour) qui ont chassé les rennes parfois presque exclusivement et de manière intensive comme l'illustrent au Tardiglaciaire les sites nord européens de Verberie, Stellmoor ou encore Pincevent (Audouze, 2010 ; Weinstock, 2000 ; Julien & Karlin, 2014). Le cheval (*Equus caballus*) est le second taxon qui nous intéresse ici. Il a été autant exploité que le renne sur certains sites. On retrouve cette espèce sous forme de profils gravés (Foz Côa, Portugal ; Grotte de Comarque, L'Angle-sur-Anglin, France ; Grotte d'Altamira, Espagne) et peints sur les parois de très nombreuses grottes (Grotte de Chauvet, Grotte de Lascaux, Abri Cap Blanc,

Grotte de Mayenne-Science, France). On retrouve aussi des chevaux sculptés dans l'art mobilier (cheval sculpté en ivoire de la Grotte de Vogelherd, Allemagne ; cheval hennissant de la Grotte du Maz d'Azil, France ; contours gravés exposés au Musée d'Archéologie Nationale). André Leroi-Gourhan utilise les différents types de représentation du cheval comme l'un des marqueurs stylistiques du schéma évolutif de l'art paléolithique qu'il élabore en 1959. En archéologie, ce sont les travaux archéozoologiques d'Olivier Bignon-Lau qui ont réhabilité cette espèce au rang de proie préférentielle des humains au Tardiglaciaire et au Dernier Maximum Glaciaire (« L'autre civilisation du renne. », Bignon, 2008).

Nos travaux s'inscrivent donc dans la continuité des travaux d'O. Bignon-Lau, qui visent à restaurer ce que l'association des deux espèces a pu représenter pour les différentes cultures du Paléolithique supérieur du Bassin parisien. Le choix de ces deux taxons s'explique aussi par une présence importante dans les collections par rapport aux autres espèces. Ainsi, les analyses paléo-environnementales peuvent être appliquées à un large corpus d'assemblages fauniques et l'interprétation éthologique des résultats sera d'autant plus affinée.

Enfin, notre corpus inclut des représentants respectifs des espèces monogastriques (cheval) et des espèces ruminantes (renne). Si deux types d'herbivores sont représentés ici, cela nous permettra d'observer comment ces groupes se sont comportés et ont évolué au sein des communautés animales du DMG au Tardiglaciaire. Ils n'ont pas les mêmes besoins alimentaires, ne sont pas dépendants des mêmes niches écologiques et n'ont pas non plus les mêmes aptitudes à la migration.

Corpus archéologique, des séquences stratigraphiques exceptionnelles

Dans un premier temps, nous focalisons nos recherches sur deux principaux sites. Ces deux sites clés de notre corpus sont exceptionnels au sein de leurs périodes respectives pour leurs successions d'occupations. Ce type de séquences sont rares et sont des mines d'informations pour les archéologues :

- **L'abri Fritsch** (Commune de Pouligny-Saint-Pierre, coteaux des Roches, Indre) nous apportera des données sur les cultures du Dernier Maximum Glaciaire. Cette stratigraphie présente une succession d'occupations diachroniques par des groupes solutréens (Bayle, 2000 ; Chehmana *et al.*, 2007), puis des groupes badegouliens (Trotignon *et al.*, 1984) : elle offre ainsi un cadre précieux pour appliquer des analyses paléoenvironnementales et paléo-écologiques intra-sites sur les restes fauniques. Les

données sur l'exploitation des ressources animales par les Solutréens sont fournies par l'étude archéozoologique de Grégory Bayle (Bayle, 2000). Nous avons donc développé une approche archéozoologique sur les niveaux badegouliens avant de s'attacher à reconstituer l'éthologie des proies préférentiellement chassées par les Badegouliens et les Solutréens (couches 4, 5 et 6 ; présentées en partie II et partie IV).

- **Pincevent** (Montereau-Fault-Yonne, Vallée de la Haute Seine, Seine-et-Marne) est un site majeur pour la compréhension de l'organisation socio-économique des Magdaléniens du Bassin parisien. En effet, les travaux menés ici, depuis la découverte du site en 1964, ont été déterminants en ce qui concerne le développement et l'amélioration de nouvelles techniques et méthodes de fouilles (fouille planimétrique) et dans la manière d'appréhender les vestiges (démarche palethnologique évoquée ci-dessus ; Leroi-Gourhan, Brézillon, 1966, 1972, 1983). L'exceptionnelle conservation des occupations dans les limons de débordement de la Seine permet une lecture stratigraphique claire et précise des différents passages des Magdaléniens. Certains niveaux ont déjà été étudiés et publiés (niveau IV20 ; Julien, Karlin 2014) ou sont en cours de publication (niveau IV0 ; Bodu *et al.*, 2006). Nous avons déjà pu exploiter avec succès les données fauniques provenant de ces deux niveaux pour des premières analyses sur la reconstruction paléoenvironnementale autour du site (Catz *et al.*, 2020) et nous avons apporté quelques nouvelles données sur les comportements humains liés à l'exploitation des ressources animales sur deux niveaux partiellement fouillés, à ce jour : les niveaux IV30 et IV40 (partie III).

Dans un second temps, le corpus est élargi par des données provenant d'autres sites de la région d'étude. Ce corpus de comparaison archéologique, sert à étayer nos résultats sur l'étude de l'interaction entre humains et animaux au cours du Paléolithique supérieur dans le Bassin parisien. Il comprend les sites de la Grotte Rochefort (Solutréen) et de Chézy-sur-Marne (badegoulien) pour la période du DMG, ainsi que les sites d'Étiolles et du Tureau-des-Gardes 6 pour la période du Tardiglaciaire (Magdalénien). Les informations publiées sur ces occupations badegouliennes, solutréennes et magdaléniennes, à propos des activités de taille des matières minérales, de l'exploitation des ressources animales (C. Bémilli, O. Bignon-Lau, J. Enloe, F. David, G. Bayle notamment) et des reconstitutions paléo-environnementales (analyses polliniques notamment) présentent une base solide sur laquelle nous avons pu nous reposer pour développer l'approche multi-indicateurs.

Un corpus d'espèces modernes nécessaire à la comparaison éthologique

Dans la mesure où nous nous intéressons à des espèces animales chassées par le passé, nos questionnements archéologiques doivent se baser sur des données éthologiques actuelles. En effet, maîtriser des données actuelles sur des populations dont on connaît l'éthologie est nécessaire, même si les espèces actuelles ne sont plus totalement considérées comme étant sauvages. Les contextes écologique, géographique voire temporel influent sur l'éthologie des populations actuelles. Notre approche multi-indicateurs a donc nécessité l'élaboration de référentiels sur des populations animales modernes lorsque ces référentiels n'existent pas.

Nous avons ainsi dû créer des référentiels en isotopie sur le renne pour compléter les données existantes dans la littérature scientifique (Drucker, 2001 ; Britton, 2010). De plus, pour l'analyse de texture des micro-usures dentaires, l'élaboration de référentiels sur des populations de rennes norvégiens a été initié en 2016 par le projet RéAnima (resp. O. Bignon-Lau, C. Leduc) et prolongé en 2017 (RéAnima II) dans le cadre du LabEx DynamiTe (GT 1.3). En 2016, dans le cadre d'un contrat de 2 mois nous avons pu collaborer au développement de ce référentiel en micro-usures. Pour poursuivre et diversifier nos travaux sur les référentiels, O. Bignon-Lau et moi-même nous sommes tournés vers le PCR qui étudie le Bassin parisien, le site archéologique de Pincevent et l'équipe EP et l'UMR Trajectoire afin de financer ces travaux. Des années de travail ont permis la constitution d'une base de données sur des rennes actuels de Norvège provenant du continent (plateaux d'Hardangervidda et Knutshø et du parc naturel de Forollhogna) et de la presqu'île du Spitzberg (Svalbard). Ces travaux de développement d'un référentiel actualiste seront présentés par la suite (partie IV).

Mise en place d'une approche multi-indicateurs adaptée aux vestiges fauniques

Afin de répondre aux objectifs de recherche en intégrant toutes les données fauniques issues des corpus archéologiques et actuels, des protocoles d'études correspondants aux analyses appliquées ont été développés. Différentes étapes ont été mises en place pour notre approche multi-indicateurs :

- un **bilan bibliographique des études archéozoologiques** déjà menées sur les sites du corpus.
- une reprise complète ou partielle de l'**étude de l'exploitation économique des ressources animales** (gibiers privilégiés, diversité des proies, saisons d'abattage, paléodémographie, traitement des matières animales) lorsque l'analyse

archéozoologique précédente n'était pas assez précise (Abri Fritsch) ou pas publiées (nom de site ou de niveau) ; voire une étude complète lorsque celle-ci n'avait pas été faite (nom de site ou de niveau).

- des **analyses de texture des micro-usures dentaires** appliquées aux chevaux et rennes du corpus, afin d'indiquer leurs régimes alimentaires et les probables habitats écologiques fréquentés selon les saisons. Ce type d'analyse fournit un signal environnemental très précis à propos de la période précédant la mort de l'animal (15 jours environ).
- des **analyses isotopiques du carbone** et de **l'oxygène** appliquées aux rennes et chevaux du corpus : l'analyse isotopique séquentielle fournit un signal saisonnier, voire annuel, qui témoigne de l'environnement fréquenté par l'animal au début de sa vie (premières années pour le cheval, première année pour le renne). Ces analyses permettent ainsi d'aborder l'alimentation des espèces étudiées (carbone) et la reconstitution des paléotempératures (oxygène, seulement chez les chevaux, on expliquera pourquoi par la suite).

Présentation du plan

La définition du cadre d'étude (première partie) se fera à travers un état des lieux de la recherche dans les domaines abordés (partie I, chapitre 1). Nos problématiques d'analyse du matériel faunique s'inscrivent dans des contextes physiques, chronoculturels et paléoenvironnementaux. Dans cette optique, nous nous attachons à définir les cadres géographique et géologique de la région d'étude choisie : le Bassin parisien (partie I, chapitre 2). Nous rattachons ensuite l'étude du matériel faunique aux contextes culturels du Paléolithique supérieur avec un rappel sur la découverte et l'expansion des cultures solutréennes, badegouliennes et magdaléniennes dans le nord de la France. Enfin, les analyses de reconstruction paléoenvironnementale déjà effectuées sur les composantes végétales et fauniques des écosystèmes du Paléolithique supérieur nous permettent d'esquisser les paysages et mécanismes écologiques mis en évidence dans le Bassin parisien. En effet, les recherches en paléontologie, archéologie, écologie et éthologie ont permis une reconstitution, à ce jour partielle, mais de plus en plus précise, de l'environnement qu'ont fréquenté les chasseurs et leurs gibiers au Paléolithique supérieur dans la région d'étude.

Notre méthodologie d'approche sera ensuite décrite en trois grands volets, elle a été construite pour répondre à nos problématiques. Pour apporter des informations sur l'économie des ressources animales de nos deux sites de référence, l'étude archéozoologique des différents types d'assemblages fauniques anthropiques est détaillée étape par étape sur la séquence du Dernier Maximum Glaciaire, à l'abri Fritsch d'abord (partie II) puis sur la séquence Tardiglaciaire ensuite, Pincevent (partie III).

Pour terminer, les analyses chimiques et physiques appliquées à l'éthologie du renne et du cheval seront présentées (partie IV). Dans un premier temps, nous rappellerons pourquoi les dents fournissent des archives environnementales exceptionnelles pour la reconstitution de l'éthologie de l'animal (partie IV, chapitre 1). Ensuite, la géochimie appliquée à l'archéozoologie permet d'aborder les problématiques éthologiques sur le comportement alimentaire et la mobilité des espèces étudiées (renne et cheval) d'une part, et d'effectuer des reconstructions des paléotempératures sur les données des chevaux d'autre part (partie IV, chapitre 2). Enfin, l'analyse de texture des micro-usures dentaires offrira des informations précises sur les comportements alimentaires des proies visées par les chasseurs : le signal correspond aux prises alimentaires quelques jours avant leur mort et informera donc sur l'environnement fréquenté lorsque l'animal a été chassé (partie IV, chapitre 3).

Ainsi, ces analyses serviront :

- à reconstituer plus précisément les paléoenvironnements, principalement la couverture végétale, fréquenté par le gibier lors des épisodes de chasse
- à aborder les mécanismes de coévolution : **prédateurs/proies** (via espèces, diversité des proies, NMI...) et **animaux/végétaux** (via la reconstitution des régimes alimentaires)

La démarche multi-indicateurs nous permettra donc de fournir de nombreux éléments pour la compréhension des contextes paléoenvironnementaux, écologiques et économiques des sociétés qui s'installent, perdurent puis disparaissent dans le Bassin parisien au Paléolithique supérieur. Nous attendons de cette approche, de pouvoir reconstituer l'éthologie des gibiers clés de la période pour apporter de nouvelles informations sur les modalités économiques liées aux ressources animales. Ces résultats permettront, nous espérons, de proposer une modélisation des stratégies cynégétiques d'approvisionnement liées ou non à l'éthologie des gibiers. Enfin, nous espérons que nos recherches vont permettre d'apporter des pistes de réflexions sur la problématique des refuges septentrionaux au Dernier Maximum Glaciaire.

PARTIE I – TERRITOIRE ET MOBILITÉ DES CHASSEURS-CUEILLEURS : DÉFINIR UN RÉSEAU

“Yet even a cursory perusal of the contemporary literature shows that there is considerable diversity among ethnographically known foragers [...]. They have a variety of kinship systems; hunting is important in some whereas in others, gathering is critical. Colonialism consumed some, but others managed to reject it (Marlowe, 2002). Some are territorial, others are not. Some live in large, sedentary groups; others in small nomadic camps. Some are egalitarian but others have social hierarchies. Some have high whereas others have low fertility rates. Would the real hunter-gatherer please stand up!”

The Lifeways of Hunter-Gatherers, Robert L. Kelly, p.2

L'archéologie a pour but de reconstituer les modes de vies humains en étudiant des vestiges matériels et immatériels laissés par les sociétés humaines du passé. La préhistoire s'attache, elle, à le faire seulement à partir de vestiges matériels parvenus jusqu'à nous. D'après les préhistoriens, les sociétés humaines du Paléolithique et du Mésolithique, ont adopté un mode de vie basé sur l'exploitation des ressources environnantes. Pour répondre à leurs besoins notamment alimentaires sous un climat froid qui présente très peu de ressources végétales, ils développent des tactiques et stratégies de chasse (Bignon, 2008). Les humains ont dû organiser leurs déplacements et leurs activités de chasse par rapport aux zones où ils pouvaient trouver du gibier dans l'environnement. Ces zones peuvent être définies par une bonne connaissance du mode de vie des proies (différents milieux fréquentés au cours d'un cycle annuel biologique). Mieux définir les variables qui entrent en jeu dans l'interaction chasseurs-proies, c'est ce que l'on tente d'aborder afin de mieux reconstituer les territoires de chasse des humains. Certaines recherches, en cours, permettent de situer des zones d'approvisionnement en matières lithiques autour des campements. Entre les zones d'approvisionnement et les zones d'habitat ou de campement, les préhistoriens ont pu reconstituer de véritables réseaux au sein desquels, les biens, les humains et leurs idées semblent se mouvoir au rythme des saisons ou d'autres variables environnantes. Le terme territoire ne semble pas prendre tout son sens sans la notion de mobilité qui lui apporte une dimension dynamique. Nous revenons sur la définition de ces termes avant d'expliquer notre démarche.

CHAPITRE 1 – Définition du cadre théorique de l'étude

I.1.1 – Territoire et mobilité : quelques concepts et définitions

Il est primordial d'inscrire nos recherches dans un cadre théorique et de définir ce que nous entendons plus précisément par « territoire » et « mobilité ». Nous venons de l'évoquer : ces deux termes, sont souvent utilisés conjointement pour définir des réseaux. Ce type d'approche va nous permettre de modéliser la géographie d'un territoire et surtout la dynamique des mobilités humaines et animales au sein de réseaux à la fin du Paléolithique. Qu'en est-il de la perception du « territoire » et de la « mobilité » pour nous et pour les chasseurs-cueilleurs du passé et de leurs gibiers ?

Étymologies

Le terme « territoire » vient du latin *territorium* : formé de la racine « *terra* » (terre, sol) et du suffixe *-torium* (qui forme l'adjectif). Ce mot semble être apparu dans la langue française aux alentours des XIII-XIV^{ème} siècles mais sera réellement utilisé à partir du XVII^{ème} pour caractériser la ville, la région, la province et ce qui les entoure.

Le terme mobilité vient du latin *mobilitas* – *mobilis* (suffixe *-itas*) qui vient lui-même de l'assemblage d'un verbe *moveo* avec le suffixe *-bilis* (infinitif *movere* : mouvoir, remuer, agiter, éloigner, écarter). Le dictionnaire latin-français traduit le terme « *mobilis* » par les expressions suivantes : « mobile », « qui peut être mû ou déplacé » qui est « flexible, qui se plie, souple ». On notera ici que l'étymologie du terme anglais « move » vient de la même racine latine.

Utilisation des termes en géographie physique, en ethnographie et en éthologie.

Territoire

En géographie physique le « territoire » semble être indissociable de trois notions : le lieu, l'étendue et l'espace (Delvigne, 2016). Le lieu dans le dictionnaire de la géographie, est la plus petite unité spatiale complexe (Lévy & Lussault, 2003 ; d'après Delvigne, 2016). On le caractérise par des limites définies dans l'espace qui permettent de le nommer et de lui attribuer des coordonnées spatiales plus ou moins précises en fonction de son étendue ([x,y,z] ou [latitude, longitude, altitude]). L'étendue est une unité de mesure des objets géographiques. Sa valeur reste qualitative (limitée, restreinte, vaste, ample, moyenne) et est généralement floue. Enfin, l'espace se définit souvent par l'association à un adjectif (« géographique, politique, administratif »). Ce qui nous intéressera ici, c'est la dimension écologique de l'espace car on

veut représenter les interactions entre l'humain et l'animal et plus particulièrement lors de l'activité de la chasse.

Or, on ne peut évoquer le concept de territoire sans lui enlever sa dimension culturelle pour les peuples de chasseurs-cueilleurs. En effet, l'humain accorde à l'espace qu'il occupe de multiples facettes en fonction des activités qui s'y déroulent, tour à tour, un territoire peut être un espace économique, politique et/ou culturel. En ethnologie, les chercheurs définissent le territoire par des zones de vie et d'exploitation des ressources par les sociétés étudiées ce qui permettrait de comparer les modes de vie des chasseurs modernes aux comportements cynégétiques des humains qui ont occupé les sites archéologiques du Bassin parisien à la fin du Paléolithique. On s'intéresse ici à la perception du territoire par les chasseurs et l'ethnologie nous fournit de nombreux exemples d'ethnies de chasseurs qui partagent des traits communs dans différentes aires culturelles et différents continents :

D'après Béatrice Collignon, qui a travaillé sur la perception du territoire par les Inuits, ceux-ci définissent leur territoire « *nuna* » comme un tout relationnel, instable et contingent (Collignon, 1996). En effet, pour ce peuple, les relations sociales englobent tout ce qui les entoure. Au sein des territoires qu'ils occupent ou qu'ils traversent, les relations homme-animal sont régies par des règles strictes, car le gibier s'offre aux chasseurs et laisse celui-ci entrer sur son territoire lorsqu'il chasse. Ces règles ont été aussi décrites par Philippe Descola pour les peuples d'Amazonie (Descola, 1986). Enfin, on retrouve encore ces règles instaurées entre le chasseur et sa proie chez des peuples de Sibérie, avec l'obligation d'éviter d'infliger des souffrances inutiles au gibier ou l'engagement du chasseur à partager équitablement avec les membres de la famille et les alliés les biens acquis sur un territoire de chasse (viande, peau, bois de caribou, ivoire de morse ; Stépanoff, 2022).

Si on peut avoir une idée de ce que représente le concept de territoire pour les humains et les chasseurs modernes. Il est plus compliqué d'approcher ce concept du point de vue de l'animal. Pour définir le concept de territoire en éthologie, il est nécessaire de définir ce qu'est le domaine vital. Il s'agit de « la surface sur laquelle un animal vit normalement, sans se soucier de savoir si cette surface est défendue comme un territoire, et sans référence aux aires d'habitation d'autres animaux. » (D. McFarland, 1990 ; p.295-296). De plus, on dit souvent d'un animal qu'il marque son « territoire » : c'est le cas du loup qui dépose des fèces riches en informations pour ses congénères par exemple (Morizot, 2020). La notion de territoire serait donc utilisée ici pour décrire une portion du domaine vital de l'animal qu'il semble défendre (Darmaillacq et Lévy, 2019). On s'intéresse à des animaux qui sont chassés ici, on se demande

si la pression d'un prédateur tel que l'humain peut exercer une quelconque influence sur le comportement de la proie en termes d'occupation de l'espace et de la sélection des zones de vie dans son environnement. Le territoire regrouperait donc des zones d'espace où l'animal semble être capable de localiser des points d'intérêts et de mémoriser des routes/pistes pour les rejoindre (abris, ressources alimentaires, points d'eau, aires de mise bas). Rejoindre des points d'intérêts demande de la mobilité. Nous nous intéressons au terme mobilité avant de présenter nos réflexions sur l'articulation de ces termes en préhistoire.

Mobilité

La biogéographie qui est une branche de la géographie peut nous aider dans notre approche car elle étudie la répartition, dans l'espace, des végétaux et des organismes vivants sur terre selon différentes échelles (locale – régionale – continentale ; Cailleux, 1969). Elle cherche à expliquer les raisons de leur répartition géographique (Blondel & Ferris, 1995). À travers une approche multiscalaire nous pouvons aborder les comportements migratoires ou sédentaires des chasseurs et de leurs proies (Bignon, 2003).

Dans le domaine de l'anthropologie, en 1968, aux États-Unis lors de la 1^{ère} conférence sur les chasseurs-cueilleurs, « *Man the Hunter* », Richard B. Lee et Irven DeVore définissent les chasseurs-cueilleurs de toutes les époques, comme étant des personnes qui « se déplacent beaucoup » (« *move around a lot* »), et dont les vies sont fortement déterminées par cette réalité (Lee & DeVore, 1968). De façon générale, les déplacements successifs plus ou moins rapprochés au cours d'un cycle annuel ou saisonnier semblent caractériser une forme de mobilité organisées autour du nomadisme. Dans ce cadre, les mouvements de population dépendent de différents lieux d'approvisionnement en ressources minérales, végétales ou animales, ou de lieux sociaux et de lieux d'habitat. Certaines espèces migratrices visées par les chasseurs peuvent, par exemple, influencer leurs déplacements.

En ethnographie, chez les Inuits, on retrouve ce lien fort entre chasseur et proies à travers les mouvements saisonniers des gibiers ou autres proies visées (Therrien, 2012). Le fait de se déplacer physiquement entre différents lieux dans un espace donné est caractéristique des sociétés nomades. Mais il existe diverses formes de nomadismes contemporains, en lien avec les activités économiques et la structuration des communautés (Stépanoff *et al.*, 2013). D'après C. Stépanoff dans l'introduction de l'ouvrage que l'on vient de citer, le nomadisme serait : « un mode de vie mobile, impliquant des familles [...], partagé avec des animaux dont le comportement et les besoins jouent un rôle central dans les déplacements, [...] marqué par un

lien paradoxal à l'espace fait d'une conjonction de maîtrise et de retrait » (Stépanoff et al., 2013, p.8). Le lien entre mobilité humaine et mobilité animale semble être fort.

Dans le domaine de l'éthologie, on utilise les termes « déplacement » ou « migration » pour caractériser la mobilité d'un individu ou d'une espèce donnée. Or ces deux termes ne recouvrent pas la même réalité selon les auteurs. Généralement toutefois, déplacement (*movement*) décrit une mobilité plus restreinte (locale/régionale) par rapport aux migrations (inter-régionale-continentale ; Milner-Gulland *et al.*, 2011).

Généralement, les éthologues reconstituent le domaine vital de l'animal à partir de l'observation de ses déplacements (Benhamou, 1998). Ainsi, la mobilité permet la définition même de l'espace ou du territoire parcouru comme on a pu le voir précédemment. La fréquentation régulière ou répétée de lieux ou de zones précises de l'environnement communique déjà des informations sur les déplacements au sein du domaine vital de l'animal (aires de mise-bas, accès à l'eau ou autres ressources). Pendant un temps, les difficultés techniques rencontrées dans le suivi des déplacements ont permis une reconstitution uniquement spatiale du comportement animal. Les éthologues ont donc recours à la détermination d'occupations successives de lieux occupés ou traversés par l'animal recueillies par l'observation directe ou indirecte de son activité (empreintes, espace occupé pendant la période de rut, aires de mise bas). Cependant, depuis une vingtaine d'années, les innovations technologiques permettent de reconstituer précisément les itinéraires empruntés par un ou plusieurs individu(s). Cela a été facilité par la méthode de capture/recapture de l'animal. Lorsque l'animal est capturé, on lui implante des dispositifs de petite taille, tels que l'équipement télémétrique qui permettent de mesurer et transmettre (pour certaines technologies) les données recherchées à distance (colliers GPS, accéléromètre, gyromètre ; Le Galliard et al., 2012). L'acquisition de données précises permet à de nombreux chercheurs d'étudier les mécanismes de navigation et d'orientation présents chez certaines espèces. D'après eux, l'organisme de certains animaux peut intégrer des systèmes d'orientation très divers (boussoles magnétique ou astronomique, utilisation des courants marins ou aériens ; Galliard *et al.*, 2012). La reconstitution des déplacements des animaux à partir de leurs localisations successives, acquises avec une haute résolution temporelle, permet ainsi de proposer des modèles de mobilité. Aujourd'hui, on peut donc identifier les déplacements des animaux à partir de deux critères principaux :

- la distance de déplacement entre deux zones de pâturages (souvent pâturages d'hiver et d'été) ;
- le nombre d'individus qui se déplacent en empruntant le même itinéraire (à quelques individus près).

Les éthologues relèvent aussi les aptitudes à la locomotion et à l'alimentation, voire la taille des organismes pour multiplier les données éthologiques autant de caractéristiques pour mieux définir les modalités de mobilité chez l'animal (Owen-Smith, 1988 ; Guthrie, 1982, 1984 ; Bignon-Lau, 2014).

I.1.2 – Territoire et mobilité des chasseurs-cueilleurs de la préhistoire

Si la notion de territoire est indissociable de trois concepts que sont le lieu, l'espace et l'étendue en géographie physique. On propose de trouver comment utiliser ces concepts en préhistoire afin de mieux définir ce que l'on peut entendre par territoire à travers nos travaux.

En archéologie préhistorique on peut rapprocher le **lieu** du campement par exemple car on le caractérise par des limites définies dans l'espace et on peut lui attribuer des coordonnées spatiales plus ou moins précises en fonction de son étendue ([x,y,z] ou [latitude, longitude, altitude]) comme vu ci-dessus. Rappelons que les archéologues ont pu, à l'aide de l'analyse spatiale intra-site, caractériser des lieux de vie dédiés à certaines activités : des sites d'habitat, des gîtes de matière première, des gués.

En comparant des lieux ou campements dont les occupations sont datées aux mêmes périodes, les préhistoriens peuvent identifier des cultures. On parle seulement de culture matérielle en préhistoire mais grâce à l'identification d'objets ou de technique de taille du silex d'un site à l'autre, ils peuvent observer **l'étendue** de la culture matérielle à différentes échelles (locale, régionale, continentale). De nos jours, et dans la continuité des méthodes d'études du matériel archéologique, l'étude des matières les plus pérennes (et notamment des matières minérales : industrie lithique, coquillages fossiles, roches chauffées...) a fourni des données sur l'espace géologique fréquenté par les humains du Paléolithique (Cretin et Licon-Julien, 1997 ; Aubry *et al.*, 2007, Delvigne, 2016). C'est à partir des analyses de provenance des matières premières, que les archéologues tentent de reconstituer les territoires d'exploitation fréquentés par les hommes autour d'un site étudié. Les mêmes informations peuvent être issues de l'étude de provenance des coquillages (Taborin, 1992 ; Peschaux, 2017). L'identification de telles

informations permettre de donner une définition de territoires occupés par les chasseurs-cueilleurs (Delvigne, 2016).

Il existe aujourd'hui des cartes d'exploitation de ressources minérales qui attestent aujourd'hui de l'**espace** géologique occupé au Paléolithique supérieur. Si l'espace géologique fait partie du territoire, alors on pense pouvoir faire aussi des liens entre l'exploitation des ressources animales et le territoire d'approvisionnement des matières lithiques. Sachant que c'est la dimension écologique de l'espace que l'on cherche à retranscrire en reconstituant les interactions entre humain et animal dans l'environnement on ne pourra pas le faire sans parler de mobilité autant du point de vue des chasseurs que de leurs proies.

En 1990, Lewis R. Binford propose une correspondance entre le type de campement (occupation, halte de chasse, aire d'approvisionnement en silex...) et le type de mobilité chez les chasseurs-cueilleurs actuels et subactuels (Binford, 1990). A l'aide de ses observations faites sur le terrain chez les Inuits notamment, il a pu distinguer deux types de mobilités : la mobilité résidentielle et la mobilité logistique (Binford, 1990 ; Audouze, 2006). L. R. Binford définit ainsi un mode économique basé sur le nomadisme ou selon les déplacements. Aujourd'hui, les sociétés qui empruntent ce type de mode de vie sont souvent caractérisées de sociétés de chasseurs-cueilleurs et intègrent souvent une forme de nomadisme dans l'occupation du territoire (Testart, 1982). Les préhistoriens prêtent un mode de vie similaire aux humains du Paléolithique (Audouze, 2006). Françoise Audouze ajoute une dimension économique et sociale à ces réflexions et présente la mobilité comme « une des variables majeures dans les stratégies d'adaptation des chasseurs-cueilleurs à leur environnement » (Audouze, 2006, p.2). En effet, d'après elle, « pour chaque groupe, cette mobilité est partie intégrante du système socio-économique et répond à un souci d'optimisation et de sécurisation des ressources » (Audouze, 2006, p.2). On associe donc souvent le terme « nomade » aux termes « chasseurs-cueilleurs » car ici, le nomadisme s'oppose au « mode de vie sédentaire » que la plupart des représentants de notre espèce (*Homo sapiens* Linnaeus, 1758) ont adopté depuis l'Holocène (du Néolithique jusqu'à nos jours). On notera pourtant que l'antonyme « sédentaire » ne reflète pas tous les aspects de mobilité des sociétés de chasseurs-cueilleurs qui, pour certains, ont adopté un mode de vie « semi-nomade » par exemple (Stépanoff *et al.*, 2013).

Aujourd'hui, pour comprendre le système de mobilité des paléolithiques, l'archéologue doit donc analyser la fonction d'un site ou d'un niveau d'occupation d'un site (d'après les activités et les saisons). Il doit mettre ensuite ces données en relation avec la composition du

groupe qui les occupe et des activités dont elles témoignent. Cet exercice est aujourd'hui facilité à l'échelle du site (mobilité intra-site) par la fouille planimétrique, l'enregistrement systématique des coordonnées [x,y,z] des artefacts et écofacts dans l'espace. L'analyse spatiale implique qu'on considère qu'il existe des constantes dans les modes de vie dont témoigne la stabilité culturelle à l'échelle d'un site (synchronie) ou d'une région (synchronie, diachronie). Les recherches de Nicole Pigeot à ce sujet illustrent bien nos propos et la citation suivante évoque la démarche entreprise pour l'étude des sites magdaléniens du Bassin parisien comme celui d'Étiolles : « Chacun de ces grands sites de plein air, extensifs, bien préservés et stratifiés est à lui seul un petit laboratoire de recherche. Que des Magdaléniens soient revenus là, régulièrement, installer leurs campements, témoigne au mieux de leurs comportements traditionnels par leur pérennité. De surcroît, cette pérennité de la fréquentation ne se double pas d'une constance des manifestations culturelles. À Etiolles, par exemple, la diversité des structures, à tous les niveaux de l'analyse, est remarquable. Pourtant, la même ambiance culturelle y est flagrante. Des raisons diachroniques pourraient expliquer ces différences, et en effet nous les avons parfois mises en avant, notamment pour Q31, unité récente de la stratigraphie (Pigeot *et al.*, 1991). Mais cette diversité s'exprime aussi de façon synchronique : la raison chronologique n'explique pas tout (Olive, Pigeot, 1992). » (Pigeot, 2004 ; p.12-13).

Il doit s'intéresser à la complémentarité des fonctions d'occupations successives sur un site puis à la complémentarité des fonctions d'occupations à l'échelle du peuplement régional (réseau régional) pour permettre une mise en correspondance des liens entre peuplements régionaux (réseau culturel à l'échelle (sub)continentale).

Lorsque l'on évoquera « la mobilité » des chasseurs-cueilleurs et de leur gibier, nous prendrons en compte l'ensemble des moyens mis en œuvre par les hommes et les animaux pour se mouvoir à différentes échelles au sein des territoires occupés. L'étude éthologique des gibiers retrouvés sur les sites préhistoriques, à la lumière d'une démarche de définition du territoire, permettra donc d'apporter de nouvelles informations et/ou d'affiner certains résultats connus sur les choix économiques et cynégétiques des chasseurs-cueilleurs. Ainsi, c'est en croisant plusieurs disciplines que l'on pourra esquisser des territoires préhistoriques perçus par les préhistoriens dans un premier temps et par les préhistoriques dans un second temps.

I.1.3 – Une approche en réseau du territoire et de la mobilité

Pourquoi un réseau ?

Du latin *retis*, « filet », le réseau se définit comme une « trame ou une structure composée d'éléments ou de points, souvent qualifiés de nœuds ou de sommets, reliées entre eux par des liens ou liaisons, assurant leur interconnexion ou leur interaction et dont les variations obéissent à certaines règles de fonctionnement. » (Ost et van de Kerchove, 2002). Un réseau est ainsi constitué de flux et de points. Des réseaux existent tout autour de nous dès que l'on identifie des points que l'on peut relier entre eux, comme en neurologie (le réseau neuronal), en géographie (plans des transports en commun) ou en sociologie (les réseaux sociaux). Les nœuds peuvent être identifiés à des points sur une carte par exemple, et certains peuvent représenter une population (taille du nœud en fonction du nombre d'individu).

En cherchant à résoudre un problème célèbre, Leonhard Euler expose la « Théorie des graphes » en 1736. Il cherchait à déterminer s'il existait un chemin empruntant une seule fois les sept ponts de la ville de Königsberg. Euler a théorisé le problème en nommant par une lettre les différentes terres séparées par les rivières et il a représenté les ponts par des séquences de lettres (AB relie ainsi la terre A à la terre B). Cette façon de modéliser le problème est à l'origine du graphe et du réseau (Euler, 1736 ; figure 1).



Figure 1 : Représentation¹ de la théorie des Graphes exposée par Euler en 1736.

D'autres mathématiciens réfléchissent par la suite sur les interrelations entre des chemins et des lieux et définissent un chemin comme étant une suite de sommets reliés par des arêtes. À

¹ Lien image : <https://sim51.github.io/presentations/graphq1-neo4j/assets/7ponts.png>

partir des années 1930, les sociologues s'emparent de ces problématiques (Moreno, 1930 ; Terrell, 1976 ; Wassermann et Faust, 1994). En effet, l'analyse de réseaux regroupe alors un ensemble de travaux mathématiques au service des sociologues et plus largement qui s'ouvrent aux sciences humaines. À partir de 1998, Duncan Watts et Steven Strogatz développent les analyses en petit monde (la structure du réseau n'évolue pas si ce n'est en intensité).

De nos jours, l'analyse des réseaux se développe en archéologie antique surtout notamment pour recréer des réseaux commerçants. Ce type d'analyse est applicable en préhistoire comme on a pu l'introduire précédemment ; mais très peu d'analyses de réseaux ont pris en compte tous types de données acquises par les préhistoriens. En effet, les données que nous possédons sont de bonne qualité pour questionner ces interrelations entre lieux et entre groupes sociaux. Car on peut questionner les relations entre différentes couches stratigraphiques par exemple (diagramme de Harris) ou encore reconstituer les réseaux de circulation des matières premières lithiques et malacologiques mais toutes ces informations ne sont pas comparées ou associées les unes aux autres. Si un réseau se définit par des points/nœuds reliés entre eux par des flux : quels flux peut-on prendre en compte en préhistoire lorsqu'on tente de reconstituer un réseau ? Quelles informations peut-on utiliser pour définir ces flux ?

Définir un réseau en préhistoire : identification de flux et de nœuds.

Par rapport à toutes les ressources présentes sur un site archéologique, les ressources minérales souffrent moins de la conservation différentielle des vestiges et sont des marqueurs de territoire reconnus par les préhistoriens à ce jour (Whallon, 2006). Les déplacements liés à ces activités d'acquisition des ressources sont d'origine logistique pour reprendre les termes employés par L. Binford. Dans ce cas de figure, les hommes se déplacent pour répondre à des besoins matériels. Les lieux d'acquisition et d'approvisionnement en matières premières lithiques ou fossiles rendent compte des distances parcourues au sein du territoire d'approvisionnement lorsqu'ils sont identifiés autour d'un site résidentiel. Plus les distances entre le site archéologique et le lieu d'approvisionnement en matière minérale de l'objet sont éloignés, plus le territoire du groupe humain est vaste. De plus, l'état technique des matières premières (matières brutes, ébauches, produits finis, fragments de produits finis) est un critère majeur pour caractériser les flux auxquels on cherche à se connecter, ici, au sein des réseaux économiques reconstitués grâce à la géoarchéologie.

Définition des nœuds

Cette démarche suivie par les archéologues et géologues consiste donc à reconstituer un réseau en reliant des sites de provenance des matières lithiques (sites d'approvisionnement) aux lieux de découverte des déchets de taille, blocs de matières premières bruts ou objets en pierre. Les nœuds sont représentés ici schématiquement par les sites et les flux/liens qui permettent de les associer entre eux. Identifier la nature des flux de matière première : c'est donc émettre l'hypothèse que ces matières premières sont transportées par les humains d'un point A à un point B. Pour identifier les flux ou échanges entre deux points d'intérêt, il faut maîtriser les acquis sur ce qu'est une culture passée et sur la façon dont elle s'ancre dans son espace. Grâce à l'ethnologie, on sait aujourd'hui que certains comportements sont liés à certaines matières premières et à leur lieu d'extraction ce qui permet lors d'une étude typologique et technologique d'identifier des comportements humains spécifiques dès les premières étapes de la chaîne opératoire.

Définition des flux

La circulation de matières ou d'objets au sein d'un réseau se matérialisent donc par des flux. En préhistoire, ce sont éventuellement les déplacements des hommes entre les différents points d'intérêts identifiés : zones d'extraction de silex, affleurement de fossiles et différents types d'occupations (habitat, halte de chasse) qui permettent de dynamiser le territoire sous la forme d'un réseau et rendent compte de l'expansion d'un fait culturel.

Or, sachant que depuis les années 1960, les archéologues s'attachent à reconstituer la culture matérielle à travers l'étude de tous les vestiges matériels mis au jour sur les sites, serait-il possible d'identifier d'autres types de flux qui permettraient d'implémenter les données sur les réseaux ? Les travaux sur la malacofaune et les lieux de ramassage de certaines espèces de coquillages permettent de reconstituer des réseaux d'échanges ou de circulation de ces artefacts et l'on peut reconstituer les distances parcourues par un spécimen ce qui délimite un certain territoire d'exploitation de ces ressources (Taborin, 1992 ; Peschaux, 2017).

Sur l'art préhistorique, Georges Sauvet, émet l'hypothèse suivante : ce sont les idées, les savoir-faire qui circulent au sein d'un réseau local, régional voire même à plus grande échelle d'une période à l'autre du Paléolithique. Ce phénomène expliquerait l'expansion d'une culture ou d'une autre. L'analyse en réseau associée à l'étude des représentations artistiques permet alors à l'auteur de discerner la diffusion de traits culturels voire de techniques (émanations culturelles) au sein d'une trame modulable (Sauvet, 2019).

Les ethnologues des techniques notamment se sont penchés sur la question de la transmission des savoir-faire. En 1978, Marie-Nöelle Chamoux écrivait à ce propos : « les savoir-faire peuvent être gestuels et intellectuels, collectifs et individuels, et ils dépendent toujours à la fois des rapports des hommes entre eux et des rapports entre les hommes et les lois de la matière. [...] Pourtant, quelle que soit l'impossibilité de formulation complète des savoir-faire, les groupes humains parviennent bien à les transmettre malgré tout. Pourquoi ne pas chercher alors à élucider ce processus lui-même ? Pourquoi ne pas prendre pour objet les variations pertinentes des manières de transmettre les savoir-faire incorporés ? » (Chamoux, 1978 ; p.48-49). C'est la démarche qu'elle a suivie pour expliquer notamment la transmission de savoir-faire tels que le tissage ou le filage en s'inspirant d'une expérience de terrain autour de transmission d'un rituel par une chamane chez les Indiens nahuas au Mexique. Sachant que la transmission ici peut être définie comme un flux d'idées abstraites ou concrètes entre deux personnes – au minimum - alors, on peut penser que les connaissances étaient transmises dans différents domaines de la vie quotidienne. La transmission des idées, des connaissances et des savoir-faire nous intéresse ici par rapport aux liens développés entre humain et animal.

Modéliser les interactions homme-animal/chasseur-proie

Comme on vient de le constater : identifier les territoires fréquentés par les chasseurs-cueilleurs du Paléolithique supérieur revient la plupart du temps à reconstituer leurs déplacements logistiques d'un lieu à un autre ou des phénomènes d'expansion d'une culture à travers la transmission de savoir-faire ou d'idées (en plus de la traduction économique, sociale et culturelle de ces flux). Les supports principaux d'informations sont ici des objets finis et différents vestiges issus d'une chaîne opératoire techniques (déchets, supports...). Leur origine minérale ou malacologique peut être replacées selon les connaissances géologiques et géographiques des archéologues. C'est donc l'étude de provenance des matières travaillées qui permet l'identification de points d'intérêts dans le paysage géologique. Ces indices permettent de définir l'espace vital et le territoire d'approvisionnement occupé par les hommes. Aussi, on tentera, ici, d'y ajouter de nouvelles données. Si l'on peut modéliser la mobilité des préhistoriques, on peut alors sûrement s'intéresser aux flux migratoires des espèces chassées par les humains d'une époque à l'autre par exemple. En effet, certaines sociétés de chasseurs-cueilleurs calquent leurs déplacements sur ceux des gibiers qu'ils consomment (consommation alimentaire et technique ; Mauss, 1905). Les routes de migration animales caractérisent ainsi des flux que les chasseurs observent et cherchent à anticiper. Les déplacements et les migrations sont des informations qui témoignent de la régularité de certains comportements, d'où la

possibilité de mettre en place des tactiques appropriées aux comportements des proies et donc des stratégies économiques pour les chasseurs. Nous intervenons ici tentant de fournir de données sur la stabilité ou la variabilité des comportements des proies préférentiellement chassées sur une longue période. Les séquences de l'abri Fritsch et de Pincevent livrent une précision temporelle assez rare, ce qui permet d'approcher l'évolution de l'éthologie ; et notamment le comportement alimentaire ; des proies dans le temps court (échelle intrasite, stratigraphique) et le temps long (échelle régionale, diachronique) via la reconstitution de marqueurs environnementaux précis (échelle inter-individuelle, intra-population, inter-populations, inter-espèces). L'écosystème vu comme un réseau ici, permet d'englober toutes ces échelles d'observations précises et plus générales. Comme on cherche à comprendre l'ampleur des interactions entre humain et animal au sein d'un écosystème donc on connaît plusieurs caractéristiques à ce jour (Steppe à Mammouth, présentée par la suite) on propose de reconstituer d'autres composantes à l'aide des indicateurs environnementaux. L'écosystème se structure dans l'espace et dans le temps ; car les acteurs (humains, animaux, végétaux) le créent en s'y déplaçant tout en construisant ou en détruisant continuellement leurs habitats et autres infrastructures (nids d'oiseaux, occupation d'un site en bordure d'un fleuve par les humains, routes de migrations des rennes) ; il est donc sensible à l'échelle locale, continentale et planétaire aux variations climatiques (dérive des continents, rythme des glaciations, extinctions d'espèces...).

Sachant que l'on peut identifier et observer des phénomènes écologiques et biologiques à différentes échelles. On peut faire une analyse en réseau à travers une approche biogéographique. Dans ce cas, alors, une approche multiscalaire du réseau écologique se fera de l'échelle locale (intrapopulation, intrasite...) à l'échelle continentale (interpopulation, paysagère, biosphérique...). Définir les échelles d'observation est donc primordial dans nos travaux, en considérant toutes les alternatives entre ces deux échelons d'observation. On pense donc que l'on pourra aborder les liens entre chasseurs et proies en intégrant les données sélectionnées pertinentes dans des réseaux déjà identifiés. Au sein de ces réseaux reconstitués à la préhistoire, on sait déjà que les humains effectuaient des déplacements dans un territoire délimité par les connaissances géologiques et géographiques. Quelle démarche méthodologique entreprendre alors pour apporter de nouvelles informations sur le territoire et la mobilité des chasseurs et de leurs proies ?

Une approche spatiale élaborée : mobilité humaine versus mobilité animale

À travers une étude diachronique de l'éthologie des proies visées au Paléolithique, notre objectif est d'arriver à reconstituer les territoires et paysages que les chasseurs et leurs gibiers ont fréquentés. En éthologie comme en ethnologie, une meilleure définition des territoires occupés par l'espèce étudiée s'accompagne d'une compréhension de la mobilité de cette dernière en tant qu'individu ou en tant que « maillon élémentaire » d'un groupe (Pigeot, com. pers.). La mobilité du groupe (sur de plus ou moins longues distances) définit ainsi l'espace exploité que l'on caractérise alors de territoire ou de domaine vital. De nos jours, de nombreux préhistoriens s'attèlent à mieux définir les territoires occupés et parcourus par les chasseurs-cueilleurs. À l'aide d'étude de provenance de certains matériaux comme le silex ou les coquillages par exemples, ils s'accordent sur le fait qu'aborder le territoire et la mobilité des humains n'est pas chose aisée et la plupart d'entre eux en sont venu à la conclusion que l'un sans l'autre ne sont pas compréhensibles. En effet, un même matériau provenant d'un lieu défini sur une carte et mis au jour sur deux sites archéologiques distants de centaines de kilomètres a été transporté. Le mouvement entre les trois lieux évoqués est porté par le déplacement des humains d'un lieu à un autre : par des flux. De notre point de vue, les problématiques de territoire et de mobilité en préhistoire seraient abordables grâce à cette notion de flux ou liens que l'on reconstituerait entre le chasseur et la proie et entre la proie et l'environnement. Ici, les données sur l'éthologie des proies du Paléolithique supérieur apporteront une dimension unique aux réseaux déjà identifiés pour les cultures du Bassin parisien. L'analyse des sites du Bassin parisien permettra d'identifier les variables économiques d'ajustement des groupes du Paléolithique à leur environnement. Si à l'échelle locale les réseaux d'échanges fluctuent, à l'échelle humaine, ils apparaissent stables et constituent un élément de stabilité bien plus important que l'endroit où le groupe vit : lieu qui peut changer d'un jour à l'autre (Sauvet, 2019).

Au cours du Dernier Maximum Glaciaire (DMG), vers 20 000 - 18 000 BP, les chasseurs cueilleurs ont occupé des zones septentrionales du Bassin parisien, pourtant considérées comme inhabitables en raison de la proximité avec les glaciers et d'un climat très froid (températures entre -40 et -20 °C en hiver). En effet, des découvertes archéologiques récentes permettent de confirmer la présence des humains au Gravettien, au Solutréen et au Badegoulien de la région (Renancourt, Ormesson, Grotte Rochefort, Chézy-sur-Marne). Aujourd'hui, les chercheurs interprètent ces aires d'occupations comme étant des zones refuges septentrionales (« *cryptic northern refugia* ») (Stewart & Lister, 2001; Bignon-Lau, 2014 ; Bignon-Lau *et al.*, 2019), au

même titre que les zones refuges méridionales déjà mises en évidence auparavant (Provan & Bennett, 2008 ; modèle « expansion-contraction »). Ces zones se caractérisent par un paléoenvironnement aux ressources très morcelées (Stewart & Lister, 2001). Les études archéozoologiques conduites sur ces gisements datés du DMG, mettent en évidence la présence de communautés animales qui ont pu vivre et se développer dans des conditions polaires (régions à proximité des glaciers). À cette période, d'après de récentes recherches, deux taxons semblent être particulièrement exploités et recherchés par les prédateurs humains (Bignon-Lau, 2014) : il s'agit du renne (*Rangifer tarandus* Linnaeus, 1758) et du cheval (*Equus caballus* Linnaeus, 1758). Ils semblent systématiquement chassés par les sociétés solutréennes et badegouliennes du Nord de la France (Bodu *et al.*, 2012; Paris *et al.*, 2017; Montoya *et al.*, 2019 ; Bignon-Lau *et al.*, 2019). Pendant les périodes les plus froides, la végétation devait être recouverte par un pergélisol (sol gelé en permanence) ou des couches de neige une partie de l'année. Ces conditions environnementales extrêmes peuvent inciter les humains à s'appuyer davantage sur les ressources carnées pour répondre à leurs besoins en calories (Bignon-Lau, 2014). Dans ce contexte, le renne et le cheval semblent ainsi présenter un type de ressources stables pour ces sociétés qui ont organisé leurs déplacements et activités en fonction des rythmes de vie biologique des proies visées.

Dans le Bassin parisien toujours, entre 8 000 à 10 000 ans plus tard, au Tardiglaciaire, les conditions climatiques changent. Alors que les glaciers reculent, le climat reste instable avec l'occurrence de l'interstade Bølling-Allerød (Bignon, 2008). Pourtant, les Magdaléniens ont occupé différents sites au début de cette phase et les occupations ont été préservées par les limons de débordement de la Seine. À cette période, les préhistoriens observent une régionalisation des comportements culturels à l'échelle européenne (David & Enloe, 1992) et pourtant leur choix de gibiers ne semblent pas varier d'un site à l'autre. En effet, les groupes Magdaléniens qui ont occupé la région du Bassin parisien en continu entre 13 000 BP et 11 800 BP ont visé le même couple de proies renne-cheval (Valentin, 1995 ; Valentin & Pigeot, 2000 ; Debout *et al.*, 2012). Pour les occupations du Magdalénien supérieur, O. Bignon-Lau évoque un système cynégétique « à double proies préférentielles » (Bignon, 2003, 2007, 2008).

Les études archéozoologiques montrent que ce « couple » renne / cheval a évolué conjointement au cours du Paléolithique et ont entretenu des liens étroits avec les sociétés humaines. Ainsi, malgré les fluctuations climatiques du Pléistocène et les changements observés d'une culture à l'autre du Paléolithique supérieur, les groupes de chasseurs-cueilleurs du Bassin parisien ont effectué des choix cynégétiques stables. Ces interactions chasseur-renne-

cheval qui ont perduré entre le DMG et la fin du Paléolithique témoignent d'un lien coévolutif fort que l'on cherche à reconstituer plus précisément.

Dans ce contexte évolutif, nous souhaitons évaluer l'impact des variations climatiques sur l'éthologie des proies les plus visées et, donc, sur les comportements humains. Les chasseurs ont-ils développé des stratégies et tactiques de chasse en fonction du comportement de leurs proies ? (Kelly, 1983 ; Bignon, 2008). Pour répondre à cette question, nous avons accès à des collections fauniques des deux séquences stratigraphiques évoquées en introduction (Pincevent et abri Fritsch) : nous avons tenté de reconstituer le comportement humain liés à l'exploitation des ressources animales tout au long des deux séquences, pour pouvoir, ensuite reconstituer le régime alimentaire et l'amplitude des déplacements de proies préférentiellement chassés sur ces sites.

Caractériser l'éthologie des proies chassées, sur de longues séquences archéologiques, nous permettra de déceler une certaine variabilité ou au contraire une certaine stabilité dans les comportements alimentaire et migratoire des espèces étudiées (Owen-Smith 1988 ; Duncan, 1992 ; Bignon, 2008). Ainsi, on s'intéresse aux étapes en amont de la chaîne opératoire reconstituée par les archéozoologues du Solutréen au Magdalénien. Cette approche permettra de comprendre si le mode de vie des chasseurs est conditionné et dans quelle mesure, ou s'il s'organise par rapport aux ressources animales dans l'environnement qu'ils fréquentent.

CONCLUSION

Au sein d'une occupation archéologique (in situ), les nombreuses activités qui se sont déroulées lors de l'occupation du site ont laissées des traces. Les vestiges de ces activités témoignent directement et indirectement des comportements humains et indirectement des comportements des animaux. Les vestiges fauniques, notamment, témoignent directement de l'interaction des humains avec le monde animal (consommation alimentaire et technique) et indirectes des interactions chasseur-proie et des interactions animal-environnement (en amont de la chaîne opératoire du travail des ressources animales). Ici, les sites archéologiques et les zones d'activités représentent les nœuds du réseau qui sont reliés entre eux par les rapports qu'entretiennent les humains avec le monde animal et leur environnement.

La démarche archéozoologique nous conduit vers des interprétations tant éthologiques (pour les gibiers) qu'éco-sociale des entités culturelles choisies. En second plan, nous mettrons en résonance d'autres données, en utilisant les outils conceptuels des réseaux.

CHAPITRE 2 – Quelles limites pour notre territoire d'étude ? Définir les composantes du réseau.

« La France, qui est une péninsule, la pointe occidentale de l'Europe s'enfonçant dans l'Atlantique, devrait en toute logique n'être qu'une impasse, biogéographiquement parlant. En réalité, elle est au carrefour de très nombreuses influences qui s'opposent ou se conjuguent et cette diversité géologique, topographique, climatique et historique amène une diversité d'habitats naturels sans équivalent en Europe, une densité extraordinaire de milieux qui s'imbriquent comme les pièces d'un puzzle gigantesque où de très nombreuses espèces ont trouvé les conditions idéales de leur épanouissement. »

Ré-ensauvageons la France, Plaidoyer pour une nature sauvage et libre, Cochet et Durand, p.24

I.2.1. Contextes géographique et géologique de la zone d'étude : le Bassin parisien

Dans le but de mieux comprendre le mode de vie des proies préférentielles des chasseurs du Paléolithique supérieur, à différentes échelles spatiales et temporelles, nous avons choisi d'axer nos recherches archéozoologiques sur le Bassin parisien et ses marges occidentales et méridionales. En effet, ces régions livrent des sites archéologiques riches d'informations et les études qui y sont menées depuis les soixante dernières années mettent en évidence différentes cultures. Au cours du Paléolithique supérieur se succèdent de nombreuses cultures dont la culture solutréenne (Chehmana, 2013 ; Fontana, 2018 ; Hinguant & Colleter. (dir.), 2020), la culture badegoulienne (Bodu *et al.*, 2013 ; Montoya *et al.*, 2014) et la culture magdalénienne (Debout *et al.*, 2012) que nous allons évoquer par la suite. Nous n'aborderons pas les cultures qui précèdent celles-ci (Chatelperronien, Aurignacien ou encore Gravettien) car il s'agit déjà d'une vaste période d'environ 8 000 ans que nous couvrons par nos investigations. Aujourd'hui, ces découvertes ont permis de mieux définir les modes de vie des groupes humains et des liens qu'ils ont pu développer avec leur environnement : chasse, travail de la pierre et des matières dures animales (Debout *et al.*, 2012). Ce contexte géographique exceptionnel a permis l'étude de l'évolution des liens chasseur-proie à l'aide d'une approche biogéographique (Bignon, 2003, 2008 ; Bignon-Lau, 2014 ; Bignon-Lau *et al.*, 2019). Nous avons ainsi pu développer des

analyses à l'échelle du site, puis entre sites à l'échelle d'une région et d'une culture. Cette approche multiscale transforme alors la région du Bassin parisien en véritable laboratoire d'étude des rapports inter-espèces. Avant de présenter les outils qui nous permettent de développer ces études et afin d'ancrer nos observations dans un contexte géographique solide, il est important de rappeler les limites géographiques du territoire d'étude qu'est le Bassin parisien.

Une brève histoire de la géologie du Bassin parisien

Le Bassin parisien est l'un des trois plus vastes bassins sédimentaires de France occupant le tiers Nord de la France (110 000 km² de superficie). Délimité à l'ouest par le Massif armoricain, au sud par le Massif central, à l'est par les Vosges et au nord-est par les Ardennes, il est ouvert au nord et au nord-est vers les bassins de Londres et de Belgique.

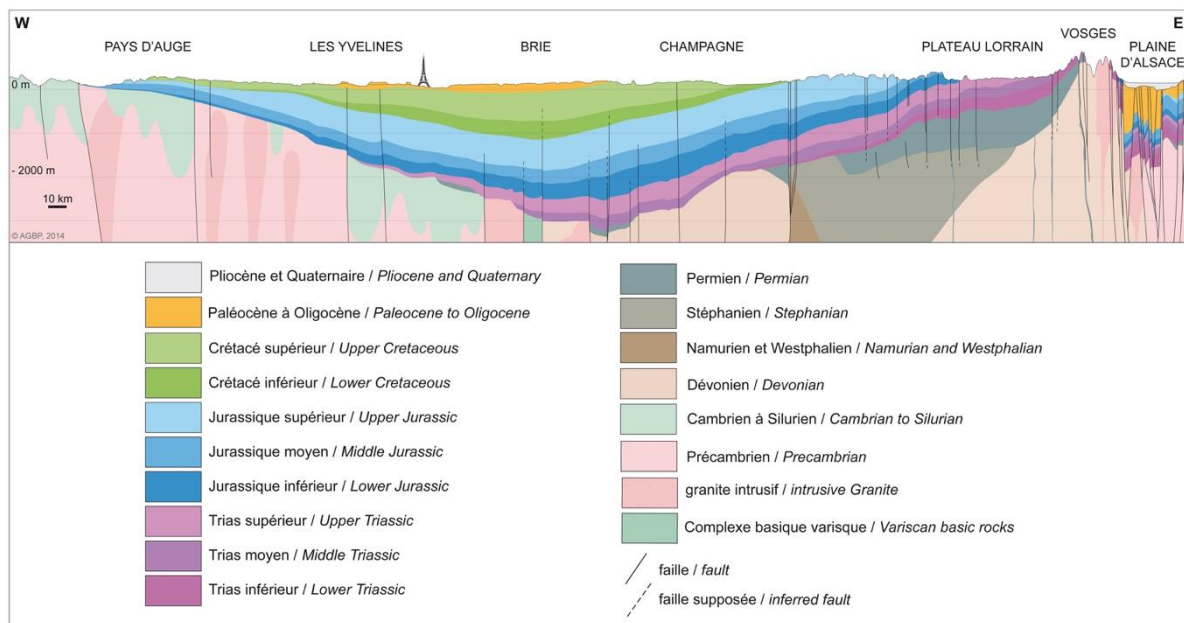


Figure 2 : Coupe du Bassin parisien simplifiée d'après Gély Jean-Pierre et Hanot Franck (coord.) - Coupe géologique du Bassin parisien et du Fossé rhénan. (2014).

L'histoire géologique du Bassin parisien remonte à la formation du Massif hercynien, il y a 300 Ma. Ce massif est constitué de roches éruptives, plutoniques et de roches métamorphiques érodées progressivement. Aujourd'hui, nous pouvons observer les vestiges de cette érosion à travers le Massif armoricain, le Massif central, les Ardennes et les Vosges. Plus tard, pendant l'ère secondaire, le Bassin parisien se remplit par phases : au trias, au jurassique

puis au crétacé (d'environ - 245 Ma à - 65 Ma, coupe Est-Ouest voir figure 2 et 3). En effet, on observe une sédimentation régulière qui résulte d'une alternance de périodes de transgressions et régressions marines liée à la tectonique des plaques (cf. successions de couches de dégradés violet, bleu et vert, figure 2). L'invasion de la mer à l'est (climat chaud et humide) favorise le développement d'un écosystème marin. Les phénomènes de décomposition des coquilles d'êtres vivants, qui occupaient la mer et leur dépôt progressif, sont à l'origine des formations calcaires qui affleurent à certains endroits de la région. De nombreuses espèces de coquillages identifiées par les archéomalacologues sur des sites paléolithiques proviennent de ces affleurements (Peschaux, 2017). La présence de ces ressources attesterait d'une exploitation, par les groupes humains, de gisements fossiles calcaires du Mésozoïque (anciennement appelée ère secondaire, qui s'étend de -252 à -66 Ma) déjà accessibles au Paléolithique dans le Bassin parisien. Au cœur du Bassin parisien affleurent aussi des couches du Cénozoïque (anciennement appelée ère tertiaire, la plus récente sur l'échelle des temps géologiques qui s'étend de -66 Ma à nos jours), entre l'Oise au Nord et le Cher au sud. Ces affleurements ont probablement été exploités pour leur richesse en matières siliceuses. Le silex du Mésozoïque (Sénonien, Campanien) et du Cénozoïque (Bartonien) dominant parmi les matériaux lithiques exploités au Paléolithique supérieur.

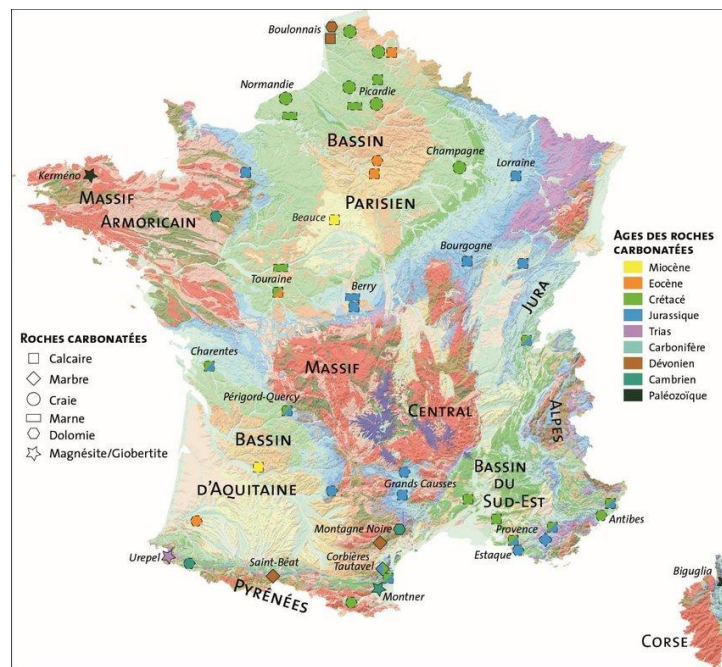


Figure 3 : Carte géologique simplifiée de la France avec la localisation des gisements potentiels (exploités ou non) en roches carbonatées à usage industriel et agricole. Les symboles aux bordures en tirets indiquent une aire géographique et non un point géographique précis (Source : BRGM ; in Charles *et al.*, 2017).

On notera dans cette région la présence de reliefs dit de « côte » ou « cuestas » : il s'agit des couches sédimentaires les plus anciennes et plus profondes qui ont été relevées en direction des massifs anciens. Ces reliefs entourent le Bassin parisien et affleurent successivement en périphérie, des plus jeunes aux plus anciens, tournant leur tranche vers l'extérieur. C'est dans ce contexte géologique que s'installe un réseau hydrographique dynamique.

Le réseau hydrographique du Bassin parisien et le contexte de conservation des sites du Paléolithique.

Le Bassin parisien est parcouru de trois fleuves principaux : la Seine (figure 4), la Meuse et la Loire. La Seine et ses affluents alimentent la partie centrale du bassin. La Meuse s'écoule à l'est du bassin, du sud vers le nord en traversant les Ardennes. Au sud, la Loire longe le Bassin parisien en traversant le Massif armoricain. Au nord, en bordure de la Manche de nombreuses rivières sont perpendiculaires au rivage. Les fleuves et leurs affluents forment donc un réseau complexe au sein du Bassin parisien. Cela offre des voies de circulation accessibles aux organismes vivants semi-aquatiques et terrestres depuis le retrait définitif de la mer vers -35 Ma.



Figure 4 : Réseau hydrographique du Bassin versant de la Seine

Comme la plupart des sites de plein air, datés du Paléolithique supérieur, se situent à proximité d'un cours d'eau, on a tendance à penser qu'il s'agit d'un élément nécessaire à l'installation d'un campement. Mais il pourrait s'agir d'un biais interprétatif de la recherche car les contextes fluviaux sont plus propices à la conservation des vestiges archéologiques : les chercheurs auraient tendance à trouver certains sites dans certaines franges morpho-sédimentaires de la zone géographique et ne cherchent donc pas ailleurs.

Différentes phases climatiques que l'on évoque ci-dessous impactent l'hydrographie du territoire. Les rivières, affluents et fleuves peuvent avoir changé de lit ou sont toujours plus ou moins actifs et il est important pour les archéologues de bien connaître l'histoire du réseau hydrographique pour reconstituer le contexte d'occupation des sites. On gardera donc en tête que les couvertures sédimentaires de la Seine à certaines périodes ont permis la conservation d'occupations nombreuses dans le Bassin parisien mais d'autres phases sédimentaires, comme les incisions du début du Bølling et de l'Holocène ont contribué à en détruire d'autres.

Dans le contexte archéologique qui nous intéresse, c'est probablement la proximité entre les occupations et les cours d'eau, qui a facilité la préservation des vestiges des campements magdaléniens dans la région. Encore en place, des foyers (Étiolles, Pincevent, Marolles-sur-Seine), des zones de boucherie voire des ateliers de peausserie (niveau IV40 de Pincevent) sont recouverts - rapidement après le passage des humains - par des limons de débordement de la Seine ou de ses affluents (Ru des Hauldres à Étiolles par exemple). De façon plus indirecte, les archéozoologues pensent que les chasseurs du Paléolithique supérieur avaient une connaissance assez approfondie des cours d'eau et du débit de l'eau selon les saisons afin de les traverser à gué ou afin de piéger des gibiers en pleine migration (David, 1994 ; Julien et Karlin, 2007). Les reliefs du paysage hydrographique peuvent ainsi représenter des caractéristiques utilisées par les chasseurs-cueilleurs du Bassin parisien : ils seraient des marqueurs dans le territoire traversé et occupé par les sociétés humaines. Si c'est le cas, les hommes auraient pu emprunter des voies de nomadisme le long des cours d'eau pour se repérer dans leur environnement et leur mobilité aurait pu en dépendre.

Contexte climatique du Paléolithique supérieur

Dans le Bassin parisien, la période qui s'étend du Dernier Maximum Glaciaire au Tardiglaciaire, correspond dans la chronologie archéologique culturelle à la fin du Paléolithique supérieur. La fin de la dernière glaciation, le Würm IV (35 000-10 000 BP [36 500-11 500 calBP]), est marquée par l'épisode climatique du Dernier Maximum Glaciaire (DMG : 20 000-15 000 ans BP [21 500 -16 500 calBC], figure 4), au cours duquel le volume de glace atteint son maximum et les températures terrestres sont les plus basses (Prud'homme *et al.*, 2016). En effet, la calotte glaciaire est très étendue et l'Inlandsis est épais de 1 500 à 1800 mètres. Il recouvre notamment tout le nord de la Grande-Bretagne. De plus, le niveau de la mer atteint son minimum car une fraction importante de l'eau atmosphérique est retenue sous forme de glace (niveau inférieur à 125 mètres par rapport au niveau actuel). Dans le nord de la France on

peut visualiser la Manche exondée et la côte Atlantique située à plusieurs dizaines de kilomètres à l'ouest.

Les changements climatiques qui suivent le DMG sont souvent regroupés au sein d'une période que l'on nomme le Tardiglaciaire (15 000 et 10 000 BP [16 500 – 11 500 calBP]). On y observe notamment une variation des régimes fluviaux dans le Nord de l'Europe (Pastre *et al.*, 2000). Des analyses palynologiques locales ou régionales ont permis aux chercheurs d'identifier cinq chronozones pendant cette période (Mangerud *et al.*, 1974 ; Mangerud et Berglung, 1978 ; Leroyer, 1997, 1999 ; Cubizolle, 2009 ; figure 4). Le terme « chronozone » vient de la contraction entre les mots chronologie et biozone. Il s'agit d'une subdivision chronologique utilisée pour marquer des unités biostratigraphiques appelées biozones, dans le temps. La première chronozone qui marque le début du Tardiglaciaire est une phase de froid caractérisée dans les sédiments par la présence d'une flore arctique : *Dryas octopetala*. Elle a donné son nom à toutes les phases froides du Tardiglaciaire : Dryas I, Dryas II et Dryas III. S'alternent entre ces phases des interstades de réchauffement : le Bølling et l'Allerød. Ces phases de réchauffement et de déglaciation ont été caractérisé par des restes végétaux identifiés sur des sites Danois qui ont donné leurs noms aux interstades puis aux chronozones à l'échelle de l'Europe (Hartz et Mithers, 1901 ; Iversen, 1954).

Aujourd'hui, certains auteurs remettent en question l'utilisation de ces dénominations des chronozones et considèrent désormais que l'on doit utiliser des synonymes pour décrire ces périodes à l'échelle de référentiels mondiaux : évènements Dansgaard-Oeschger (*D-O event* en anglais) ou Interstades (*Greenland Interstadial I* par exemple). Pour comprendre ce que sont ces différents évènements climatiques, il est important de savoir ce qu'ils identifient et l'origine des enregistrements qui ont donné lieu à cette remise en question. Les évènements Dansgaard-Oeschger sont en fait une des trois phases qui caractérisent les cycles de Dansgaard-Oeschger. Ces cycles, ont été identifiés par le calcul du taux isotopique de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) dans les carottes glaciaires (Dansgaard *et al.*, 1984 ; 1993 ; voir figure 5) et se découpent selon ces 3 phases : une première phase de rapides réchauffements (en quelques décennies ; *D-O event*) avec une augmentation des températures jusqu'à parfois 15°C en comparaison avec les valeurs glaciaires, suivies de deux phases graduelles de refroidissement durant plusieurs siècles (GI - *Greenland Interstadial* - puis GS - *Greenland Stadial*).

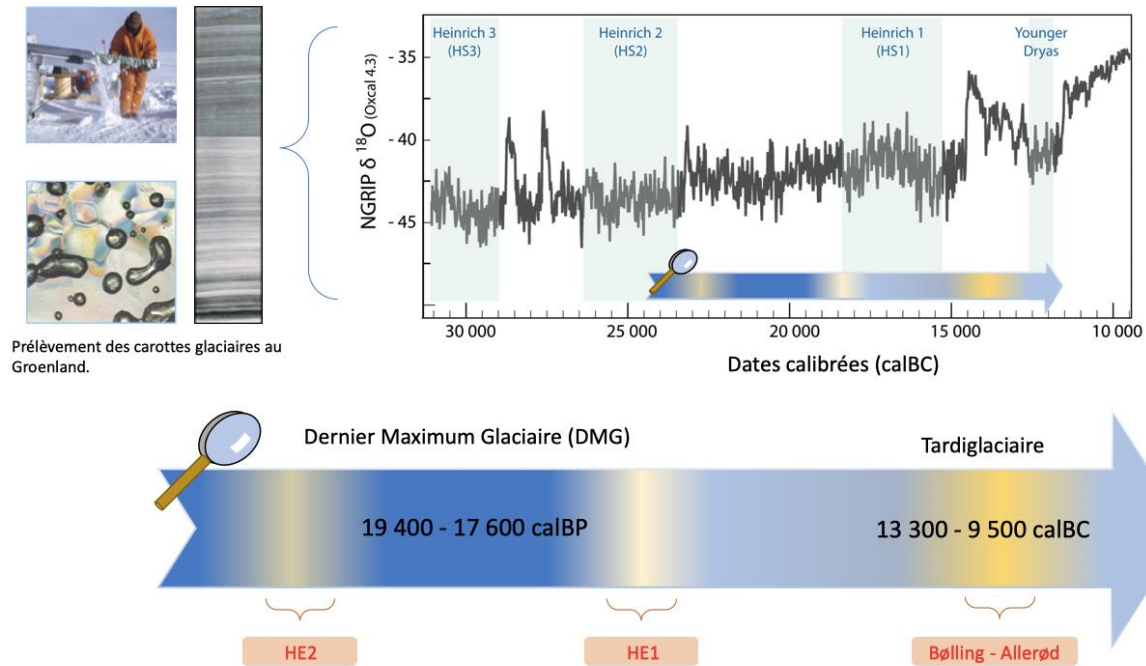


Figure 5 : Contexte chrono-climatique du Dernier Maximum Glaciaire au Tardiglaciaire (courbe NGRIP $\delta^{18}\text{O}$ d'après le logiciel de calibration Oxcal version 4.3), d'après Bignon-Lau *et al.* 2019.

En parallèle, une autre source a permis d'identifier d'autres événements climatiques les Évènements Heinrich (*Heinrich Events*, *H-E* en anglais, voir figure 5). Les *HE* sont caractérisés par la décharge importante d'icebergs dans les océans. Repérés dans les carottes océaniques (Heinrich, 1988), l'auteur, qui a donné son nom à ces événements, explique ces phénomènes par l'association de l'accumulation de débris détritiques continentaux (*Ice-Rafted Detritus* – IRD) et de la présence massive de foraminifère planctoniques (*Neogloboquadrina pachyderma*) caractéristique des eaux polaires.

Plusieurs mécanismes permettraient d'expliquer l'origine de ces phénomènes climatiques qui pourraient probablement être liés entre eux :

- Variation de la circulation thermohaline ;
- Variation de circulation des flux atmosphériques ;
- Variation de l'épaisseur de la couverture marine de glace (identification d'IRD, voir ci-dessus).

Par souci d'homogénéité dans nos propos, vis-à-vis des travaux des archéologues, et du fait que ceux-ci se sont souvent basés sur des repères chronostratigraphiques communs, nous

garderons le découpage initial des chronozones pour présenter les sites archéologiques sur lesquels nous avons travaillé. Et, nous reviendrons aux référentiels internationaux (carottes glaciaires et marines) pour évoquer nos résultats sur les données isotopiques. Nous tenterons de lier ces différents événements climatiques aux faits archéologiques et éthologiques que nous tentons d'explorer dans nos travaux.

Pendant le Paléolithique supérieur, de nombreux sites préhistoriques attestent de l'occupation du Bassin parisien par les humains pendant les périodes les plus froides (Bignon-Lau, 2014). La région étant une zone sensible aux fluctuations climatiques d'un point de vue géologique et hydrographique, l'analyse des processus de formation des couches géologiques permet de mettre en évidence ces fortes variations climatiques évoquées ci-dessus (figure 5). L'observation des sédiments lœssiques du DMG et des sédiments limono-sableux du Bølling (cf. évocation des limons de débordement précédemment) sur certains sites archéologiques s'avère très utile concernant la reconstitution du paléoclimat (Orliac, 1994 ; Ollivier, Chaussé, 2012 ; Roblin-Jouve *et al.*, 2012). En effet, l'observation des apports grossiers naturels et anthropiques, des processus d'érosion, de bioturbation ainsi que la répartition topographique et stratigraphique des vestiges, renseignent sur le climat.

Si le relief a été impacté par les variations climatiques, il est clair que l'environnement l'a été aussi. On cherche ici à comprendre l'impact que ces variations ont pu avoir à l'échelle régionale sur la faune et la flore du Bassin parisien :

Observation des sédiments lœssiques : climat et refuges septentrionaux au Dernier Maximum Glaciaire

Au cours du DMG, les régions d'Europe septentrionale ont été soumises à des vents violents et ont longtemps été jugées, par certains chercheurs, comme étant inhospitalières à toute forme de vie tant pour les herbivores que leurs prédateurs, humains compris (Antoine *et al.*, 2003). Et pourtant des études paléo-écologiques (Stewart, Cooper, 2008) et phylogéographiques (Provan, Bennett, 2008) envisagent l'existence de refuges cryptiques septentrionaux (*cryptic northern refugia*) au Nord de l'Europe (Stewart, Lister, 2001) en plus des trois refuges méridionaux (*southern refugia*) déjà identifiées dans le Sud de l'Europe (l'Italie, la péninsule Ibérique, les Balkans). Ces refuges auraient permis le développement de niches écologiques pour les communautés animales et végétales lors de grands refroidissements. Ces refuges septentrionaux permettraient ainsi d'expliquer la présence et la survie des humains au-delà de 45° de latitude

dans le Nord de l'Europe au DMG - cf. Renancourt (Amiens), Le Colombier (Chézy-sur-Marne ; Bignon-Lau, 2014).

Une autre découverte permet d'expliquer la présence du vivant dans des zones reculées de grand froid grâce à l'observation des lœss accumulés pendant le DMG. Certains auteurs ont mis en évidence des traces sédimentaires : les gleys de toundra. Elles témoigneraient d'épisodes d'améliorations climatiques au DMG (Antoine *et al.*, 2009 ; Moine *et al.*, 2011 ; Prud'homme *et al.*, 2015 ; Bignon-Lau, 2019). La dénomination « gley de toundra » désigne des horizons hydromorphes, résultant de la saturation en eau de la couche active d'un pergélisol riche en glace au cours de périodes d'un dégel estival. La composition chimique de ces sédiments se distingue par la teinte grisâtre à verdâtre due à la réduction du fer dans le sédiment. D'autres indices permettent d'indiquer la présence d'une couverture végétale moindre mais possible :

- On notera la présence de bandes irrégulières et de taches de couleur rouille résultant de processus d'oxydation localisés au niveau de traces de racines et de bioturbations diverses (tubules à auréoles oxydées de quelques millimètres de diamètre).
- On note aussi un léger enrichissement en carbone organique dû à un enracinement plus dense, une activité biologique plus intense et un léger enrichissement en argile (+ 4 à 6 %) par rapport aux lœss encaissants (Antoine *et al.*, 2009).
- Enfin, une faible décalcification peut redistribuer une partie des carbonates à la base de l'horizon sous la forme de petites concrétions calcaires (poupées du lœss) (Antoine *et al.*, 2001).

De grandes fentes en coin de type « *ice-wedge* », sont systématiquement associées aux horizons de gleys de toundra (Antoine, 1990). Les alternances lœss-gley peuvent être très semblables entre les différents profils d'une même région, comme dans la vallée du Rhin ou dans le nord de la France (Antoine, 1990). Les niveaux de lœss et les gleys de toundra ont alors les mêmes positions stratigraphiques et parfois des épaisseurs et des signatures sédimentaires très similaires. Cette homogénéité permet la mise en évidence de signatures stratigraphiques de changements climatiques d'envergure continentale, malgré les différences entre séquences (variabilité de la puissance des dépôts lœssiques du Pléniglaciaire supérieur et dans le nombre et l'aspect des gleys ; Antoine, 1990 ; Antoine *et al.*, 2009). Ces variations peuvent résulter du « taux de sédimentation en liaison avec les conditions géomorphologiques locales et la distances aux sources et/ou de phases d'érosion conduisant à la présence de hiatus » (Moine *et al.*, 2011, figure 7). Aujourd'hui,

l'interprétation paléoenvironnementale des alternances lœss-gleys a progressé avec le développement, depuis les vingt dernières années, d'analyses granulométriques (Antoine *et al.*, 2001 ; Rousseau *et al.*, 2002, 2007 ; Antoine *et al.*, 2009), malacologiques (Moine *et al.*, 2008) et isotopiques (Hatté *et al.*, 1999, 2001). Les chercheurs proposent un modèle qui montre des corrélations entre les alternances lœss-gleys les plus marquées et les variations climatiques cycliques millénaires de la dernière glaciation (cycles de Dansgaard-Oeschger).

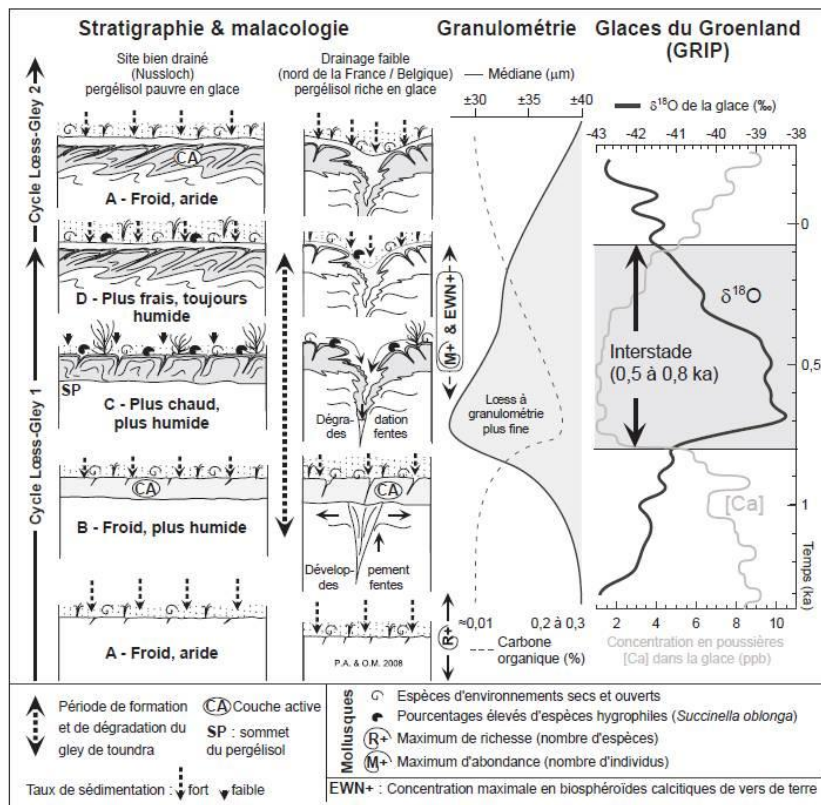


Figure 6 : Modèle conceptuel reliant les alternances lœss-gley et l'évolution pédologique, aux changements de composition de la malacofaune, et aux variations millénaires de type stade-interstade des indicateurs du climat global des glaces du Groenland (Moine et al., 2011).

D'après l'observation des sédiments, on a pu préciser les variations climatiques à l'échelle du DMG et on peut imaginer que lors de certaines phases de dégel, la structure du pergélisol permet à du couvert végétal de regagner du territoire jusqu'à la prochaine phase de gel. On peut imaginer alors la recolonisation des sols par les végétaux à partir des zones refuges, végétaux suivis ensuite par les herbivores et leurs prédateurs humains le temps d'épisodes d'amélioration climatique.

Observation des sédiments limono-sableux : climat et hydrographie du Bassin parisien au Tardiglaciaire

Dans le Bassin parisien, qui présente des stratigraphies de fond de vallées très riches, « la phase de transition du maximum glaciaire au réchauffement décisif du Bølling » restait « relativement mal connue » d'après Jean-François Pastre dans les années 2000 (Pastre *et al.*, 2000). Cependant, cet auteur affirme que des lits de limons et de sables se déposent dans les plaines, lors de la transition du Pléniglaciaire au Dryas I (Young Dryas, env. 15 000- 13 000 BP ; Pastre *et al.*, 2000). L'hydrographie du Bassin parisien est mieux connue au Tardiglaciaire. Les grands traits de l'évolution morpho-sédimentaire des vallées nous donnent un bon aperçu de l'histoire géologique et hydrographique de la région. Les sites de fond de vallée du Bassin parisien sont, pour la plupart interstratifiés dans des dépôts de débordement (sables, mais surtout limons) mis en place durant le Bølling (Pastre *et al.*, 2000). Les chasseurs paléolithiques se sont installés sur des zones soumises à des débordements saisonniers et situées plus ou moins à l'écart du chenal principal, les limons de débordement ayant recouvert après chaque passage les vestiges mis au jour par les archéologues. C'est le cas des sites magdaléniens d'Étiolles et de Pincevent notamment.

I.2.2. Le Bassin parisien : un territoire occupé par différents acteurs à la fin du Paléolithique

La région du Bassin parisien nous intéresse d'autant plus que les préhistoriques ont laissé des traces de leurs activités sur de nombreux sites mis au jour par les archéologues. Depuis les soixante dernières années, l'étude de ces vestiges apporte des informations sur les implantations humaines dans un territoire et sur l'environnement fréquenté par d'autres organismes vivants (animaux, végétaux). Ces informations permettent de définir le cadre de développement des différentes cultures préhistoriques. Comme nous l'avons déjà brièvement évoqué (Chapitre 1, Partie I) : ce cadre peut s'apparenter, à un réseau de liens entre les chasseurs-cueilleurs, leurs proies et l'environnement. Voici les données archéologiques sur lesquelles nos réflexions et nos analyses se basent pour apporter de nouvelles informations sur les relations chasseurs-proies dans le Bassin parisien entre le DMG et le Tardiglaciaire.

Les implantations humaines pour observer l'organisation spatiale et économique des sociétés du Paléolithique supérieur

Dans le nord de la France, plusieurs occupations humaines attestent des conditions de vie des humains et de leurs gibiers au DMG puis au Tardiglaciaire. À ce jour, on identifie un bon nombre de cultures matérielles au Paléolithique supérieur dans la région septentrionale non recouverte par l'inlandsis : l'Aurignacien, le Châtelperronien, le Gravettien, le Solutréen, le Badegoulien ou encore le Magdalénien. Après avoir rappelé dans quel contexte d'étude nous développons nos recherches, nous présenterons brièvement les différentes cultures qui nous intéressent pour répondre à nos questionnements.

La préhistoire du Bassin parisien, contexte historique de la mise en place des méthodes archéologiques actuelles

« Pour André Leroi-Gourhan, les « surfaces pelliculaires sur lesquelles les hommes ont marché » sont un des outils de la compréhension des habitats. L'approche attentive des relations entre les objets et leur répartition dans le sol est l'une des clefs de la compréhension des sites fossilisés, qui a des conséquences sur la pratique de la fouille en général »

(Guide des méthodes de l'archéologie, Demoule (dir.) p. 36.

L'archéologie préhistorique du Bassin parisien se développe dans les années 1950 avec la découverte des grottes d'Arcy-sur-Cure puis dans les années 1960 avec la mise au jour de l'Habitation n°1 de Pincevent. Ces deux gisements offrent l'opportunité à André Leroi-Gourhan et son équipe de développer une nouvelle façon de fouiller et d'interpréter les espaces mis au jour sur un gisement (Leroi-Gourhan et Brézillon, 1983). Il propose ainsi une grille de traitement et d'observation des zones fouillées, mètre carré par mètre carré (fouille planimétrique en carroyage). Un enregistrement systématique des vestiges sur un plan lui permet ainsi d'aborder des problématiques sur l'humain, la technique et la matière à l'échelle d'une occupation archéologique. C'est à Pincevent surtout que ces problématiques émergent car il s'agit d'un site de plein air où les vestiges abandonnés sont restés en place et ne semblent pas présenter les mêmes types de contextes géomorphologiques qu'en grotte. Les méthodes d'interprétation des activités et l'étude de répartition des vestiges dans l'espace sont modernes. En analysant les structures évidentes ou latentes (à partir de plans de répartition notamment),

la fouille planimétrique s'intéresse ainsi à la spatialisation des activités, qui se sont déroulées sur le site des dizaines de milliers d'années auparavant. L'analyse peut se faire à différentes échelles, à celles de :

- la structure : ensemble cohérent de vestiges/témoins ;
- l'unité d'occupation : ensemble de structures fonctionnant ensemble ;
- l'habitat ou campement : ensemble d'unités d'occupations contemporaines.

Cette méthode de fouille, souvent appliquée sur les sites paléolithiques de plein air (fouilles programmées surtout), a permis la mise en évidence de nombreuses occupations du territoire par les humains dans le nord de l'Europe, ainsi que celle de réseaux intrasites avec l'identification de flux et d'échanges de matières et d'outils utilisés sur différentes unités d'occupation par exemple. Les plans de remontages sont de vrais réseaux mis en évidence au sein d'un campement.

Le cadre chrono-culturel de l'étude : Le paléolithique supérieur du Solutréen au Magdalénien dans le Bassin parisien

À ce jour, dans le Bassin parisien, les plus anciens gisements paléolithiques remontent au moustérien identifié sur le site des Bossats (Ormesson). Différentes cultures se sont ensuite succédées. Les industries lithiques qui en proviennent semblent toutes avoir été initiées par *Homo sapiens*. Le contexte culturel du Paléolithique supérieur dans le Bassin parisien étant assez vaste, nous nous intéressons, ici, à la période climatique qui s'étend du DMG au Tardiglaciaire. Trois cultures sont à considérer dans ce contexte climatique : le solutréen, le badegoulien (longtemps dénommé magdalénien ancien) et le magdalénien récent.

Jusqu'au milieu des années 2000, à part sur la culture magdalénienne, peu d'indices d'occupations sont recensés dans le Bassin parisien pour identifier ces cultures. On retrouve quelques indices sur le solutréen à St-Sulpice-de-Favières (Sacchi *et al.*, 1996) ou encore sur le badegoulien et le magdalénien ancien à l'abri Fritsch (Schmider, 1971 ; Trotignon *et al.*, 1984 ; Bodu *et al.*, 2007 ; Mevel, 2013). Depuis, la documentation s'est enrichie sur divers fronts géographiques et chronologiques avec la découverte des cultures suivantes :

- Solutréen à Ormesson-Les-Bossats (Bodu *et al.*, 2014 ; Bodu *et al.*, 2019) et à la Grotte Rochefort (Hinguant *et al.*, 2020).
- Badegoulien à Oisy (Bodu *et al.*, 2007) et à Chézy-sur-Marne sur le site du Vieux Colombier (Montoya dir., 2014 ; Montoya *et al.*, 2019). Pour ce dernier site, l'attribution culturelle est toujours discutée.
- Badegoulien/Magdalénien ancien à La Croix-de-Bagneux (Angevin *et al.*, 2019).

A noter que certains faciès, comme à Louviers ou Chézy-sur-Marne sont encore discutés car les avis des chercheurs en industrie lithique divergent. Certains hésitent entre le Badegoulien et le Magdalénien ancien ; d'autres tranchent plutôt pour l'une d'entre elles. Autre remarque qui concerne notre contexte d'étude plus directement : à l'Abri Fritsch, certains vestiges liés à l'industrie lithique (tels que les lamelles à dos) n'ont pas été retrouvés. Est-ce un biais archéologique lié à des fouilles anciennes (durant lesquelles les méthodes de fouille planimétriques n'en étaient encore qu'à leurs balbutiements) ou un simple fait archéologique ? Le fait est que les mécanismes qui sont à l'origine d'une transition entre les deux cultures matérielles que sont le Badegoulien et le Magdalénien ne sont pas bien connus.

D'anciennes et récentes datations sur les sites de la région permettent de délimiter le développement des cultures chronologiquement. Le tableau suivant recense les datations anciennes et récentes effectuées sur les sites que nous avons étudiés de près ou de loin dans le cadre de nos travaux (tableau 1).

Les gisements de notre corpus (présentés en Partie I, chapitre 1) témoignent de trois complexes techno-culturels qui ont été datés. Ils correspondent chacun à une certaine façon d'exploiter les ressources minérales et osseuses chez les chasseurs-cueilleurs nomades du Paléolithique supérieur. Par exemple, les techniques de taille et les formes des outils en pierre changent d'une culture à l'autre. Nous allons vous présenter dans les prochains paragraphes cette diversité culturelle qu'offre la préhistoire du Bassin parisien à la fin du Paléolithique.

Le solutréen du Bassin parisien

La culture solutréenne hérite du nom du site éponyme français (Roche de Solutré, Saône-et-Loire). Datée entre 22 000 et 17 000 BP [23 500-18 500 calBP] dans le Bassin parisien, la période correspond au stade isotopique 2 (SI2) au Pléniglaciaire supérieur en Europe occidentale. La localisation de nombreux sites solutréens dans la moitié sud de la France (Laugerie-Haute, Fourneau du Diable - Dordogne ; Roc en Sers - Charente ; Ardèche ; Gard ; Pyrénées...), en Espagne (Cueva de Ambrosio) et au Portugal laisse à penser que les populations ont recherché des régions au climat plus clément pour fuir le froid sec de la dernière glaciation.

Tableau 1 : Tableau des datations par sites du corpus.

Période	Site	Niveau/couche	14C date (*AMS)	Matériel	Lab. No	Référence bibliographique
Solutréen	Les Bossats Ormesson	niveau solutréen	19580 ± 110	nd	Ly-12620/SacA44273	Com. pers. P. Bodu
Solutréen	Grotte Rochefort	-	15 220 ± 60	Os	GrA-38260	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	18 395 ± 90	Os	GrA-1438	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	19 025 ± 120	Os	GrA-38337	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	19 190 ± 110	Os	GrA-38323	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	19 500 ± 70	Os	GrA-38157	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	19 600 ± 80	Os	GrA-38159	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	19 490 ± 90	Os	GrA-34087	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	19 320 ± 90	Os	GrA-34092	Huinguant, Biard (2013)
Solutréen	Grotte Rochefort	-	19 590 ± 90	Os	GrA-34079	Huinguant, Biard (2013)
Badegoulien	Le Mont-Saint-Aubin	3	17 810 ± 110*	Os	Ly 6398	Debout et al., (2012), p.179
Badegoulien	Le Mont-Saint-Aubin	3	17820 ± 120 *	Os	Ly 4622	Debout et al., (2012), p.179
Badegoulien	Le Mont-Saint-Aubin	4	18 050 ± 120 *	Os	Ly 6399	Debout et al., (2012), p.179
Badegoulien	Abri Fritsch	3 (phase sup.)	17 130 ± 550	Os	Ly 1121	Trotignon et al. (1984) p.96
Badegoulien	Abri Fritsch	4 (phase sup.)	16 530 ± 350	Os	Ly 1121	Trotignon et al. (1984) p.96
Badegoulien	Abri Fritsch	5b (phase inf.)	17 280 ± 350	Os	Ly 1121	Trotignon et al. (1984) p.96
Badegoulien	Abri Fritsch	6 (phase inf.)	17 960 ± 350	Os	Ly 1121	Trotignon et al. (1984) p.96
Solutréen	Abri Fritsch	8d	19 180 ± 230	Os	Gron-5499	Trotignon et al. (1984) p.96
Badegoulien	Abri Fritsch	LR 7N1 C2	17430 ± 105	Os (Rt)	GifA21604	Bignon-Lau (2022) p.74
Badegoulien	Abri Fritsch	LR69 7N3 9 C2	17735 ± 110	Os (Bos ?)	GifA21605	Bignon-Lau (2022) p.74
Badegoulien	Abri Fritsch	LR69 7N2 C2	18300 ± 115	Os (Eq)	GifA21606	Bignon-Lau (2022) p.74
Badegoulien	Abri Fritsch	LR69 3N1 15 C3	18420 ± 220	Os (Eq)	GifA21607	Bignon-Lau (2022) p.74
Badegoulien	Abri Fritsch	LR70 7N1 11 C3	18160 ± 115	Os (Rt)	GifA21608	Bignon-Lau (2022) p.74
Badegoulien	Abri Fritsch	LR71 1N2 212 C4	18135 ± 115	Os (Eq)	GifA21609	Bignon-Lau (2022) p.74
Badegoulien	Abri Fritsch	LR71 3N1 21 C4	18870 ± 70	Os (Rt)	GifA21360	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Badegoulien	Abri Fritsch	LR73 2S1 C5b	18990 ± 125	Os (Eq)	GifA21610	Bignon-Lau (2022) p.74
Badegoulien	Abri Fritsch	LR73 1N2 77 C5b	18390 ± 70	Os (Rt)	GifA21358.1.2	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Badegoulien	Abri Fritsch	LR74 1N1 95 C5d	18870 ± 80	Os (Eq)	GifA21361	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Badegoulien	Abri Fritsch	LR? - - C6	20760 ± 80	Os (Rt)	GifA21355	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Badegoulien	Abri Fritsch	LR? - - C6	19170 ± 80	Os (Rt)	GifA21356	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Badegoulien	Abri Fritsch	LR74 3N2 30 C6	19220 ± 70	Os (Eq)	GifA21363	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Solutréen	Abri Fritsch	LR? 3N3 "252" C8	19940 ± 80	Os (Eq)	GifA21353	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Solutréen	Abri Fritsch	LR? 3N1 "115" C8b	19620 ± 70	Os (Rt)	GifA21362	Bignon-Lau et Catz (2021) p.63
Badegoulien	Le Colombier	-	17010 ± 60*	Charbon	Beta 288449	Montoya (2014) p.26
Badegoulien	Le Colombier	-	17200 ± 60*	Os	Beta 288447	Montoya (2014) p.27
Badegoulien	Le Colombier	-	17250 ± 70*	Os	Beta 326596	Montoya (2014) p.28
Badegoulien	Le Colombier	-	18030 ± 70	Os	Beta 326594	Montoya (2014) p.29
Badegoulien	Le Colombier	-	18150 ± 70	Charbon	Beta 288448	Montoya (2014) p.30
Badegoulien	Le Colombier	-	18570 ± 120	Os	Ly 8977	Montoya (2014) p.31
Badegoulien	Le Colombier	-	18680 ± 150	Dent	Ly 5377	Montoya (2014) p.32
Badegoulien	Le Colombier	-	18660 ± 140	Dent	Ly 6378	Montoya (2014) p.33
Badegoulien	Le Colombier	-	19320 ± 110	Dent	Ly 8976	Montoya (2014) p.34
Magdalénien	Les Coudrays	Q-R5	12 000±220	Os	Ly 1351	Valladas (1994) p. 66
Magdalénien	Les Coudrays	N20	12 900 ± 300*	Os	OxA 138	Valladas (1994) p. 67
Magdalénien	Les Coudrays	N20	13 000 ± 300*	Os	OxA 139	Valladas (1994) p. 68
Magdalénien	Les Coudrays	N20	12 800 ± 220*	Os	OxA 173	Valladas (1994) p. 69
Magdalénien	Les Coudrays	N20	12 900 ± 220*	Os	OxA 175	Valladas (1994) p. 70
Magdalénien	Les Coudrays	A17	12 250 ± 100*	Os	OxA 5995	Olive (2004), p. 801
Magdalénien	Les Coudrays	D71	12 315 ± 75*	Os	OxA 8757	Olive (2004), p. 801
Magdalénien	Les Coudrays	Q31	12 315 ± 55*	Os	OxA 12019	Olive (2004), p. 801
Magdalénien	Le Tureau des Gardes	TDG6	12 290 ± 90*	Os	Ly 6988	Bridault et al. (1997), p. 123
Magdalénien	Pincevent	IV20	12 120 ± 130	Charbon	Gif 6283	Valladas (1994), p. 66
Magdalénien	Pincevent	IV20	12 600 ± 200*	Os	OxA 148	Valladas (1994), p. 66
Magdalénien	Pincevent	IV20	12 250 ± 160*	Charbon	OxA 467	Valladas (1994), p. 66
Magdalénien	Pincevent	IV20	12 450 ± 45*	Charbon	ETH 37119	Bodu et al. (2009), p. 93
Magdalénien	Pincevent	IV0	12 460 ± 70	Tooth	Lyon-9397	Orliac et al. (2013), p. 77
Magdalénien	Pincevent	IV0	12 440 ± 60	Bone	Lyon-9397	Orliac et al. (2013), p. 77
Magdalénien	Pincevent	IV0	12 580 ± 60	Tooth	Lyon-9397	Orliac et al. (2013), p. 77
Magdalénien	Pincevent	IV213	12 400 ± 200*	Os	OxA 149	Valladas (1994), p. 66
Magdalénien	Pincevent	IV213	12 000 ± 220*	Os	OxA 176	Valladas (1994), p. 66
Magdalénien	Pincevent	IV213	12 300 ± 220*	Os	OxA 177	Valladas (1994), p. 66

Mais le Bassin parisien compte quelques sites et découvertes ponctuelles de la culture solutréenne :

- Les traces d'occupation du Solutrén les plus anciennes (parfois caractérisé comme étant du Proto Solutrén proviennent de sites comme Arcy-sur-Cure ou Celle-Saint-Cyr dans l'Yonne (Renard, 2002 ; Bodu et Renard, 2013 ; Bignon-Lau *et al.* 2019).
- Le Solutrén Moyen et plus succinctement le Solutrén Récent ont été identifiés à sur le site Des Maîtres dans la Vallée de la Claise, Aubry *et al.*, 1998 ; Aubry *et al.*, 2007), sur le site des Bossats (Sacchi *et al.*, 1996 ; Bodu 2014 ; 2019 ; Bodu *et al.*, 2016), à la Grotte Rochefort en Mayenne, Colleter et Hinguant, 2020) et dans les niveaux 7 à 10 de l'Abri Fritsch (Indre ; Allain, 1976 ; 1978 ; Trotignon *et al.*, 1984)

Cette culture se distingue par la qualité technique des productions lithiques. Les outils taillés témoignent d'un raffinement dans les retouches pour obtenir des lames à la fois efficaces et esthétiques. Les fameuses « feuilles de laurier » et « feuilles de saule » sont retouchées par pression à l'aide d'outils en matières dures animales ou végétales (bois). Ces pointes foliacées sont « l'emblème » de cette culture mais d'autres outils plus classiques rejoignent le répertoire technique des solutréens : grattoirs, burins, lamelles (Aubry *et al.*, 1998 ; 2007 ; Chehmana, 2013).

On ne peut pas évoquer la culture solutréenne sans évoquer les autres matériaux qui ont été travaillés par les solutréens, il s'agit des matières dures animales. Le propulseur fait son apparition dans quelques occupations solutréennes avant de se développer au Magdalénien (Cattelain, 1994 ; Fontana, 2018). Cette innovation cynégétique composée d'une hampe munie d'un crochet permet de démultiplier la force de lancement d'une sagaie et de réduire la distance de fuite du gibier lors de la chasse (Rozoy, 1992). D'autres outils comme l'aiguille à chas sont des innovations techniques pour les solutréens (Allain et Fritsch, 1967 ; Pétilion et Averbouh, 2013).

On retrouve aussi la culture solutréenne dans les manifestations « artistiques » au Roc de Sers (Charente ; Tymula, 1999 ; 2003) et au Fourneau du Diable (Dordogne, Capitan et Peyrony, 1925), les archéologues et historiens de l'art, mettent en évidence des peintures, dessins et gravures de bisons, de chevaux, de bouquetins et d'humains. Dans les marges du Bassin parisien, on retrouve des plaquettes gravées à la Grotte Rochefort (Hinguant *et al.*,

2012). Cette richesse « artistique » semble se perdre par la suite chez les groupes humains badegouliens qui occupent pourtant les mêmes types de sites.

Le badegoulien du Bassin parisien

Autrefois dénommé « Magdalénien ancien » et redaté récemment entre 23,6 et 20,7 cal ka BP (Ducasse, Chauvière et Pétillon, 2020 ; tableau 1), le Badegoulien succède au Solutréen. En effet, les vestiges de cette culture badegoulienne ont été intégrés au registre des outils et techniques de fabrication proto-magdalénienne (Cheynier, 1930 ; Cretin, 2007 ; Ducasse, 2010) voire du magdalénien ancien ou inférieur (Breuil, 1913 ; Bordes, 1958). C'est le site de Badegoule (Dordogne) qui prête son nom à la culture caractérisée par Raymond Delarue et Edmond Vignard en 1963. L'industrie lithique souvent qualifiée de « grossière » ou « archaïque » présente des outils sur éclats (Cretin et Le Licon, 1997) : « les outils de fortune, perçoirs, coches, burins, sur éclats quelconques sont abondants » (Breuil, 1913, p.201). Au début du XXème siècle, les travaux de Denis Peyrony à Badegoule (Dordogne ; Peyrony, 1908) puis aux Jamblancs apportent de nouvelles données sur l'industrie lithique badegoulienne. C'est en 1930, que André Cheynier définit l'outillage lithique caractéristique du badegoulien (Cheynier, 1930) : la « raclette ». Ces outils définis par Denis Peyrony comme étant des « éclats minces (...) avec retouches abruptes sur tout le pourtour ou seulement une partie » se retrouvent dans la plupart des sites de la région (Peyrony, 1912, p.525). Les vestiges lithiques ont posé et posent encore des questions concernant les objectifs de taille et les techniques utilisées et développées par les Badegouliens. Cependant quelques études morphométriques et tracéologiques (usure, usage) permettent d'émettre l'hypothèse de l'utilisation des raclettes emmanchées pour racler l'os ou le bois de renne (Capitan et Breuil, 1902 ; Trotignon, 1984 ; Cretin et Le Licon, 1997 ; Bodu *et al.*, 2007, Bodu *et al.*, 2012). Pour compléter la panoplie d'outils du Badegoulien, s'y ajoutent le racloir, le grattoir, le perçoir, le burin, les armatures ou encore les pièces esquillées (Bodu *et al.*, 2012 ; Ducasse, Chauvière et Pétillon, 2020).

Concernant l'exploitation d'autres matières premières par les Badegouliens, c'est en 1967, que le docteur Allain et René Fritsch identifient et présentent une nouvelle technique de débitage des bois de rennes dans les niveaux badegouliens de l'abri Fritsch (Allain et Fritsch, 1967, 1974). Ces séries permettent en effet de mettre en évidence un débitage du bois de renne par percussion directe (Allain *et al.*, 1974 ; Rigaud, 2004 ; Ducasse, Chauvière et Pétillon, 2020). On notera aussi la présence de parure sur les occupations badegouliennes du Bassin parisien. L'utilisation des coquillages fossiles pour la parure durant le DMG est connue pour cette période à Oisy (Nièvre ; Bodu *et al.*, 2005 ; Peschaux, 2007) à l'abri Fritsch (Indre ;

Taborin, 1993 ; Peschaux 2008), au Colombier (Chézy-sur-Marne, Picardie ; Montoya *et al.*, 2011). D'après C. Peschaux, cette dernière collection « a l'intérêt de se situer le plus au nord, dans la région d'approvisionnement des coquillages, contrairement aux autres sites situés plus en marge du Bassin Parisien. » (Peschaux, 2011, p.43). Les différentes collections de parures évoquées ci-dessus partagent quelques critères similaires : l'assemblage d'espèces de coquillages fossiles du Bassin parisien, de nombreux fragments de bivalves (Peschaux, 2008). De plus, à Oisy et à l'abri Fritsch, « les perforations des gastéropodes ont aussi été réalisées avec les techniques de percussion » (Peschaux, 2011 ; 2017 ; Peschaux et Ligouis, 2021). D'où l'intérêt d'étudier différents matériaux travaillés par les préhistoriques pour différencier le badegoulien d'une autre culture du DMG.

Comme on vient de le constater, si les lithiciens confrontent les interprétations au niveau des techniques de taille du silex et des chaînes opératoires, sur les sites Badegouliens du Bassin parisien, on retrouve des choix similaires dans différents domaines tels que la parure en coquillage ou le débitage de bois de rennes. De plus, les études archéozoologiques soulignent une complémentarité renne-cheval dans les spectres fauniques (Trotignon, 1984 ; Bignon-Lau 2014 ; Bignon-Lau *et al.*, 2019). La présence de restes fauniques parmi les vestiges badegouliens est cependant peu attestée au DMG : les quelques sites qui en livrent, ont été fouillés anciennement ou bien ne livrent que peu de vestiges (Oisy, Abri Fritsch et Le Colombier).

Le magdalénien du Bassin parisien

La période la mieux connue à ce jour dans le Bassin parisien est le « Magdalénien supérieur » daté entre -13 000 et -11 500 BP [14- 11 ka cal BC] ; transition entre la fin Dryas I et le Bølling ; voir tableau 1 ; Debout *et al.*, 2012). Une cinquantaine d'occupations ont été mises au jour. La plus grande concentration se trouve au sud de Paris avec les fameux sites d'Étiolles et de Pincevent. On notera une expansion au nord et à l'ouest de la région avec les sites de Verberie, l'abri de Bonnières à Bonnières-sur-Seine ou très récemment le niveau mis au jour à Poissy sur le site dit Les Terrasses de Poncy).

D'après les données archéologiques, cette phase pourrait correspondre à une forte dispersion géographique des occupations, que l'on retrouve dans toute l'Europe. La préservation de sites de plein-air a permis la construction d'un modèle d'occupation territoriale. Dans le domaine technologique, on observe une grande maîtrise des matériaux et des techniques utilisés. En plus d'un débitage laminaire récurrent, on retrouve dans l'outillage lithique des

burins plus nombreux que les grattoirs, des burins dièdres prédominants et des lamelles à dos abondantes (Garanger *et al.*, 1992). La gestion économique des matières premières semble s'appuyer, comme potentiellement pour les cultures précédentes, sur une connaissance approfondie de l'environnement et notamment du gibier (Bignon, 2003 ; 2007).

À l'instar des choix cynégétiques au Badegoulien, le renne et le cheval restent les « deux proies préférentielles complémentaires des Magdaléniens du Bassin parisien » (Bignon, 2003 ; 2007, 2008 ; Bignon-Lau, 2014). Enfin, les études de provenance des matériaux et autres objets (coquilles, Taborin, 1994) viennent appuyer l'hypothèse d'une grande mobilité de ces groupes qui s'approprient leur territoire (aire d'extension large de la culture dans le Bassin parisien). Au Magdalénien, on retrouve les mêmes tendances « artistiques » que l'on a pu découvrir au Solutréen : autant dans les techniques (dessin, peinture, gravure), les supports (art pariétal, art mobilier) que dans les thèmes (faune quasi systématiquement).

Communautés animales & végétales du Dernier Maximum glaciaire au Tardiglaciaire : état des recherches sur les reconstitutions paléoenvironnementales dans le Bassin parisien.

Pour mieux comprendre les activités des chasseurs-cueilleurs et leurs habitudes (mobilité, implantation des sites...) nous tentons de reconstituer l'environnement qu'ils fréquentaient. Qu'en est-il donc des connaissances sur les paléoenvironnements pour les solutréens, badegouliens et magdaléniens du Bassin parisien entre le DMG et le Tardiglaciaire ? Sachant que les préhistoriques ont côtoyé de nombreuses espèces animales et végétales qui constituent les composantes de leur environnement, on tente ici de faire un bilan sur ces données, point de départ essentiel pour une reconstitution des territoires et de la mobilité des chasseurs-cueilleurs nomades du Paléolithique supérieur.

Communautés végétales du DMG au Tardiglaciaire

Les recherches en paléobotanique, palynologie, anthracologie et carpologie apportent de nombreuses informations sur le paysage végétal fréquenté par les préhistoriques. Certaines informations, concernant l'évolution du couvert végétal au DMG, proviennent indirectement des études archéozoologiques sur les sites du Bassin parisien. En effet, ces études attestent par exemple de l'existence conjointe du cheval et du renne tout au long du DMG. L'étude de l'occupation badegoulienne du site de Oisy (Nièvre) datée entre 17 810 et 18050 BP (Debout *et al.*, 2012 ; Bignon-Lau *et al.*, 2019), révèle des données sur le couvert végétal qui a pu maintenir ces populations de grands herbivores (Bignon, 2008). La présence d'herbivores, impliquant qu'ils se nourrissent localement malgré les périodes de grand froid du DMG, est un premier indice environnemental pour replacer les activités de chasse dans un contexte territorial. Plus directement, l'observation ancienne des pollens provenant de sédiments würmiens du site de l'abri Fritsch replace les occupations du DMG pendant une période de variations climatiques (Trotignon *et al.*, 1984). En effet, le diagramme pollinique de l'abri Fritsch publié en 1984 et reconstitué par Arlette Leroi-Gourhan (figure 8), nous permet de confirmer la présence d'une strate herbacée (graminées) aux côtés de quelques essences d'arbres tels que le genévrier (*Juniperus* L. 1753), le pin (*Pinus* L., 1753), le saule (*Salix* L. 1753). Ce paysage devait donc s'apparenter à un tapis d'herbacées, avec quelques rares bosquets de genévriers, de saules nains ou de pins...Un paysage qui offre probablement une couverture végétale assez riche permettant aux populations de chevaux et rennes chassés par les préhistoriques d'y perdurer pendant plusieurs milliers d'années.

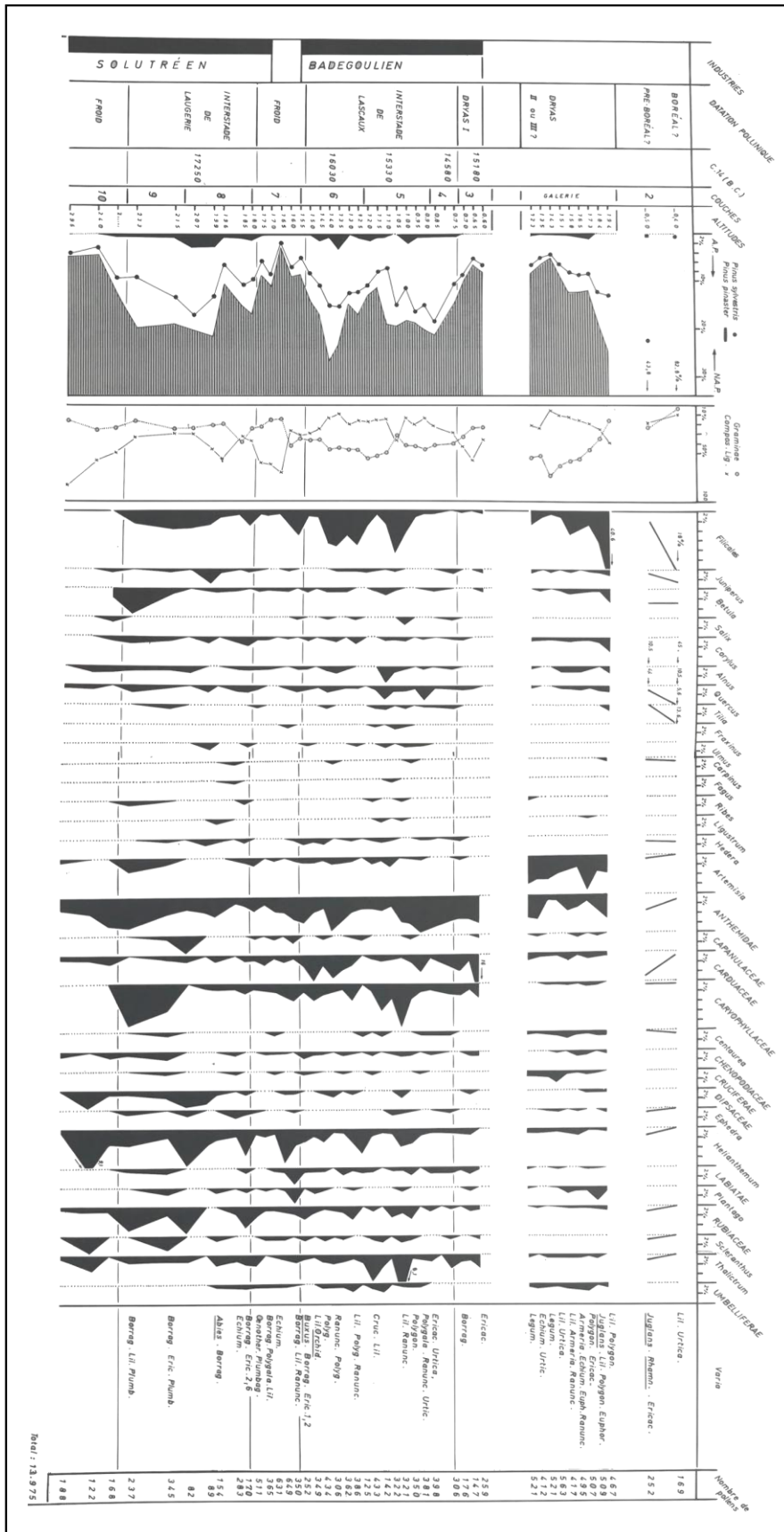


Figure 7 : diagramme pollinique des différentes couches de l'abri Fritsch, cf. fig.41, p. 112 dans Trotignon *et al.*, 1984

Des analyses anthracologiques à la Grotte Rochefort (Solutréen) apportent des informations sur ce cortège pin, genévrier, saule, bouleau typique des données paléobotaniques de la fin du DMG en Europe (Marcoux *in* Hinguant et Colleter, 2010). Ces arbres ligneux sont peu voire pas) représentés par leurs pollens dans les diagrammes polliniques de cet intervalle froid surtout pendant les stades plus secs et pendant les hivers rigoureux (voir figure 8). C'est pour cela que N. Marcoux, propose une interprétation à Rochefort à propos des études anthracologiques qui montrent que « les ligneux se sont maintenus dans des zones refuges tout au long de la dernière période glaciaire, dont certaines septentrionales » (ibid., p.54 ; tableau 2 ci-dessous).

Tableau 2 : Résultats anthracologiques de la courbe solutréenne de la grotte Rochefort : nombre d'observations (d'après le tableau 6, p.56, in Hinguant *et al.* 2010).

Taxons		4.6	4.4	4.3	4.2	TOTAL
pin type maritime	<i>Pinus type pinaster</i>		1	2	1	4
pin	<i>Pinus sp.</i>				2	2
genévrier	<i>Juniperus sp.</i>	1		3		4
cf. conifère	cf. Gymnosperme		2			2
saule	<i>Salix sp.</i>			3		4
cf. conifère	cf. <i>Salix</i>		1			1
bouleau	<i>Betula sp.</i>	1				1
indéterminables				3		3
Total		2	4	11	4	21

Ces zones refuges se présenteraient ainsi comme aux grottes de Saulges, avec en fonds de vallées abrités des vents, un maintien de la végétation ligneuse et de meilleures conditions d'alimentation en eau. Et surplombant la vallée, des plateaux qui présentent des espaces au caractère steppique exposés aux vents.

De plus, comme on a pu l'observer précédemment, un dernier indice est présent dans les sédiments lœssiques du DMG. En effet, la présence de végétation est attestée par celle des gleys de toundra dans les lœss du nord de la France (Antoine *et al.*, 2009 ; Prud'homme *et al.*, 2015).

Concernant l'environnement au Tardiglaciaire. Les premières analyses palynologiques sont effectuées sur des pollens de tourbières dans les années 90 par C. Leroyer (Leroyer, 1999). Ces premières reconstitutions révèlent une image un peu moins précise de ce que l'on peut approcher aujourd'hui. En effet les sites de tourbières, où sont prélevés les échantillons, sont relativement éloignés des sites archéologiques occupés pendant la période qui nous intéresse.

Les plus récentes analyses palynologiques effectuées dans le Bassin parisien ont livré les séquences Tardiglaciaire de Bazoches-les-Brès (Bassée, Leroyer *et al.*, 2014). Ces séquences, géographiquement proches des sites archéologiques, servent aujourd'hui de référentiel environnemental pour tous les sites de la région. Ils ont également permis de proposer une reconstitution détaillée de l'évolution du couvert végétal avec la caractérisation de sept zones polliniques distinctes pour la fin du Paléolithique supérieur. Trois d'entre-elles concernent la période d'occupation supposée des sites magdaléniens de notre corpus (Leroyer *et al.*, 2014) :

- La zone Baz a, qui est la plus ancienne, se caractérise par la progression du genévrier et du bouleau (*Betula*, L. 1753) aux côtés du pin et du saule. Les bouleaux et genévriers se développent sur les versants, mais la strate herbacée prédomine dans le paysage. Cette phase est relativement courte.
- La zone Baz b, se caractérise par une progression du genévrier. Elle présente un paysage composé d'arbustes et d'armoises au sein des herbacées qui prennent l'ascendant sur les chénopodiacées et les rubiacées. La strate herbacée se densifie avec le développement d'une steppe de poacées et d'astéracées.
- La zone Baz c (passage vers 12 500 BP) se caractérise par la progression du bouleau (devant le genévrier et le saule) aux côtés d'une strate herbacée dominée par les astéracées, les poacées et les chénopodiacées. Cette zone témoigne d'un paysage complexe en mosaïque avec des boisements à bouleaux et genévriers s'opposant à des espaces ouverts où dominent des formations steppiques, représentées majoritairement par les armoises (Leroyer *et al.*, 1994).

Au Tardiglaciaire, l'analyse des restes palynologiques a permis jusqu'ici de replacer les groupes magdaléniens dans un paysage ouvert en mosaïque, où dominent les graminées avec probablement quelques zones arborées.

Communautés animales

Les communautés animales du Bassin parisien au Paléolithique ont été essentiellement reconstituées à partir des études archéozoologiques (spectres fauniques).

Tableau 3 : Liste des espèces en présence au Paléolithique supérieur – attestée par les recherches archéozoologiques (d'après Bignon, 2008 ; Bignon-Lau, 2019 ; Bémilli in Hinguant *et al.*, 2010).

Cultures	Sites et niveaux/couches	Herbivores			
		Monogastriques	Ruminants	Carnivores	Omnivores
Solutréen	Abri Fritsch C10b (NR = 505)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus		Canis lupus, Vulpes sp.
	C9 (NR = 2479)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus		Canis lupus, Mustela putorius
	C8b (NR = 5731)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Cervus elaphus, Capra ibex, Saiga tatarica, Bos/Bison		
	C7b (NR = 2328)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Saiga tatarica, Bos/Bison	Vulpes vulpes, Vulpes sp.	
	Les Bossats Ormesson (NR = 230)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Bos/Bison		
Grotte Rochefort (NR = 5500)		Mammuthus primigenius, Coelodonta antiquitatis, Equus ferus	Rangifer tarandus, Capreolus capreolus, Capra ibex, Bos/Bison,	Vulpes vulpes, Canis lupus, Ursus arctos, Alopex lagopus, Panthera pardus, Lynx sp., Felis sylvestris, Mustela	Sus scrofa
Badegoulien	Abri Fritsch C6 (NR = 2464)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Capra ibex, Bos/Bison	Canis lupus, Meles meles, Vulpes sp.	Sus scrofa, Ursus spelaeus
	C5d (NR = 2045)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Capra ibex, Bos/Bison	Mustela putorius, Vulpes sp.	Ursus spelaeus
	C4 (NR = 1797)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Capra ibex, Bos/Bison	Canis lupus, Mustela nivalis, Vulpes sp.	Ursus spelaeus
	C3a (NR = 598)	Equus caballus sp.			
	Mont-St-Aubin - Oisy (NR = 11125)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Bison priscus	Canis lupus, Ursus arctos	
	Le Colombier - Chézy-sur-Marne (NR = 606)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus		
Magdalénien	Pincevent Niveau IV0 (NR =)	Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, saiga tatarica	Canis lupus	
	Niveau IV20 (NR =)	Mammuthus primigenius, Equus caballus sp.	Rangifer tarandus		
	Etiolles (NR =)	Mammuthus primigenius, Equus caballus sp.	Rangifer tarandus, Bos/Bison		
	TDG6 (NR =)	Mammuthus primigenius, Equus caballus sp.	Rangifer tarandus		
	Verberie (NR =)	Mammuthus primigenius, Equus caballus sp.	Rangifer tarandus		

La période du DMG a livré peu de données sur les communautés animales du Bassin parisien. D'un point de vue paléoenvironnemental, il est intéressant de constater la présence conjointe du renne (*Rangifer tarandus*) et du cheval (*Equus caballus arcelini* ; Guadelli, 1991) dans les spectres fauniques des sites de la période (Oisy, abri Fritsch, Chézy-sur-Marne – Bignon-Lau, 2014 ; voir tableau 3).

Au solutréen, à la grotte Rochefort, le spectre de chasse est dominé par les espèces clés de la période : le renne et le cheval mais Céline Bémilli a pu mettre en évidence d'autres espèces chassées pendant la période d'occupation du site. Plus au sud de la région d'étude, à l'abri Fritsch : les études de G. Bayle livrent un spectre de chasse très similaire à celui de Rochefort (Bayle, 2000). D'autres sites occupés par des groupes solutréens livrent des spectres de chasse quelque peu parcellaires pour certains : le site d'Ormesson en fait partie (Bodu *et al.*, 2018).

Plus tard, au badegoulien, sur le site de Oisy, la présence d'un grand boviné est attestée, de même que celle d'un ours brun et d'un loup. À l'abri Fritsch, diverses espèces sont

représentées (Poulain *in* Trotignon *et al.*, 1984). Au badegoulien on retrouve le renne et le cheval associés à des restes de bovidés, d'ours des cavernes, loup, renard, blaireau, lièvre, écureuil, bouquetin (Poulain *in* Trotignon *et al.*, 1984).

Ces spectres fauniques témoignent de l'existence d'une communauté animale plus développée que ce qui était supposé du fait des fortes variations climatiques (températures entre -40 et -20 °C l'hiver et entre 5 et 8°C l'été ; Prud'Homme *et al.*, 2022) au cours du DMG. En effet, au DMG les conditions climatiques sont extrêmes, et devraient limiter le développement de la végétation (Antoine *et al.*, 2003, 2009). Or les habitats semblent avoir été propices aux grands herbivores même pendant les épisodes les plus froids du DMG. Lors de ces périodes très défavorables, il est possible d'envisager l'existence d'habitats très hétérogènes au sein de refuges cryptiques septentrionaux (Bignon-Lau, 2014). Ces niches écologiques de dimensions restreintes auraient offert des ressources animales et végétales suffisantes pour perdurer pendant le Paléolithique supérieur (période de vingt mille ans ; Bignon-Lau *et al.*, 2019). Au sein de ces refuges très hétérogènes et très parcellisés, les déplacements migratoires des herbivores seraient réduits à l'échelle locale, voire au niveau de différentes parcelles (Bignon-Lau *in* Montoya, 2012).

Au Tardiglaciaire, la présence de grands ongulés est attestée sur la plupart des sites du Bassin parisien (Bignon-Lau, 2003, 2007, 2014) : notamment celles du renne, du cheval et du bison (*Bison priscus*, Bojanus, 1825). On atteste encore la présence du mammouth (*Mammuthus primigenius*, Blumenbach, 1799) jusque vers la fin du Bølling (Julien & Rieu, 1999). Ce sont ces grands ongulés qui ont un impact sur la structuration de l'environnement et notamment sur les communautés végétales. Et leur survie dans le Bassin parisien à des période où le climat semble peu clément, prouve qu'il devait y avoir dans l'environnement, de la végétation pour répondre à leurs besoins. Les spectres fauniques des sites du Bassin parisien livrent aussi des mammifères carnivores tels que le loup (*Canis lupus*, Linnaeus, 1753), le renard commun (*Vulpes vulpes*, Linnaeus, 1753) aux côtés de petits mammifères et d'oiseaux (David *et al.*, 2014).

Les malacofaunes viennent corroborer les hypothèses sur le climat et la végétation car ce sont de très bons indicateurs environnementaux (Rodriguez, 1994). En effet, les espèces représentées dans les niveaux attribués au Tardiglaciaire, témoignent d'un paysage ouvert et d'un climat froid (David *et al.*, 2014). Au Tureau des Gardes 6, l'analyse de Patrice Rodriguez (*in* Gouge, Lang, 1993) rapporte la coexistence de trois taxons (*Pupilla muscorum*, Linnaeus

1758, (20 %), *Vallonia costata*, Müller 1774 (36,4 %), *Trichia hispide* Linnaeus 1758 (40,5 %) qui composent l'association dite « à *Pupilla muscorum* ». Cette association a été définie comme un regroupement caractéristique de la steppe pléniglaciaire (Puisségur, 1976 ; d'après Bignon, 2003, 2007, 2008) et se retrouve présente dans des formations datées du Tardiglaciaire où elle correspond aux stades froids (Rodriguez, 1991). Cette association traduit un paysage steppique froid. La présence de l'association à *Pupilla muscorum* peut être considérée comme un indicateur climatique fiable que l'on retrouve pour d'autres sites de la région au Tardiglaciaire.

À l'aide de ces données malacologiques, on peut s'imaginer les paysages autour des sites grâce à la conservation de l'occupation et des sédiments limoneux qui les recouvrent : « les crues répétées et abondantes du Bølling ont vraisemblablement créé des milieux de bords de Seine instables, plus propices à l'existence d'une prairie humide et buissonneuse, tandis que les espaces boisés ont pu se développer en retrait de la plaine d'inondation » (Bignon, 2008 d'après Rodriguez, 1994).

CONCLUSION

Ce chapitre s'attache à définir le cadre géographique, géologique, climatique et culturel du Bassin parisien, territoire central pour l'étude des relations entre les chasseurs-cueilleurs et leur environnement au Paléolithique supérieur. Le Bassin parisien, vaste bassin sédimentaire du nord de la France, offre un terrain d'étude privilégié grâce à la richesse et à la diversité de ses sites préhistoriques. Délimité par plusieurs massifs anciens, il se caractérise par une histoire géologique complexe, marquée par des dépôts sédimentaires successifs (calcaires, silex, etc.) et des reliefs de type cuestas. Ces ressources naturelles ont été exploitées par les humains du Paléolithique. Le Bassin parisien est traversé par de grands fleuves (Seine, Loire, Meuse) et leurs affluents, qui structurent la mobilité des populations et la préservation des vestiges archéologiques. Les sites de plein air, souvent situés près des cours d'eau, doivent leur conservation à des dépôts sédimentaires favorables, bien que cela introduise probablement un biais dans la localisation des découvertes. Ce chapitre détaille aussi les grandes phases climatiques du Dernier Maximum Glaciaire (DMG) au Tardiglaciaire, marquées par d'importantes fluctuations de températures et de régimes hydrologiques. L'analyse des sédiments (loess, limons, gleys de toundra) permet de reconstituer les environnements passés et d'identifier l'existence de refuges cryptiques au nord, favorisant la survie des communautés humaines, animales et végétales même lors des périodes les plus froides.

L'archéologie du Bassin parisien, pionnière dans le développement de méthodes de fouille planimétriques, a permis d'identifier plusieurs cultures majeures du Paléolithique supérieur : Solutréen, Badegoulien et Magdalénien. Chacune se distingue par ses industries lithiques, ses innovations techniques (propulseur, aiguilles à chas, débitage du bois de renne) et ses expressions artistiques. Le Magdalénien est particulièrement bien représenté, avec de nombreux sites de campement et une grande diversité d'outils.

Les reconstitutions paléoenvironnementales liées aux découvertes archéologiques, montrent que le Bassin parisien offrait potentiellement un paysage de type « steppe à mammoth » : constitué d'une mosaïque de prairies et de zones boisées, peuplée de grands herbivores (cheval, renne, bison, mammoth) et de carnivores (loup, renard). Les études palynologiques, anthracologiques et archéozoologiques attestent de la coexistence de ces espèces et témoignent d'une certaine résilience des écosystèmes face aux changements climatiques. L'existence de refuges végétaux et animaux, même au nord, est aujourd'hui bien admise.

Ce chapitre pose donc les bases d'une approche multiscalaire et interdisciplinaire du territoire, considérant le Bassin parisien comme un laboratoire idéal pour l'étude des interactions entre sociétés humaines, faune, flore et environnement au Paléolithique supérieur. Il insiste sur l'importance de la dynamique des zones refuges et des communautés pour comprendre la structuration et la mobilité des groupes humains à la fin de la dernière glaciation.

PARTIE II – INTERACTION CHASSEUR-PROIE AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE : ÉTUDE DE L’ABRI FRITSCH

« This arrhythmic typo-technologic chronology should be complemented and challenged in the short and long term, not only through an increase in radiometric data from taphonomically controlled sequences (e.g. Fritsch rockshelter, Indre) and/or directly dated characteristic artifacts (e.g. the famous “Lower Magdalenian” antler tools and points from Le Placard Cave, Charente, or Lachaud rockshelter, Dordogne), but also in light of more detailed techno-economic data (e.g. evolution of the spatio-temporal management of lithic tool-kits), ornament variability and faunal dynamics, in order to better weigh the reality and significance of these evolution and, subsequently, to turn this simple timeline into an animated panorama»

Ducasse, Chauvière et Pétilion, 2020 ; p.12

Situé à l’extrémité sud-est du Bassin parisien, l’abri Fritsch a été fouillé durant près de vingt ans. Il a livré une séquence pollinique (consulter partie I, chapitre 2, figure 8) et une riche stratigraphie (tableau 4) avec des occupations humaines attribuées au Solutréen, Badegoulien et Magdalénien. Elles sont notamment composées de faune, d’industries lithiques et osseuses (Allain et Fritsch, 1967 ; Trotignon *et al.*, 1984).

À partir de l’étude des vestiges fauniques mis au jour sur ce gisement, notre objectif a été de reconstituer les interactions entre les sociétés solutréennes/badegouliennes avec leurs proies pendant la période du DMG. On rappelle les enjeux de l’étude d’un tel site :

- Le DMG est une période marquée par une instabilité climatique (Partie I, chapitre 2)
- La transition entre les cultures solutréenne et badegoulienne est étudiée d’un point de vue économique et technique, mais peu du point de vue des ressources animales.

- Les restes fauniques étant très peu présents dans les sites du sud-ouest de la France, la stratigraphie de l'abri Fritsch apportera probablement des précisions sur les stratégies de subsistances des humains en période de variations climatiques.

Pour comprendre dans quel contexte territorial et environnemental l'abri a été occupé, nous avons préalablement cherché à reconstituer l'histoire du gisement. Une analyse bibliographique, nous a permis de retracer, étape par étape, les différentes activités de terrain et de recherches, de sa découverte par René Fritsch et ses fils en 1957 jusqu'aux investigations les plus récentes (partie II, chapitre 1).

À la suite de ce travail de compréhension du site et d'exploration des collections, nous avons constaté que les vestiges fauniques badegouliens n'ont pas été étudiés assez précisément. En effet, dans les années 80, l'archéozoologie et les méthodes d'analyse sur le sujet n'étaient pas aussi précises. Afin de pouvoir émettre des hypothèses sur les interactions chasseur-proies à l'abri Fritsch (partie II, chapitre 1), nous avons dû entreprendre une révision de l'analyse archéozoologique sur les niveaux badegouliens de l'abri. Nos travaux ont permis d'apporter des précisions quant à l'exploitation des ressources animales par les badegouliens à l'abri Fritsch et dans le Bassin parisien (partie II, chapitre 2) et par la suite de développer des analyses paléoenvironnementales (partie IV, chap. 2 et 3).

CHAPITRE 1. L'abri Fritsch : une succession d'occupations humaines du Solutréen au Magdalénien

II.1.1. Découverte du site et attribution chronostratigraphique.

L'abri Fritsch est situé à l'ouest de la commune de Pouligny-Saint-Pierre (Indre), sur le coteau des Roches (figure 9). Cet abri surplombe la rive droite de la Creuse à hauteur des deux tiers supérieurs de la falaise. Le site est encaissé dans un massif de calcaire récifal de l'Oxfordien (Aubry, 1991, 1993) et appartient à la région de la Brenne située à l'intersection du Bassin parisien au nord-est, du Bassin aquitain, via le Poitou au sud-ouest et des contreforts du Massif central au sud-est (Bayle, 2000).

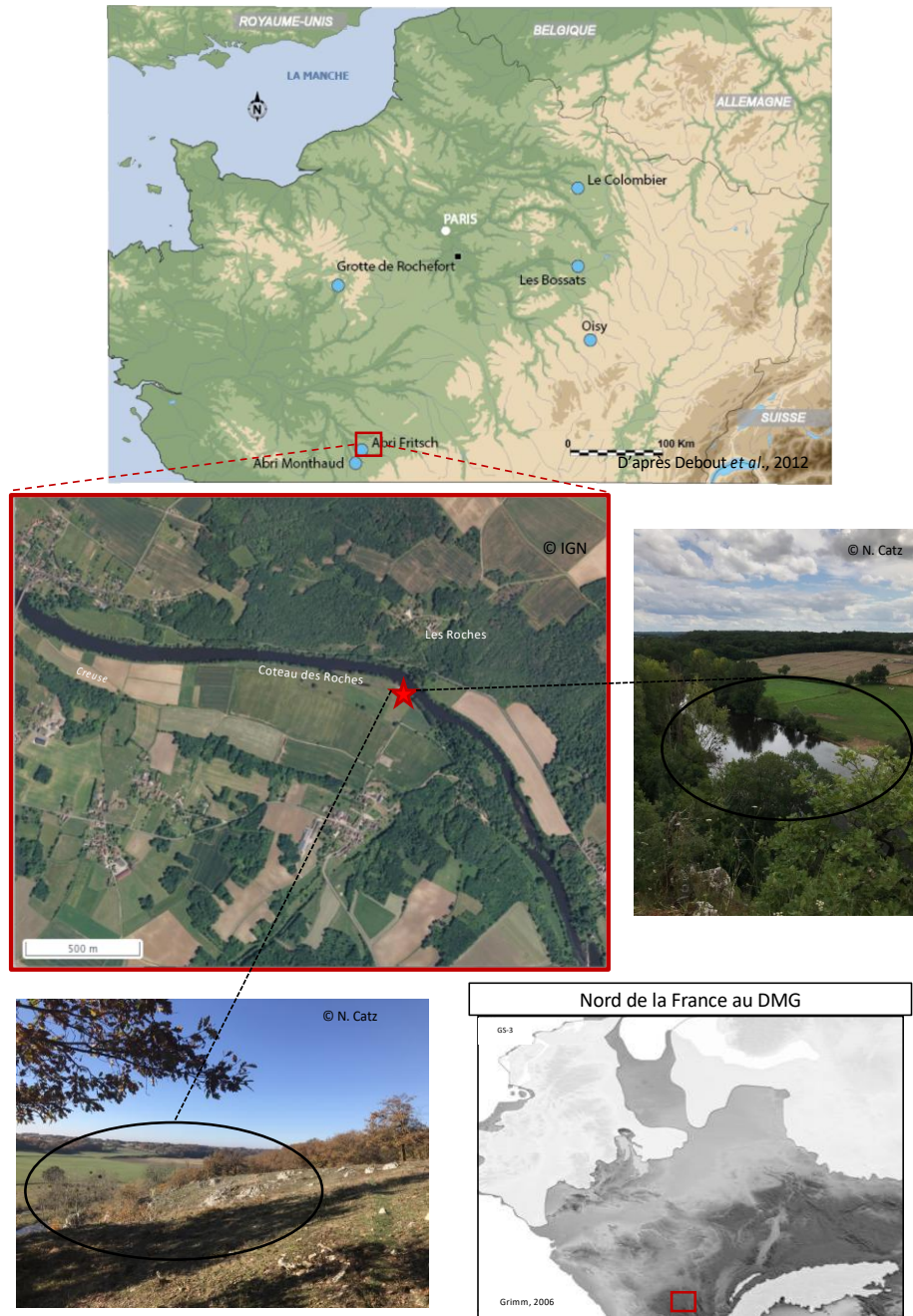


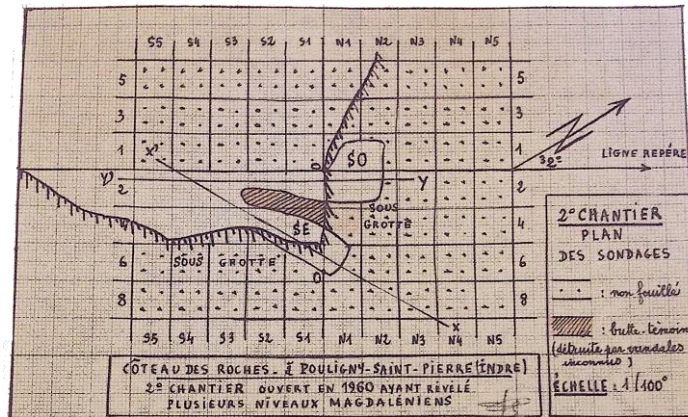
Figure 8 : Localisation du gisement (encadré rouge) sur la carte du nord de la France au DMG (carte d'après Grimm, 2006), par rapport à d'autres sites du DMG (carte d'après Debout *et al.*, 2012) et implantation du site dans le paysage actuel (clichés effectués lors de la visite du site en novembre 2021).

Découverte et fouille du site

C'est en 1957 que René Fritsch découvre l'abri sous roche qui porte aujourd'hui son nom. Il y entreprend la fouille de deux sondages ouest et est (S.O. et S.E., figure 10) qui livrent du matériel lithique et osseux dont des « raclettes » et des « sagaies » (Trotignon *et al.*, 1984,

p.19). D'après les plans dessinés lors de la fouille des sondages, il attribue les vestiges au magdalénien (figure 10).

a



b

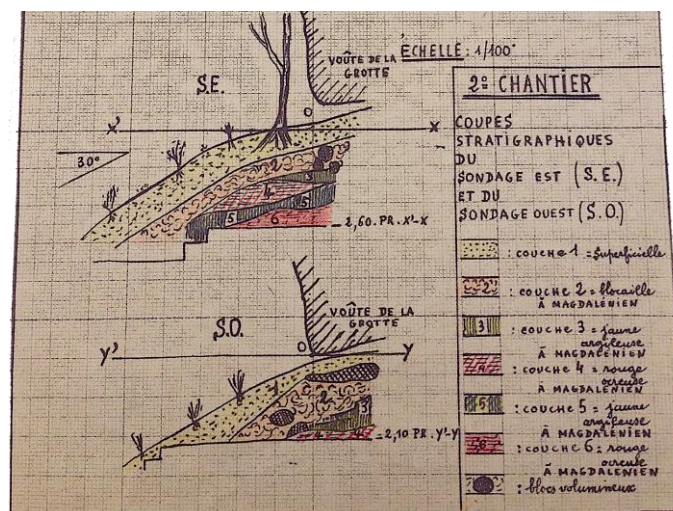
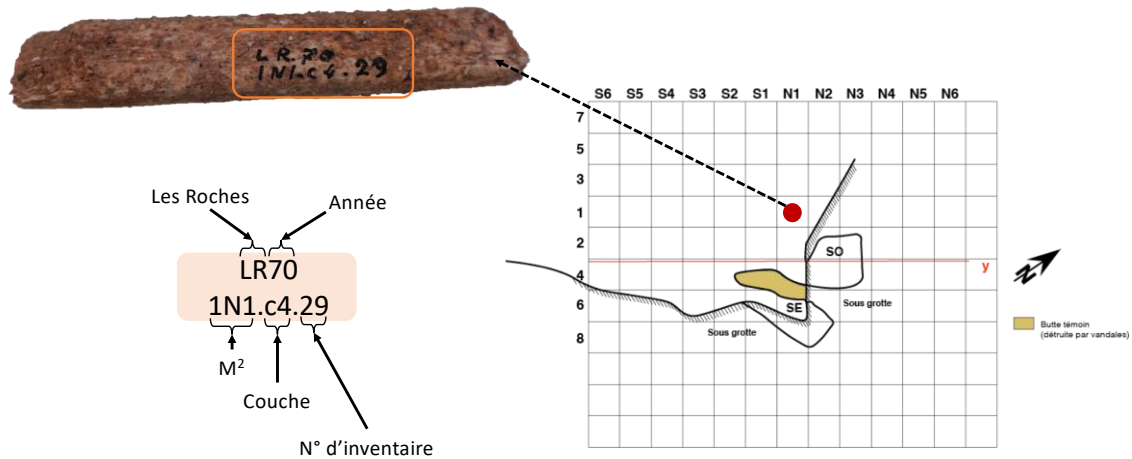


Figure 9 : Côteau des Roches – à Pouligny-Saint-Pierre (Indre) – 2^e chantier ouvert en 1960 ayant révélé plusieurs niveaux magdaléniens – plan des sondages avec une partie du carroyage à l’infini imaginé par l’inventeur du site (a) – coupes stratigraphiques des sondages (b) ; photos personnelles de documents d’archives.

En juillet 1960, les premières fouilles officielles débutent avec l'autorisation d'Étienne Patte (direction de la circonscription préhistorique). Elles se prolongeront chaque été sans interruption jusqu'en 1978. La mise en place d'un carroyage extensible à l'infini permet de ne pas définir de limite aux fouilles. Ce carroyage est composé d'une zone qui s'étend du nord

(N1, N2, N3...) au sud (S1, S2, S3...) en abscisse et d'une zone impaire à l'ouest (1, 3, 5...) et paire à l'est (2, 4, 6...) en ordonnée (voir figure 11).



LR = Les Roches – nom du site
70 = année de découverte de l'artefact

Figure 10 : Carroyage du site et notice de lecture du marquage des pièces.

À partir de 1963, le docteur Jacques Allain prend la direction des fouilles. Lors de ces premières campagnes, les fouilleurs ne relèvent pas les vestiges sur des plans, car ils tentent de comprendre la stratigraphie du site qui semble être « difficile à démêler » (Trotignon *et al.*, 1984, p. 20). Si les artefacts ont été parfois relevés et notés, certaines informations qui permettraient de contextualiser les activités humaines d'une couche à l'autre sont perdues. La fouille stratigraphique a donc été réalisée « au détriment » de « l'observation paléthonographique » (Trotignon *et al.*, *ibidem*).

Six ans après la première campagne, Françoise Trotignon rejoint l'équipe de fouilleurs. Elle est notre interlocutrice principale pendant nos recherches. Elle nous a permis notamment de rappeler certains faits qui ne sont pas parvenus jusqu'à nous par écrit. Avec Sébastien Lasnier (un fouilleur bénévole), elle a notamment apporté une aide précieuse d'un point de vue pratique

en aménageant des structures sur le site pour faciliter les travaux. D'un point de vue scientifique, elle a étudié le matériel lithique badegoulien et supervisé de nombreuses publications que nous évoquerons par la suite (Trotignon *et al.*, 1984 ; Cretin et Le Licon, 1997).

Les dernières fouilles à l'abri Fritsch ont eu lieu en 1978. Depuis cette date, les vestiges sont stockés au musée Argentomagus à Saint-Marcel (Indre). Le matériel a été de nombreuses fois observé, emprunté et étudié par des spécialistes. En 1984, le docteur Allain signe l'avant-propos d'une monographie sur le Badegoulien (dir. F. Trotignon) : dans un paragraphe de conclusion, il annonce de nombreux travaux prometteurs sur les collections de l'abri Fritsch (Trotignon *et al.*, 1984). Il évoque, dans une note, les recherches sur « les rongeurs par J. Chaline », sur « les oiseaux par C. Mourer », des « poissons par G. Desse » ou encore de « sédimentologie par J.J. Macaire ». Si elles ont été entreprises, ces études demeurent inédites (Trotignon *et al.*, 1984, p. 7). Cependant, d'autres études ont été publiées et permettent notamment d'appréhender la stratigraphie et la datation des vestiges du site.

Une chronostratigraphie de référence pour le DMG du Bassin parisien

La stratigraphie

Après dix-huit années de fouille, la grotte intermédiaire et le porche de l'abri Fritsch ont livré une stratigraphie très riche d'environ trois mètres de hauteur. Cette stratigraphie fut difficile à démêler pendant les fouilles du fait de la multiplicité des couches et des processus de sédimentation identifiés depuis la découverte du site (Allain et Fritsch, 1967 ; Trotignon *et al.*, 1984).

En 1967, R. Fritsch et J. Allain publient les premières attributions culturelles de la séquence stratigraphique : les couches supérieures correspondraient au magdalénien (Allain & Fritsch, 1967, p.92). En 1976, la découverte d'une feuille de laurier dans la couche 7c (carré 3N2) permet de l'attribuer au Solutréen (Allain, 1976). La stratigraphie complète est publiée en 1984. D'après les archéologues, elle comporte 23 niveaux répartis sur 10 couches : du Badegoulien à raclettes au Solutréen moyen (couches 1 à 10a, b ; figure 11).

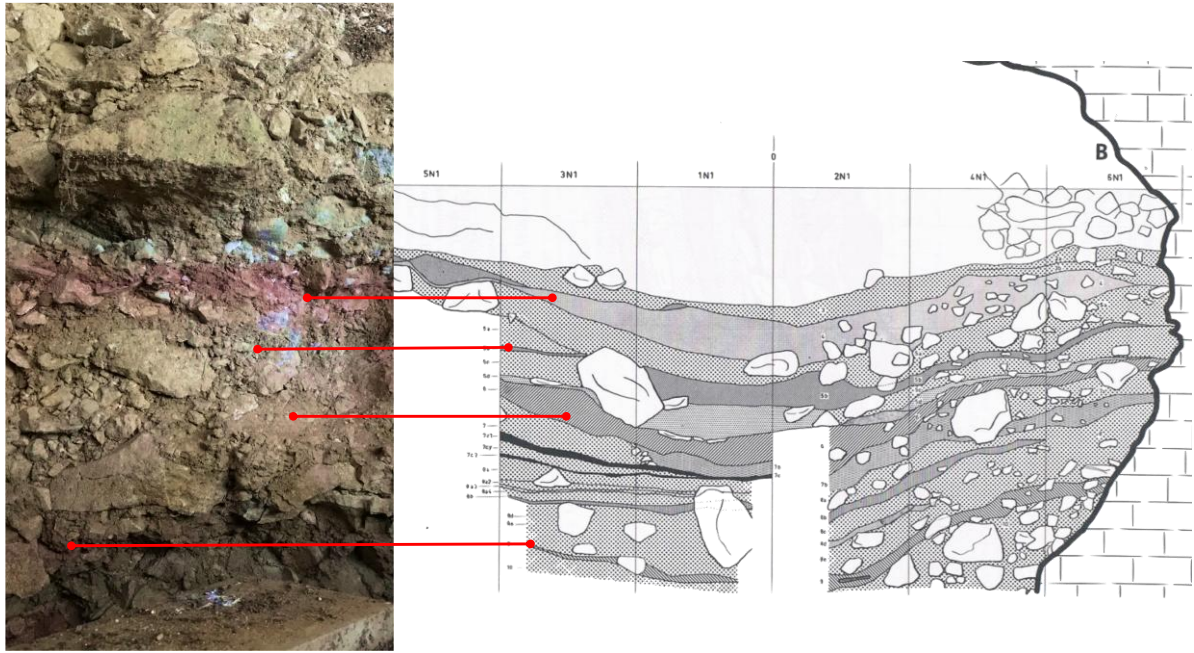


Figure 11 : Stratigraphie de l'abri Fritsch (coupe nord-ouest/sud-est) d'après Trotignon et al., 1984 et correspondance avec la coupe en l'état (cliché personnel pris en 2021) - 23 niveaux identifiés sur 3 mètres (du Badegoulien à raclettes au Solutrén moyen).

D'après J. Allain, les couches 4, 5b, 6, 9 sont les plus colorées : il parle « d'imprégnation ocreuse » pour ces couches (Allain, 1984, p.7) et elles semblent être les « plus denses en outillage » (Trotignon *et al.*, 1984 ; voir figure 11 - coupe coloration rouge 2021). Le Solutrén forme un ensemble qui regroupe les niveaux 7 à 10, caractérisés par des feuilles de laurier classiques et de minces écailles issues de la taille bifaciale. Il reste à noter que les feuilles de laurier sont presque toutes « fragmentées » et peu nombreuses pour qu'une analyse très précise soit faite. Cependant, l'identification d'une aiguille à chas dans l'industrie osseuse du niveau 8 permet de confirmer l'appartenance au Solutrén. Le Badegoulien est regroupé dans la partie supérieure de la stratigraphie dans les niveaux 6 à 3 - voire les niveaux 1 et 0 si l'on peut attribuer ces niveaux au Badegoulien plutôt qu'au Magdalénien. Ces couches badegouliennes se distinguent notamment par l'identification de « raclettes » (cf. partie I, chapitre 2) même si certains niveaux n'en présentent pas ou en présentent seulement peu (tableau 4).

Enfin, ces niveaux archéologiques reposent sur un « chaos de blocs d'assez grandes dimensions, en majorité des morceaux de parois ou de voûte, ainsi qu'en témoignent leurs surfaces érodées par les eaux de ruissellement, entassés sans le moindre sédiment les liant » (couche 11, Trotignon *et al.*, 1984, p.20). Ces blocs proviennent probablement des parois et de la voûte qui se délittent à la suite d'une activité sismique ou à des phénomènes de surcreusement (Trotignon *et al.*, 1984). D'après F. Trotignon, une grenouille serait sortie de cet amas de blocs

et semblait provenir d'en dessous comme si elle sortait d'une cavité profonde : « ...d'un coup j'ai comme ressenti du vide sous mes pieds et j'ai pris peur » (communication personnelle, F. Trotignon, juillet 2021). Ces blocs effondrés se seraient ainsi calés pour former une sorte de plancher tapissé de matériaux provenant des coulées d'argiles et autres phénomènes sédimentaires ? Les préhistoriques de l'abri Fritsch se seraient-ils installés à l'étage d'une cavité plus profonde et plus grande ? Seuls des tests de résistivité du sol pourraient conforter ou réfuter cette hypothèse.

Tableau 4 : Attribution culturelle des couches de la stratigraphie de l'abri Fritsch (d'après Trotignon et al., 1984)

Couche 1	Magdalénien ancien (à confirmer)
Couche 2 (2a-2f)	Badegoulien à raclettes
Couche 3 (3a-3b)	Badegoulien à raclettes
Couche 4	Badegoulien à raclettes
Couche 5 (5a-5d)	Badegoulien à rares raclettes (5a) et Badegoulien sans raclettes (5b-5d)
Couche 6	Badegoulien sans raclettes
Couche 7 (7a,7b,7z et 7c)	Solutréen supérieur
Couche 8 (8a-8e)	Solutréen supérieur
Couche 9	Solutréen moyen
Couche 10 (10a-10b)	Solutréen moyen (10b)

En 2000, les travaux de Grégory Bayle apportent de précieuses informations sur le remplissage de l'abri sous roche. En effet, il répertorie les phénomènes sédimentaires qui permettent de le caractériser (Bayle, 2000). Parmi ces sources, on retiendra des phénomènes de fragmentation de la paroi et de la voûte par cryoclastie et des dépôts d'argile. Cette argile proviendrait du plateau par des phénomènes de ruissellement et de colluvionnement, à travers les fissures du réseau karstique et débouchant des grottes. Les coulées de matériaux, qui proviennent des boyaux ouest et est, sont constituées d'éléments fins, de blocs de différentes tailles et de pelotes de rejection de rapaces. Ils peuvent se mélanger parfois aux vestiges laissés par les sociétés préhistoriques, les carnivores ou encore les animaux fouisseurs.

Aujourd'hui, l'abri Fritsch reste la référence stratigraphique pour la période de transition du Solutréen au Badegoulien dans le Bassin parisien (Cretin et Le Licon, 1997 ; Aubry *et al.*, 1998 ; Bodu *et al.*, 2012 ; Montoya *et al.*, 2019). Et, les lithiciens qui s'intéressent aux deux techno-complexes y trouvent un laboratoire d'étude de cette transition. Les niveaux 6 à 7 présentent en effet des originalités par rapport à leur attribution chronoculturelle avec le niveau 7a qui est dépourvu d'industrie et le niveau 6 qui est « sans raclette » (tout comme les niveaux 5b à d qui les succèdent...). J. Allain écrit en 1983 « nous avons sous les yeux la rare aubaine d'une transition solutréo-badegoulienne comme grossie à la loupe » (Allain, 1983, p.138). On profitera de ce contexte exceptionnel de transition culturelle pour mieux comprendre la période du DMG du point de vue des habitudes cynégétiques. Est-ce que les consommations alimentaires et techniques diffèrent d'une culture à l'autre ?

L'étude biochimique de certaines des données fauniques permet déjà de confirmer les observations faites sur la stratigraphie (datations ¹⁴C anciennes et récentes) et nous tentons d'affiner les observations culturelles à l'aide d'une approche archéozoologique poussée (partie II, chapitre 2).

Datation des couches archéologiques

En 1974, une première date replace l'occupation de l'abri Fritsch au début du Magdalénien vers $19\,280 \pm 230$ (GRN.5499 ; Delibrias et Evin, 1980). Par la suite, J. Allain publiera la datation de différentes couches effectuées sur des vestiges organiques. Ces datations ont été utilisées jusqu'en 2021 pour évoquer les niveaux solutréens et badegouliens de l'abri Fritsch : elles sont reportées dans le tableau 5 en italique (Allain, 1978).

Dès 2020, nous avons participé à la mise en place de nouvelles analyses radiocarbone à l'abri Fritsch (Bignon-Lau, 2022). Ces analyses ont considérablement amélioré la résolution chrono-culturelle de toute la séquence stratigraphique, par le nombre de datations effectuées et leurs plus faibles écarts-types. Nous avons pu aider à la sélection des échantillons en choisissant des os qui présentent un volume et une densité assez importants de matière. Ces os devaient présenter un numéro de couche et de mètre carré pour s'assurer de la provenance des échantillons. Une telle sélection nous permet d'offrir un socle solide d'interprétation des vestiges. Les échantillons ont été datés par Christine Hatté (Cea, Saclay - Cea-ISCe ; tableau 5). Ces récentes datations viennent confirmer les occupations successives des Solutréens puis des Badegouliens à l'abri Fritsch (tableau 5). Elles sont plus précises, au vu des avancées technologiques dans le domaine de la biochimie et de la spectrométrie de masse.

Tableau 5 : Datations faites sur os des niveaux d'occupation préhistoriques à l'abri Fritsch (en rouge les datations d'après Allain, 1978).

Année	Mètre carré	N°	Couche	Espèce	Élément	Ref labo	Datation
1969	7N1	-	C2	Renne	Métatarse	GifA21604 / ECHO-4711	17430 ± 105
1969	7N3	9	C2	Bison ?	Radius	GifA21605 / ECHO-4712	17735 ± 110
1969	7N2	-	C2	Cheval	Métapode	GifA21606 / ECHO-4713	18300 ± 115
-	-	-	C3a	-	-	Ly 1121	17 130 ± 350 ou 500 BP
1969	3N1	15	C3	Cheval	Humérus	GifA21607 / ECHO-4724	18420 ± 220
1970	7N1	11	C3	Renne	Scapula	GifA21608 / ECHO-4714	18160 ± 115
-	-	-	C4	-	-	Ly 1122	16 530 ± 350 BP
1971	1N2	212	C4	Cheval	Tibia	GifA21609 / ECHO-4715	18135 ± 115
1971	3N1	21	C4	Renne	Radius-ulna	GifA21360 / ECHO-4374	18870 ± 70
-	-	-	C5b	-	-	Ly 1123	17 280 ± 350 BP
1973	2S1	-	C5b	Cheval	Métacarpe	GifA21610 / ECHO-4316	18990 ± 125
1973	1N2	77	C5b	Renne	Métatarse	GifA21358.1.2 / ECHO-4371	18390 ± 70
1974	1N1	95	C5d	Cheval	Tibia	GifA21361 / ECHO-4369.1.1+2	18860 ± 80 - 18870 ± 80
1974	1N1	75	C5d	Renne	Métatarse	GifA21356 / ECHO-4370	19170 ± 70
-	-	-	C6	-	-	Ly 1124	17 960 ± 35 BP
1974	3N2	30	C6	Cheval	Humérus	GifA21363 / ECHO-4376	19220 ± 70
-	-	-	C6	Renne	Tibia	GifA21355 / ECHO-4375	20760 ± 80
-	3N3	"252"	C8	Cheval	Radius-ulna	GifA21353 / ECHO-4373	19940 ± 80
-	3N1	"115"	C8b	Renne	Fémur	GifA21362 / ECHO-4372	19620 ± 70
-	-	-	C8d	-	-	GRN 5499	19 280 ± 230 BP

Ces données chronostratigraphiques constituent une base de datations précises pour une approche multidisciplinaire qui se met en place depuis ces quatre dernières années sur l'abri Fritsch (dans le cadre du PCR sur le Bassin parisien notamment). Par exemple, nous disposons maintenant d'une série conséquente de dates pour la séquence chronoculturelle qui s'étend du Solutréen au Badegoulien puis au Magdalénien (du DMG au Tardiglaciaire ; tableau 5, figure 12).

L'implémentation de ces données dans un modèle chronologique régional permettra, à l'avenir, de confirmer la place de référence de l'abri Fritsch à l'échelle du DMG parmi les sites du Bassin parisien. Si les données stratigraphiques et chronologiques semblent concorder, qu'en est-il des données environnementales ?

Chronologie de l'abri Fritsch

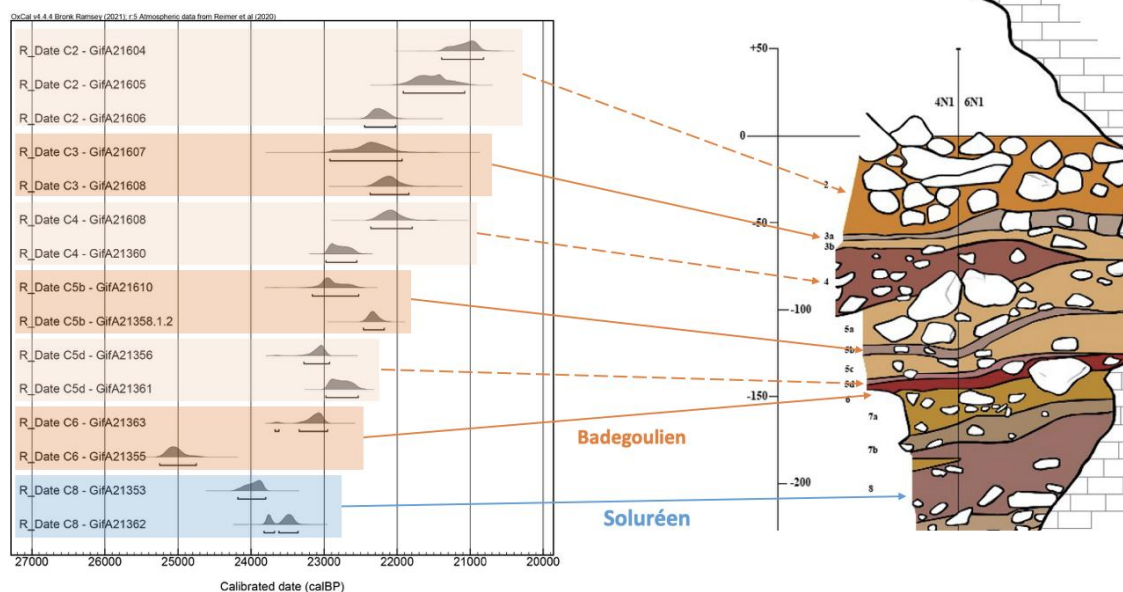


Figure 12 : Chronomodelle développé à partir des datations récentes des couches d'occupation de l'abri Fritsch © Olivier Bignon-Lau.

Diagramme pollinique de l'abri Fritsch

La stratigraphie du gisement a livré des écofactes précieux qui témoigneraient des habitats fréquentés par les humains au DMG (Leroi-Gourhan, 1984). C'est dans la monographie de 1984 qu'Arlette Leroi-Gourhan a publié le diagramme pollinique résultant de ses analyses et interprétations (partie I, chapitre 2, figure 8 ; d'après Leroi-Gourhan, 1984). Voici les quatre grandes phases qu'elle y décrit :

- **Phase 1 – Phase froide** : qui débute avec le maximum de froid (vers 22 500 – 19 700 BP). Cette phase correspondrait d'après elle à l'occupation de la couche 10 (solutrénienne) avec notamment des strates herbacées peu variées mais dominantes (à 82 %) et quelques espèces d'arbres tels que le pin (*Pinus sylvestris*, de 4 à 10 % au cours de la phase).
- **Phase 2 – Phase tempérée** : qui rassemblerait les occupations des couches 9 et 8 (vers 17 250 BP). Cette période d'humidité grandissante se traduit par une avancée des fougères (augmentation de 6 %), des herbacées et du pin (jusqu'à 20% de pollens de *Pinus sylvestris*). Un début de réchauffement correspondrait à un développement du bouleau (*Betula*, environ 6 %) et l'apparition dans les tamis de pollens d'autres arbres (2 % de saule – *Salix* -, 2 % de noisetier – *Corylus* -, 2 % d'aulne – *Alnus*).

- **Phase 3 – Phase froide et de sécheresse** : qui regrouperait les occupations de la couche 7 (vers 18 500 – 18 200 BP). La sécheresse de cette période se traduit par une baisse des fougères (2 %) et une baisse voire une disparition des pinèdes (le taux tombe de 19 % à 2 %). Et les composées liguliflores reprennent du terrain.
- **Phase 4 – Phase tempérée** : concorderait à l'arrivée de Badegouliens (couches 4,5,6). D'après A. Leroi-Gourhan, les graminées sont les plantes qui dominent le spectre végétal de cette période et on retrouve un taux plus important de fougère (10 % environ). La couverture arborée est présente mais les espèces sont faiblement représentées, parmi elles : le saule, le tilleul et le frêne notamment. L'humidité semblerait être supérieure pendant la phase 4 par rapport à ce qu'a pu déduire la palynologue dans la phase 2.

L'analyse des pollens a ainsi permis une reconstitution du paysage végétal contrasté autour de l'abri. Et la situation géographique de l'occupation est déterminante pour comprendre la flore alentour car l'abri est situé aux deux tiers de la falaise. De l'abri que les hommes préhistoriques occupent, ils dominent la rivière (de vingt mètres environ) ce qui offre l'accès à deux zones du paysage : la vallée en contrebas où coule la Creuse et le plateau sus-jacent. D'après A. Leroi-Gourhan, les agents accumulateurs qui sont à l'origine de l'apport sur site de ces pollens proviennent de ces deux zones : le vent qui arrive du plateau, de « nombreux oiseaux nichant dans les rochers » et « toutes les fourrures du gibier rapporté dans leur habitation par les hommes » qui proviennent probablement de la vallée (Leroi-Gourhan, 1984).

La présence d'arbres à certains endroits du diagramme s'explique pour A. Leroi-Gourhan par le ruissellement d'eau et des phases de brouillards qui ont pu aider à leur développement racinaire notamment. On remarque que la diminution des pollens d'arbres pendant le glaciaire peut être dû à une sécheresse (Guthrie, 1982). Il est important, ici de rappeler que les premières occupations de l'abri se situent pendant la phase climatique du Dernier Maximum Glaciaire et certains éléments du discours d'A. Leroi-Gourhan laissent à penser que les Solutréens se sont installés malgré des phases froides et sèches. Elle évoque notamment la flore de la couche 7 (industrie solutréenne) qui :

« [...]fait suite à 3 000 ans de péjoration climatique pendant lesquels toutes les plantes thermophiles ont reculé dans des refuges lointains. Lors du refroidissement de la couche 7, il

faut compter le temps de recul, le froid est beaucoup plus court et beaucoup de plantes réapparaissent vite, car elles n'ont pas été très loin » (Leroi-Gourhan, p. 114).

Par la suite, d'après le diagramme pollinique, les porteurs de l'industrie badegoulienne sembleraient arriver lors d'une phase d'amélioration climatique avec un développement des graminées (phase 4).

Enfin, A. Leroi-Gourhan évoque le repli de certaines espèces dans des zones refuges qui varient suivant le froid et l'humidité et sont différentes pour chaque espèce botanique. Si toutes ces informations recueillies sont anciennes car elles datent d'il y a plus de quarante ans, elles offrent cependant une base de données sur les paysages fréquentés par des groupes issus de différentes cultures Paléolithique. Elles permettent aussi d'envisager les variations du paysage en fonction des variations climatiques sur une longue période. Les travaux d'O. Bignon-Lau sur les refuges septentrionaux apporteront des informations plus neuves sur le sujet lors de la discussion de nos résultats (Bignon-Lau *et al.*, 2019). Par nos travaux, nous tentons d'apporter de nouvelles informations sur les paléoenvironnements pour préciser aussi ces données à l'aide d'autres bio-indicateurs. Mais, avant de présenter ces résultats, il nous faut rappeler ce que l'on peut savoir, déjà, sur les activités humaines, qui se sont déroulées à l'abri Fritsch.

II.1.2. Les activités humaines à l'abri Fritsch : esquisser les éléments constitutifs d'un territoire d'approvisionnement des ressources animales

Comme nous venons de le constater, l'abri Fritsch est une référence pour aborder, sur le long terme, les stratégies d'exploitation des ressources environnantes au gré des fluctuations climatiques de la période du DMG. À ce propos, nous disposons déjà des données sur les activités humaines qui se sont développées à l'abri Fritsch. Depuis la découverte en 1967, de nombreux chercheurs ont entrepris l'étude des vestiges solutréens et badegouliens du site (J. Allain, F. Trotignon, A. Leroi-Gourhan, A. Rigaud, O. Bignon-Lau, L. Chehmana, G. Bayle, J.-M. Pétilion, N. Catz, R. Malgarini, M. Borao et d'autres). Parmi les études conduites sur les différentes occupations, certaines ont permis de mieux comprendre les stratégies de subsistances développées par les chasseurs-cueilleurs qui ont occupé l'abri et par extension la vallée de la Creuse. Une synthèse des informations, que l'on a pu obtenir sur les activités de taille des matières minérales, d'exploitation des ressources animales et des paléoenvironnements fréquentés par les Solutréens et Badegouliens du site, se trouve en annexe (annexe 1). Nous présentons ici plus en détails les données nécessaires à notre étude et présentons les données qui seront en résonance avec les réseaux en annexe. Les analyses sur l'exploitation des ressources animales (alimentaire et technique) ont été appliquées ici pour

affiner les données sur les stratégies et tactiques de chasse développées au sein des réseaux esquissés par les lithiciens et malacologues (annexe 1).

À l’abri Fritsch, les ressources animales ont intéressé les préhistoriens d’un point de vue paléoenvironnemental et du point de vue économique. En effet, les restes de faune retrouvés lors des fouilles permettent d’établir un bilan sur une partie des espèces présentes dans l’environnement au moment de l’occupation du site. De plus, ils apportent des informations sur les choix cynégétiques d’une part (Poulain, 1984) et sur l’exploitation technique des matières osseuses d’autre part (débitage du bois de cervidés). Les analyses sur la faune peuvent aussi permettre une meilleure compréhension de la chronostratigraphie (remontages fauniques entre diverses couches, Bayle, 2000) et une mise en parallèle entre l’étude sédimentologique des dépôts avec l’état de conservation (et surtout d’enfouissement des vestiges) peut aider à mieux comprendre les modes de mise en place des activités à l’abri Fritsch.

Pendant les premières années de fouilles et d’étude des vestiges, la faune est évoquée ponctuellement. Dès 1967, le docteur Allain et R. Fritsch remarquent que le renne (*Rangifer tarandus*) et le cheval (*Equus caballus*) dominent les spectres dans tous les niveaux (Allain & Fritsch, 1967). L’étude de Thérèse Poulain confirme cette idée pour les niveaux badegouliens et l’étude de G. Bayle la confirme à propos des occupations solutréennes (Poulain, 1984 ; Bayle, 2000).

Faune des niveaux badegouliens (T. Poulain)

L’étude des spectres fauniques des couches badegouliennes a été conduite par Thérèse Poulain et publiée dans la monographie de 1984 (Poulain, 1984). Dans son article, l’archéozoologue présente les spectres fauniques qu’elle a identifiés (tableau 6)

Tableau 6 : Spectres fauniques par couche et Nombre de Restes (NR) par rapport au Nombre de Restes Déterminés (NRD) ; d’après Poulain, 1984.

Couche	NR/NRD	Spectre faunique
4	1797/1484	Cheval, renne, bovidé, bouquetin, ours des cavernes, renard, putois, lièvre, écureuil
5a	836/683	Cheval, renne, bovidé, bouquetin, ours des cavernes, loup, renard, putois, belette, lièvre, écureuil
5b	948/857	Cheval, renne, bovidé, bouquetin, ours des cavernes, loup, renard, belette, blaireau, lièvre, écureuil, belette
5c	214/171	Cheval, renne, bouquetin, renard, lièvre, écureuil
5d	2045/1628	Cheval, renne, bovidé, cervidé, bouquetin, ours des cavernes, loup, renard, belette, blaireau, lièvre, écureuil, belette
6	2464/1765	Cheval, renne, bovidé, bouquetin, sanglier, ours des cavernes, loup, renard, blaireau, lièvre

Cette étude étant très succincte, nous avons dû faire l'acquisition d'autres données en développant une étude archéozoologique précise sur ces niveaux d'occupation. Cependant, de nombreuses productions sur matières animales ont été identifiées par C. Peschaux (biblio/année) dans les niveaux badegouliens. On y retrouve en effet différentes parties anatomiques travaillées pour fabriquer des objets de parure. Ces données permettent d'attester de la présence de certaines espèces dans le spectre faunique. Parmi ces vestiges, on note la présence de productions sur dents animales, qui permettent d'identifier les taxons suivants : le renard (*Vulpes sp.*), le cerf (*Cervus elaphus* ; qui n'est pas présent dans le spectre badegoulien présenté par T. Poulain en 1984), le loup (*Canis lupus*), le bouquetin (*Capra ibex*) et un spécimen de la famille des bovinés. Ces dents appartiennent à de jeunes individus ou des subadultes. D'après C. Peschaux, (biblio/année), ces dents perforées ont toutes été portées car les perforations sont émoussées. Parmi les productions sur d'autres types de matières animales, on rappellera des productions en ivoire sous forme d'une série de petites pendeloques hémisphériques à bélière (Peschaux, 2017). Cette série provient des niveaux badegouliens sans raclette (couches 5b, 5d, 6). Ensuite, on notera la présence d'une épiphyse de métacarpe vestigial de renne percée (couche 6). Ce dernier artefact semble avoir été travaillé selon le même procédé de fabrication que celui des perles en ivoire (détachement par flexion puis perforation). Enfin, on note l'identification d'un élément perforé s'apparentant à du bois de cervidé dans la couche 5b. C. Peschaux caractérise ce dernier vestige de « grand pendeloque » car il mesure 13 cm (Peschaux, 2017).

Faune des niveaux solutréens

Dans son mémoire de DEA, Grégory Bayle aborde deux questions à partir de la faune des niveaux solutréens du gisement : « celle des grandes migrations d'ongulés répondant aux variations climatiques (chez le renne notamment) et celles sur les comportements de subsistance des Préhistoriques » (Bayle, 2000, p. 1). En effet, au DMG, l'abri Fritsch se situe à la périphérie de la grande zone périglaciaire du nord de l'Europe et sur une voie de passage probable de grandes migrations d'ongulés, entre la plaine du nord de l'Europe et le Bassin aquitain. Les résultats obtenus nous intéressent pour déceler ou non une évolution dans l'économie des ressources animales qui pourrait apparaître entre les différents niveaux occupés par les chasseurs-cueilleurs du DMG.

Malgré les hypothèses proposées, de nombreux problèmes d'interprétations demeurent concernant l'étude de la faune des niveaux solutréens. Cela est dû à une faible représentation

des restes déterminés (2,6% NRT de la séquence), à une différence dans la stratigraphie entre les zones Est et Ouest et à l'enregistrement de déplacements verticaux de pièces. Pour y remédier, G. Bayle a entrepris de déterminer l'origine des accumulations osseuses et tenté de saisir un comportement de subsistance récurrent chez les Solutréens de l'abri tout au long de la séquence stratigraphique. Les restes de faune étudiés présentent un état de conservation partiel des parties anatomiques du fait d'une extrême fragmentation. Il a donc classé les vestiges par taille et échantillonné les pièces déterminées pour chaque niveau. Son étude permet de confirmer, d'après lui que le secteur fouillé correspondrait à une zone de rejet (Allain & Fritsch, 1967). Cette étude a aussi permis de valider la part anthropique dans l'accumulation des ossements (étude taphonomique et paléontologique). Il a mis en évidence des comportements de subsistance des Solutréens en identifiant une chasse constante du renne tout au long de la séquence et une chasse complémentaire du cerf élaphe et du cheval. En effet, sur tous les niveaux, ce sont des juvéniles et des subadultes rennes qui dominent les spectres. G. Bayle a pu en déterminer toutes les parties anatomiques sur les couches 9, 8^e (8d-e), 8b et 7b, ce qui laisse penser que les carcasses de rennes ont été rapportées dans leur intégralité sur ces niveaux. Pour le cerf élaphe et le cheval, seules les parties appendiculaires et/ou rachis ont été déterminées. Cette occurrence de certaines parties anatomiques laisse penser que les chasseurs n'ont rapportés que des quartiers de ces deux espèces.

Les durées et les différents types d'occupation par niveau ont été déduites. Les couches 9, 8e, 8b correspondraient à des occupations plus ou moins longues (campements saisonnier possible) ; alors que les couches 10b, 8a4, 8a2, 7c, 7z, 7a semblent présenter des occupations plus courtes (des haltes). D'autres couches c10a, 8c, 8a n'ayant pas offert d'indices anthropiques fiables, G. Bayle ne se prononce pas et doute de l'occupation anthropique de ces niveaux. En effet, certaines autres espèces pourraient avoir occupé l'abri entre deux occupations humaines, comme des carnivores dont l'intervention semble faible voire nulle. L'auteur n'exclut pas la possibilité d'une mort naturelle de certains herbivores pour expliquer ces accumulations osseuses.

Enfin, G. Bayle a identifié des traces de traitement des carcasses parmi les activités anthropiques à l'abri Fritsch : le dépouillement (c8 quelques exemples), la désarticulation (c8b quelques exemples), le décharnement (os longs). On notera aussi une fracturation des os longs suivie d'un traitement thermique (combustibles ?) qui semblent être systématiques.

Dans les niveaux solutréens, C. Peschaux a identifié seulement un objet ayant été travaillé. Il s'agit d'une incisive de boviné attribuée à la couche 10. Cette dent a été percée et a appartenu à un spécimen subadulte (Peschaux, 2017).

L'ensemble des espèces déterminées apportent des informations sur l'économie des chasseurs-cueilleurs mais aussi sur l'environnement autour du site. D'après G. Bayle, l'exposition plein sud et la proximité avec la Creuse constituent deux avantages pour occuper le site. En effet, la Creuse constitue une source d'eau indispensable autant pour les humains que pour les gibiers qui dépendent de sources d'eau (chevaux, bovidés). La position dominante de l'abri, a sans doute permis d'observer l'ensemble de la vallée et le déplacement du gibier. L'abri est donc relativement bien situé pour des occupations plus ou moins longues de petits groupes de chasseur-cueilleurs. La proximité d'un plateau, au-dessus, et d'un fond de vallée, en contre-bas, pouvaient permettre l'acquisition de ressources variées (carrefour de biotopes). Cependant, la pente, relativement abrupte, pouvait gêner considérablement le transport de grosses carcasses du fond de vallée à l'abri (Bayle, 2000 ; p.15).

Contrairement aux données palynologiques et sédimentologiques qui s'accordent sur l'identification d'une phase tempérée (Interstade Laugerie pour la couche 8 notamment), le spectre faunique indiquerait un contexte climatique plutôt froid et sec (renne, cheval, bouquetin, saïga, lièvre variable). Cependant les espèces déterminées ne représentent pas l'ensemble de la faune environnante du site et le spectre n'est sûrement que le reflet d'une sélection anthropique. De plus, les espèces déterminées peuvent tolérer des écarts de température importants d'après G. Bayle et la phase tempérée de Laugerie se situe dans le 2ème pléniglaciaire du Würm récent où le contexte climatique général serait froid. Enfin, « l'abri Fritsch était situé encore, au cours de cette période, dans les limites méridionales de la zone périglaciaire de l'inlandsis scandinave » (Bayle, 2000 ; p.64). La présence de l'antilope saïga (dès le niveau 8) suggère une apparition de l'espèce dans la région centre antérieure à son arrivée dans le Bassin parisien. À la suite de la phase de Maximum glaciaire du Würm récent du Nord de l'Europe, l'antilope saïga aurait pu migrer vers le Bassin aquitain en passant par le centre.

Que peut-on retenir finalement sur l'exploitation des ressources animales par les groupes solutréens qui ont occupé le site ? G. Bayle émet l'hypothèse d'un même groupe de chasseurs-cueilleurs qui revient à plusieurs reprises sur le site ou de groupes différents qui partagent des traditions communes. En effet, les occupations se succèdent dans un site qui ne semble pas visible du fond de la vallée ou du plateau (aujourd'hui moins visible à cause de la végétation

holocène qui s'étend sur les pentes rocheuses). Un second argument est en faveur de cette hypothèse : la régularité de l'emplacement des accumulations osseuses dans les couches 9, 8e (8d-e), 8b, 7c et 7b aux abords du boyau est. Cette hypothèse s'avère être confirmée par l'identification des comportements de subsistance similaires concernant d'autres matières : avec l'emploi systématique du silex turonien supérieur type c3c et 2 et de quelques silex allochtones (turonien inférieur) disponibles au nord du département de l'Indre environ 60 km, Aubry *et al.*, 1998). Ces données sur l'occupation du territoire nous intéressent plus particulièrement et avons tenté de déterminer ces mêmes variables pour la faune badegoulienne.

L'abri Fritsch présente un ensemble d'industrie osseuse très conséquent si l'on considère tous les autres sites badegouliens, ou associés à la culture badegoulienne, de la moitié nord de la France. Ces séries sont mentionnées pour la première fois en 1974 à propos de la mise en évidence d'un débitage du bois de renne par percussion directe au Badegoulien (Allain *et al.*, 1974 ; Rigaud, 2004). Or il s'agit d'un site anciennement fouillé et l'intérêt pour les fragments de faune, s'ils n'étaient pas découvertes sous forme d'objets finis, avaient sûrement moins d'intérêt que les ressources minérales. Une étude et révision du travail des matières osseuses sont entreprises par J.-M. Pétilion, Maria Borao et R. Malgarini depuis l'année 2021-2022 (Malgarini, 2022). L'acquisition de nouvelles données sur l'industrie osseuse des occupations de l'abri Fritsch permettra d'en apprendre plus sur les activités techniques liées aux matières dures animales dans le Nord de la France. Car en réalité, nous n'avons que peu d'indices sur l'industrie osseuse au Dernier Maximum Glaciaire comme le souligne une étude de Jean-Marc Pétilion et Aline Averbouh en 2013. Ces deux chercheurs ont répertorié les pièces d'industrie osseuse mises au jour et étudiées, pour certaines, sur des sites occupés au Solutréen, Badegoulien et Magdalénien ancien et moyen (Pétilion et Averbouh, 2013). Ils ont constaté que le peu d'indices d'industrie osseuses ne permet pas d'assurer un apport d'informations suffisant pour discerner des techniques propres à chaque période.

On retiendra cependant que, si les interprétations culturelles restent délicates, « le travail des matières osseuses faisait partie des registres d'activité des populations occupant le Bassin parisien » et ses marges méridionales comprises sur toute la période qui couvre le DMG et l'évènement Heinrich 1 (Pétilion et Averbouh, 2013, p.155). Enfin, il ne faut pas oublier que les indices culturels, du point de vue des matières osseuses, peuvent avoir disparu pour diverses raisons : la conservation différentielle des vestiges ne permet pas de livrer des matières organiques ou semi-organiques systématiquement et la taphonomie doit être prise en compte

dans ce constat. Ces dernières hypothèses semblent être confirmées par l'étude du matériel osseux au Cuzoul de Vers par exemple (Pétillon et Averbouh, 2013).

CONCLUSION

Ce chapitre présente l'abri Fritsch, site clé du sud-est du Bassin parisien, fouillé de 1957 à 1978. Ce site offre une séquence stratigraphique exceptionnelle couvrant le Solutréen, le Badegoulien et le Magdalénien, fournissant un référentiel majeur pour l'étude du Dernier Maximum Glaciaire (DMG) dans la région. L'analyse des différentes couches archéologiques, appuyée par des datations récentes, permet de préciser la chronologie des occupations humaines et leurs relations avec les fluctuations climatiques.

La stratigraphie du site révèle 23 niveaux stratigraphiques pouvant avoir été occupé par des humains, avec une alternance de couches riches en industries lithiques et/ou osseuses. Les objets caractéristiques, comme les feuilles de laurier (Solutréen) et les raclettes (Badegoulien), témoignent de l'évolution technique et culturelle des comportements humains. Le diagramme pollinique, établi par A. Leroi-Gourhan, met en évidence des phases climatiques contrastées, du froid extrême à des périodes plus tempérées, influençant la flore et la disponibilité des ressources.

L'étude de la faune, bien que limitée par la fragmentation des vestiges, indique une prédominance du renne et du cheval dans le régime cynégétique, avec une complémentarité de chasse d'autres espèces comme le bouquetin, le bison ou le saïga. Les analyses révèlent des comportements de subsistance variés chez les Solutréens, allant de haltes de chasse à des occupations saisonnières, et mettent en évidence le rôle stratégique de l'abri, situé à la fois en surplomb de la vallée de la Creuse et à proximité de divers biotopes. Les pratiques techniques sur matières osseuses (débitage du bois de renne, parures dentaires) sont attestées, bien que les indices restent rares.

En conclusion, l'abri Fritsch apparaît comme une sorte de laboratoire pour comprendre l'adaptation des chasseurs-cueilleurs aux contraintes du DMG, la gestion des ressources et l'évolution culturelle entre Solutréen et Badegoulien. Les recherches actuelles visent à affiner la compréhension des interactions chasseur-proie et à mieux cerner les dynamiques territoriales et environnementales de cette période charnière du Paléolithique supérieur.

CHAPITRE 2. De nouvelles données sur l'exploitation des ressources animales à l'abri Fritsch : étude archéozoologique des niveaux badegouliens

La stratigraphie de l'abri Fritsch présente une succession d'occupations par différents groupes culturels du Dernier Maximum Glaciaire. Comme on a pu le constater dans le chapitre précédent, ces conditions stratigraphiques offrent un cadre chronologique précieux pour appliquer des analyses paléoenvironnementales et paléoécologiques intrasite. Nous nous intéressons, dans ce chapitre, aux données fauniques mises au jour dans les premières couches occupées par les Badegouliens de l'abri Fritsch. Dans un premier temps, nous présenterons les couches concernées par notre étude et le constat que nous avons pu faire en observant les collections conservées au Musée Argentomagus. Nous présenterons ensuite les difficultés rencontrées lors de l'étude d'une collection ancienne. L'analyse taphonomique d'un échantillon des vestiges fauniques puis l'analyse archéozoologique de toutes les couches du corpus seront enfin développées. Il était nécessaire de recueillir les données archéozoologiques sur les occupations badegouliennes afin de pouvoir, par la suite, les confronter aux données provenant de l'analyse multiproxy que l'on développe dans la partie IV (analyses archéozoologique, analyses de texture des micro-usures dentaires et analyses isotopiques séquentielle de l'émail dentaire).

II.2.1. Présentation du corpus d'étude : les couches badegouliennes inférieures

Nous nous sommes intéressés aux couches badegouliennes qui offrent des niveaux riches en faune. Le contenu de ces niveaux a été étudié et analysé dans les années 1980 par Thérèse Poulain (Poulain, 1984, voir partie II, chapitre 2). En repartant de ces premières données publiées sur la faune des couches badegouliennes, nous avons entrepris d'en réévaluer le potentiel à travers une analyse archéozoologique plus poussée (méthodologie en annexe 2). Notre objectif est de répondre à deux questions principales :

- L'accumulation de faune des niveaux badegouliens est-elle entièrement d'origine anthropique ?
- Si oui, peut-on définir des stratégies et tactiques de chasse des occupants des niveaux badegouliens et leurs choix cynégétiques ?

Avant de présenter nos travaux, nous voudrions rappeler que les niveaux supérieurs de la stratigraphie considérés comme étant « badegouliens » (« magdalénien ancien » ; Allain, 1978) n'ont pas été étudiés ici. Car, l'enregistrement de ces niveaux (couches 1 à 3) n'a pas été optimal

et les données spatiales n'ont pas été reportés sur un plan de répartition des vestiges : la fouille stratigraphique s'est faite au dépend d'une fouille planimétrique.

Voici les couches que nous avons pu analyser lors de l'étude archéozoologique (la stratigraphie générale est expliquée dans le chapitre précédent : partie II, chap.1, figure 12) :

- La **couche 6** est la plus profonde de la stratigraphie badegoulienne. Elle est riche en matériel osseux et a livré du matériel lithique associé au Badegoulien « sans raclette ». Elle est la « couche d'occupation humaine la plus importante de l'abri Fritsch » d'après son contenu (Trotignon *et al.*, 1984). De plus, si les couches suivantes sont considérées comme étant occupées par des groupes solutréens, la couche 6 reste probablement une occupation intermédiaire entre les deux cultures et nous voudrions savoir si l'étude de la faune peut permettre d'aborder la transition culturelle qui s'y opère, à travers l'étude des stratégies cynégétiques. Elle s'étend sur trente à trente-cinq centimètres d'épaisseur à l'ouest et environ dix centimètres d'épaisseur à l'est. Elle est très rouge. De plus, elle a livré de nombreux blocs de pierre qui pourraient résulter d'épisodes de gel (après occupation du site).
- La **couche 5**, constituée de cinq sous-couches, présente une première couche avec des industries badegouliennes à rares raclettes (c5a) ; une seconde sans raclette (c5b). La couche c5c présente très peu de vestiges et la couche c5d est, en revanche, « jonchée de mandibules de rennes » selon les souvenirs de fouille de Françoise Trotignon (communication personnelle).
- La **couche 4** est la couche supérieure de la stratigraphie badegoulienne du site. C'est la première couche relevée sur plan. Elle s'étend sur trente à quarante centimètres d'épaisseur. Les vestiges sont mis au jour dans un sédiment argileux de « couleur rouge intense ». D'après F. Trotignon, elle a subi un lessivage (maximum d'amplitude des parties médiane du gisement puis se réduit vers ouest-est en deux boyaux ; Trotignon, 1984). La couche 4 contient des industries du Badegoulien à raclettes avec une industrie lithique assez riche (325 éclats, 5 fragments de lames, 40 lamelles coup de burin, 10 nucléus).

Malgré cette subdivision précise des couches par F. Trotignon dans l'ouvrage de 1984, l'étude du matériel faunique des trois couches (4, 5 et 6), que l'on vient de présenter brièvement, nous a permis de constater que les collections cachent des surprises autant du point de vue de la conservation des éléments organiques près de cinquante ans après leur découverte, que du point de vue de la représentativité par couche des vestiges répertoriés lors des fouilles.

II.2.2. Constat sur l'état général des vestiges fauniques et difficultés rencontrées

Reconditionnement des collections fauniques

La plupart des os étant rangés « en vrac » dans des boîtes en cartons ou d'anciens sachets en plastique, il a fallu, dans un premier temps, les reconditionner. En effet, la plupart des contenants se déchiquètent ou s'effritent lorsqu'ils sont manipulés (figure 13). En évoquant la nature du conditionnement des vestiges auprès d'Arnaud Dessolier (en charge de la conservation des collections) et de F. Trotignon, nous avons pu comprendre que les vestiges ont subis plusieurs phases de conditionnement et de rangement dans différents lieux depuis leur découverte.

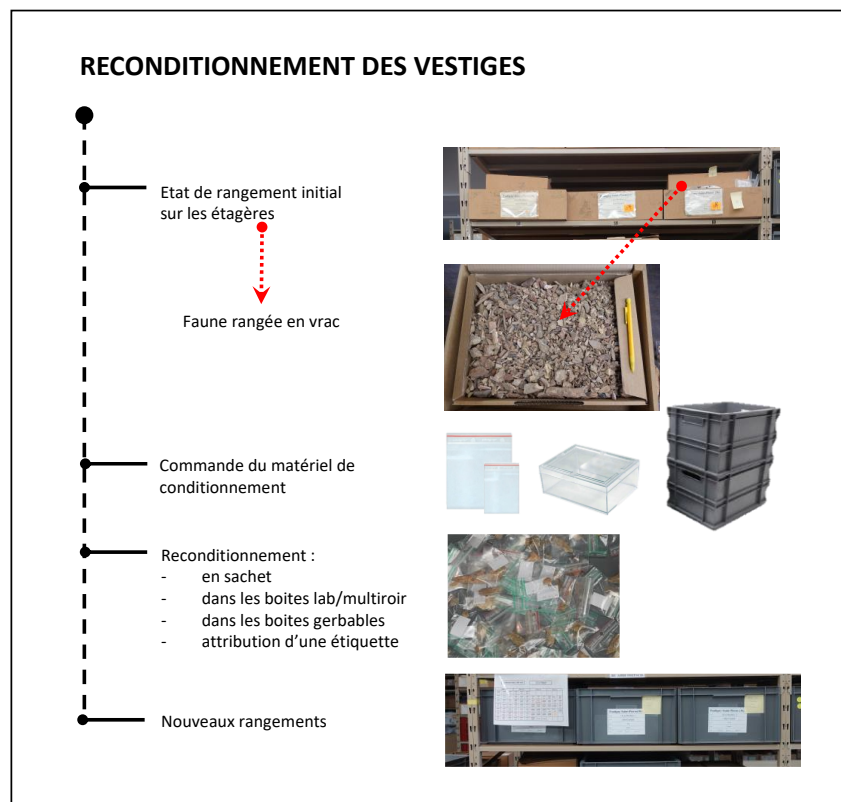


Figure 13 : État de conditionnement des vestiges osseux en vrac et protocole d'étude

Comme nous le verrons par la suite, cette manipulation intensive et répétée des collections de l'abri Fritsch depuis plus d'une trentaine d'années est à l'origine de l'état de conservation assez variable de la faune du site. Ces vestiges ont trouvé leur place définitive au musée Argentomagus ces dernières années mais les nombreuses manipulations ont favorisé une fragmentation de la plupart des ossements. Cette hypothèse est renforcée par l'observation des

surfaces osseuses qui offrent de nombreux pans de cassures fraîches (l'aspect crayeux et la couleur blanche de ces pans sont caractéristiques de tissus osseux récemment fragmentés).

Pour éviter d'autres incidents liés à la manipulation des vestiges, nous avons dû rapidement établir un protocole de reconditionnement des vestiges (figure 13 ; Catz, Bignon-Lau, 2020 ;).

Tout d'abord, il a fallu évaluer la quantité d'ossements pour pouvoir commander du matériel de rangement. Pour information, tout achat de matériel et certaines dépenses liées à nos missions, ont été pris en charges par le PCR « *Du dernier maximum glaciaire à l'optimum climatique dans le Bassin parisien et ses marges - Habitats, sociétés et environnements* », avec le soutien des responsables Ludovic Mevel et Sylvain Griselin. Nous avons ensuite rangé chaque vestige dans un sachet minigrip avec une étiquette qui retranscrit les données qui figurent sur les pièces : « site, années de fouille, couche, zone, n° de pièce ». Cette étape nous a permis de faciliter l'accès aux pièces à étudier et de commencer à toutes les répertorier dans une base de données. Les vestiges une fois déterminés et classés par espèces ont été rangés dans des boîtes « Lab cristal multiroir » de plus ou moins grandes dimensions. Pour terminer ces boîtes ont été rangées dans de grands bacs « gerbables » gris (voir photos sur la figure 13).

Ces premières étapes de travail ont présenté quelques difficultés :

- la première commande de matériel a été effectuée en octobre 2019 et nous avons utilisé presque l'intégralité du matériel de rangement trop rapidement. Ainsi, nous avons perdu du temps en attendant de pouvoir recevoir une nouvelle commande (commande passée en novembre 2021 entre deux confinements).
- de plus, si nous avons pu attribuer un sachet et une étiquette à chaque vestige avant de les déterminer et les ranger, nous avons sous-estimé le temps de manutention pour ces étapes (figure 13). Le report à la main des informations de fouille sur des étiquettes et le transvasement des vestiges un par un dans des sachets a représenté une étape chronophage mais essentielle pour étudier le matériel. En effet, cela nous a offert un accès plus direct aux pièces à étudier pour les répertorier dans une base de données.
- c'est enfin lors de cette retranscription des étiquettes, que nous avons pu constater que la plupart des vestiges fauniques n'avaient pas de numéro voire pas d'attribution de couche. En effet, le numéro de la couche et de la zone de fouille étaient notés sur le sac plastique, la boîte en carton ou autre contenant. Nous sommes donc partis du principe qu'un os dont la surface est vierge de toute information et qui est présent dans un sachet

ou boîte notée (numéro de couche et/ou zone) se verra attribuer l'information correspondante à celle du contenant.

Retranscription manuelle des archives sur la faune

Parallèlement à ces travaux de reconditionnement des vestiges, nous avons consulté les archives présentes au musée Argentomagus pour recenser les informations sur la faune qui sont parvenues jusqu'à nous. Parmi ces archives se trouvent les fiches d'inventaires et les cahiers de fouilles originaux qui datent des années 1963 à 1976. Nous avons pu consulter ces documents sur place et, pour toute couche étudiée ici, nous avons identifié les lignes d'inventaires dédiées à la faune. Afin de pouvoir comparer ces données avec celles issues de notre étude, nous les avons reportés manuellement dans une base de données numérique (annexe 3). Toutes les couches y ont été méthodiquement retranscrites à l'exception de la couche 5a qui ne présentait aucune fiche d'enregistrement dans les archives. C'est bien plus tard, en 2022 que Romain Malgarini a pu emprunter ces fiches d'inventaire au musée pour les scanner et les rendre accessibles à distance (Malgarini, 2022).

Comparaison des différentes sources de données sur le faune

Lorsque les vestiges ont été conditionnés, c'est à l'aide de nos connaissances en anatomie comparée et la consultation de référentiels osseux (livres d'anatomie comparée, modèles en 3D, bases de données ostéologiques en ligne) que nous avons pu mener une analyse taphonomique de l'ensemble faunique puis déterminer des os appartenant à différentes familles et espèces.

Ces travaux nous ont permis de comparer nos données avec celles issues de l'étude de T. Poulain et celles de la faune décrite dans l'inventaire des fiches de terrain datant des années 1963 à 1975 (tableau 7).

Tableau 7 : Comparaison des données de T. Poulain et N. Catz après réévaluation du matériel faunique des couches badegouliennes 4,5 et 6).

COUCHE	T. Poulain (1984)		Fiches d'inventaires		N. Catz (2023)	
	NR	NRD	NR	NRD recensés	NR	NRD
4	1797	1484	824	250	2141	309
5a	836	683	166	25	ND	175
5b	948	857	576	261	1636	591
5c	214	171	18	1	ND	3
5d	2045	1628	299	132	1511	511
6	2464	1765	708	192	36524	779

C'est lors de cette étape, que nous avons pu constater que les données de T. Poulain se sont révélées peu précises pour développer des analyses paléoenvironnementales sur la faune. On aurait voulu y trouver des détails sur des parties anatomiques déterminées, les méthodes de détermination des âges des individus ou encore des données sur la répartition spatiale des vestiges fauniques. Ces informations n'ont été retranscrites, ni sur les vestiges qui sont rangés dans des boîtes en vrac, ni dans la publication des spectres fauniques de 1984. De plus, le nombre de vestiges déterminés par nos soins (à ce jour) ne correspondent parfois pas aux chiffres présents dans les fiches d'inventaires ou ceux présentés par T. Poulain. La différence est tout à fait remarquable lorsqu'on compare les nombres de restes déterminés par couche (tableau 7). La plupart du temps, notre étude présente un nombre de restes déterminés très faible par rapport au nombre de vestiges déterminés en 1984 et nettement supérieur aux données enregistrées dans les fiches d'inventaires (tableau 7).

Pour expliquer l'écart observé entre nos décomptes et ceux recensés dans les fiches d'inventaire, nous proposons diverses hypothèses qui se combinent potentiellement : une surfragmentation liée à des manipulations et déplacements intensifs, la prise en compte des restes qui n'est pas totale (estimations, critère de détermination anatomique avérée ou pas ; tableau 7) ; enfin, certains vestiges ont peut-être été perdu au cours du temps. En effet, moins de la moitié des restes décomptés dans les fiches d'inventaires ont été identifiés par nos soins ce qui pose un problème d'interprétation des données fauniques aujourd'hui, si une partie des données identifiables a disparu. Par rapport aux études de T. Poulain, les interprétations que

nous développerons se fondent sur l'état actuel des ensembles et les décomptes que nous en avons fait (ou nous préciserons s'il s'agit des décomptes effectués par T. Poulain).

Cela nous permet aussi de rappeler que le marquage (ou son absence) des vestiges fauniques peut poser des problèmes d'attribution dans un contexte stratigraphique peu fiable :

- seul un os déterminé sur six est marqué comme provenant de la couche 5a ;
- presque un sur deux sur la couche 5b ;
- un sur trois sur la couche 6.

Tous les vestiges que nous avons pu déterminer anatomiquement ne portent pas de numéros (ni d'inventaire, ni de mètre carré parfois). Comme on l'a déjà évoqué ci-dessus, lorsque nous avons pu retrouver un numéro partiel, nous l'avons malgré tout noté.

Enfin, par manque de temps, nous n'avons pu terminer la détermination de tous les restes déterminables (tableaux 8, 9 et 10 cf. section « à déterminer »). La suite de ces travaux de détermination permettra peut-être, à l'avenir, de compléter les observations faites sur la présence ou l'absence de matériel faunique dans les collections.

En prenant en compte les difficultés rencontrées et le constat sur l'état de conservation des vestiges provenant des couches badegouliennes 4, 5 et 6 et dans le but d'apporter de nouvelles informations sur l'économie des ressources animales et l'environnement côtoyé par les humains et autres espèces à l'abri Fritsch, nous présentons ci-dessous nos résultats d'analyses taphonomique puis archéozoologique par couche.

II.2.3. Analyse taphonomique des vestiges osseux

Pour mieux comprendre l'origine de l'accumulation faunique étudiée, nous avons tenté d'évaluer les conditions d'enfouissement et de préservation relative des restes. On part de l'hypothèse suivante : la faune mise au jour représente les déchets, d'origine animale, laissés par les humains lorsqu'ils ont quitté les lieux. À ce propos, on sait déjà qu'en terme de conservation différentielle, toutes les tailles et types d'os de la couche 6 à la couche 4 sont conservés.

Pour vérifier cette hypothèse, on a procédé à l'identification des descripteurs taphonomiques déjà présentés auparavant : le *weathering* (actions climato-édaphiques d'après Bayle, 2000), les traces d'éléments végétaux et la fragmentation différentielle dans un premier temps ; et les traces anthropiques (os brûlés, traces de boucherie) dans un second temps.

Malgré l'aspect fragmenté du matériel osseux dans l'ensemble des couches, nous avons classé les vestiges par classes de tailles. Selon le protocole présenté en annexe (consulter annexe 4). Dans l'ensemble des couches étudiées, on remarque la bonne conservation de nombreux témoins osseux :

- de petite taille (os courts type phalanges, os du tarse et du carpe) ;
- très fins (type os plats du crâne, de l'omoplate ou scapula, os hyoïde).

Certains os courts entrent dans les classes de tailles A [$< 1\text{ cm}$] et B [entre 1 et 3 cm] selon les critères proposés par O. Bignon-Lau (Bignon, 2009). Or, exposés à l'air libre, ces témoins fragiles peuvent subir des détériorations rapides. La présence de ces vestiges, déterminables pour la plupart, est donc un indice de bonne conservation.

Détails sur l'étude taphonomique de la couche 6

Par manque de temps, nous n'avons pu étudier qu'une seule couche dans son intégralité : voici les données taphonomiques précisément acquises sur la couche 6. Nous avons commencé par évaluer la **taille des vestiges osseux** (figure 14). On observe que le taux de fragments déterminés de taille A (ici inférieurs à 1 cm^2) est particulièrement faible (0.5%) tandis que les fragments de taille B représentent presque 20% de l'assemblage et que les témoins de tailles moyennes (C et D) représentent plus de 75 % des restes. Enfin les plus grands ossements (tailles E et F) sont représentés avec de faibles taux (respectivement 2,6 % et 0,3 %). Ici, la distribution (figure 14) dessine un profil en cloche, ce qui n'est pas cohérent avec une fragmentation

intensive. Il semble y avoir un déficit net des catégories A et B, peut-être lié à des phénomènes d'entraînement (solifluxions) ou par un biais de ramassage lors des fouilles.

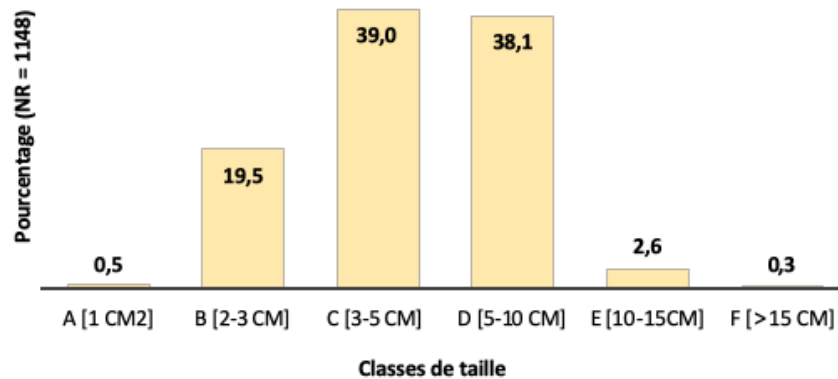


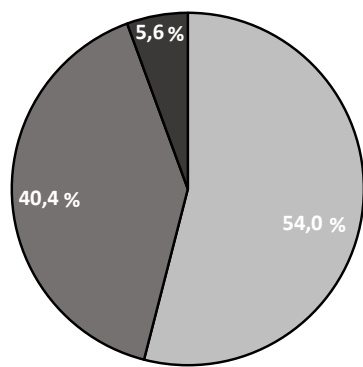
Figure 14 : Classement des os de la couche 6 par tailles (A [1cm²], B [2-3cm], C[3-5cm], D[5-10cm], E[10-15cm], F[>15cm])

Cette répartition des tailles parmi les vestiges étudiés peut résulter de phénomènes de fracturation (d'origine anthropique) et/ou de **fragmentation** (d'origine non anthropique). Pour identifier le phénomène à l'origine de cette composition, on s'intéressera ici à la fragmentation qui est d'ordre taphonomique et plus tard à la fracturation d'ordre anthropique (sous-chapitre II.2.4.1.).

Pour identifier la vitesse d'enfouissement des vestiges après leur abandon, nous avons déterminé le **weathering** (figure 15). Avec cet indicateur, plus les stades sont élevés, plus les altérations physico-chimiques des surfaces sont fortes et l'enfouissement des vestiges est lent. Sur la couche 6, on retrouve une configuration qui rappelle celle d'un contexte de conservation en abri sous roche :

- les stades 1 et 2 représentent presque 95% ;
- les surfaces ne sont pas délitées ou presque pas (stade 3 et 4) ;
- on peut identifier des parties anatomiques (latéralisation possible pour les fragments les mieux conservées).

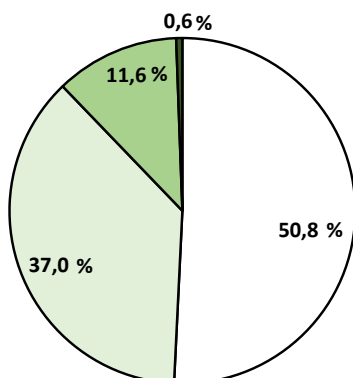
Ces observations nous permettent d'émettre l'hypothèse d'un enfouissement rapide des vestiges après leur abandon ou de conditions relativement favorables à la conservation des vestiges sous la paroi rocheuse.



WEATHERING	CARACTÉRISTIQUES
STADE 0	Aucun signe de détérioration ; l'os est encore gras, la moëlle est présente, la peau et la viande peuvent persister
STADE 1	Il apparaît des craquelures parallèles à la structure fibreuse (longitudinalement pour les os longs par exemple)
STADE 2	Des écaillures de la surface apparaissent, accompagnés des craquelures
STADE 3	La surface des os devient rugueuse et fibreuse
STADE 4	L'os est de plus en plus fibreux et rugueux ; des esquilles de forment, les craquelures s'ouvrent
STADE 5	De grosses esquilles se détachent de l'os

Figure 15 : Proportions d'os (en %) selon les stades de weathering de la couche 6 (N = 1034 ; d'après Auguste, 1994)

L'altération des surfaces osseuses dues à l'action racinaire (figure 16) est aussi un facteur explicatif de bonne conservation de l'assemblage faunique. En fonction du taux de recouvrement des traces de racines, on peut lire plus ou moins bien l'anatomie des témoins fauniques. Lorsqu'on considère les témoins de la couche 6 (en excluant les dents et les témoins de classe de taille A), la proportion des surfaces osseuses sans traces ou présentant quelques traces de vermiculation racinaires est parlante. En effet, seulement 50% des fragments observés (déterminés ou non) en présentent. De plus, on observe seulement quelques traces de racines sur 37% des surfaces (stade 2) et 12 % des os sont recouverts à moitié (11,6%) voire entièrement (0,6%).



RACINES	CARACTÉRISTIQUES
STADE 1	Pas de trace
STADE 2	Rares traces
STADE 3	Recouvrement de la moitié de la surface
STADE 4	Recouvrement sur toute la surface

Figure 16 : Taux de recouvrement des traces de racines sur les surfaces osseuses de la couche 6 (N = 1034).

On constate qu'il peut s'agir ici d'un contexte de conservation en abri sous roche classique. Les quelques témoins entièrement couverts de traces de radicelles sont très rares : phénomène que l'on peut observer quelques fois dans les contextes couverts (abri, grotte, avens-pièges).

Deux dernières remarques à propos de la taphonomie :

1. Nous avons identifié quelques traces interprétées comme étant celles laissées par des dents de rongeurs ou de carnivores (figure 17 a., b., c.). Les traces de type cupules (5a., 5c.) se retrouvent sur quelques surfaces et évoquent plutôt des dents de rongeurs. On a pensé aussi à l'hypothèse d'un travail de l'eau qui s'égoutte et vient ponctuer les surfaces (5a.) ou encore d'une digestion par un carnivore/charognard (5c.). Les écrasements (5b.) observés sur la mandibule de renne (*Rangifer tarandus*) semblent caractériser des coups de crocs (enfouissement en cercles concentriques) ce qui permet d'évoquer la présence de carnivores dans l'abri (probablement après abandon de l'occupation). D'après les bords pincés en biseau, on peut aussi penser qu'il pourrait s'agir d'un os digéré (5b.)

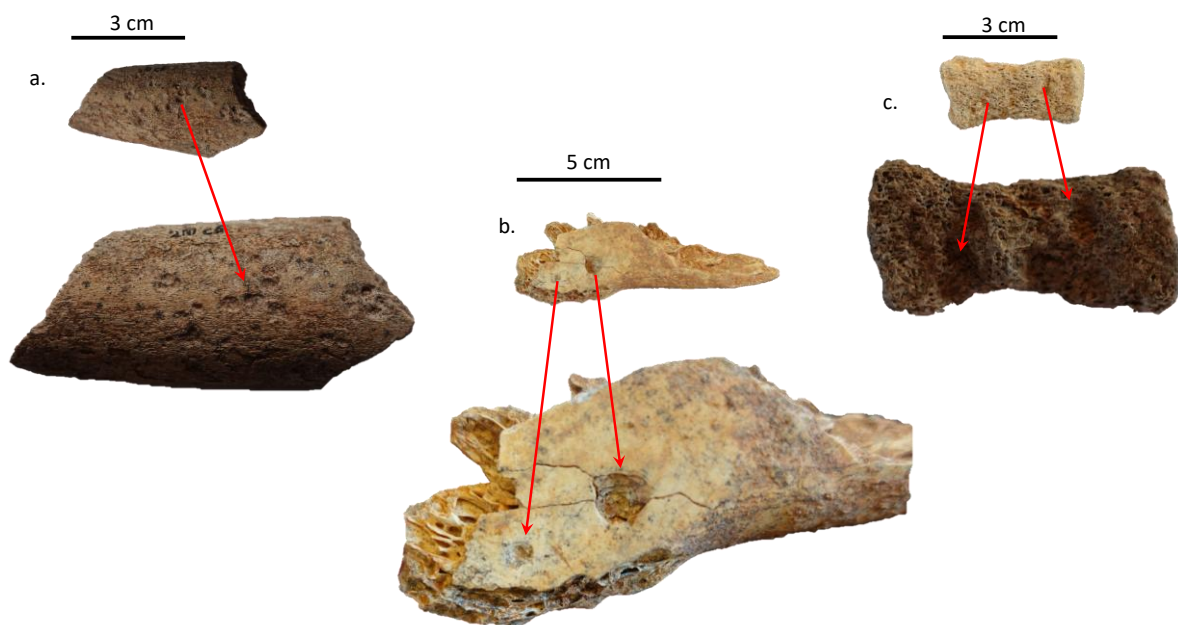


Figure 17 : traces A. LR-C6-2N1-sn – bois -> rongeurs ; B. LR-C6 Mandibule, fragment angle Rt D ; C. LR-C6-1N2-60 vertèbre caudale rongée (dissolution ?).

2. L'imprégnation ocreuse de certains vestiges (couches 6 et 4) pourrait être dû à un processus sédimentaire encore non identifié à ce jour ou à une intense utilisation de l'ocre par les Badegouliens.

II.2.4. Résultats de l'analyse archéozoologique

T. Poulain propose l'hypothèse d'un apport d'origine anthropique d'ossements sur le site en raison de leur association avec du matériel lithique taillé (Trotignon *et al.*, 1984). Nous pouvons confirmer cette hypothèse en apportant de nouveaux indices sur les activités de transformation grâce à la détermination des parties anatomiques, la reconstitution des spectres fauniques et l'étude des traces anthropiques qui sont parvenues jusqu'à nous. Malgré le constat que nous avons fait sur l'état de conservation post-fouille des vestiges, nous livrons les données acquises sur : la couche 6 que nous avons intégralement étudié tandis que les couches 5 et 4 ont été étudiées de façon plus sélective. Nos observations les plus récentes proviennent d'un travail sur la couche 6 achevé au cours de l'été 2024.

Dans les ensembles osseux sur lesquels nous avons travaillé, nous avons pu identifier une faune relativement similaire à celle observée par T. Poulain. En effet, on retrouve la présence des herbivores type équidés (cheval ; *Equus caballus*), cervidés (renne, *Rangifer tarandus*) et bovidés (*Bos*) ; des carnivores types canidés (loup, *Canis lupus*), félidés (renard, *Vulpes*), des mustélidés, et de la microfaune (examinée et publiée, Challine référence non trouvée).

II.2.4.1. La couche 6, un spectre dominé par le renne au début du Badegoulien

La **couche 6** serait la « couche d'occupation humaine la plus importante de l'abri Fritsch » d'après son contenu (Trotignon *et al.*, 1984, p. 23). Les couches sous-jacentes sont considérées comme ayant été occupées par des groupes solutréens. La couche 6 peut donc potentiellement représenter une occupation de transition entre le Solutrén et le Badegoulien. La coloration de cette couche intermédiaire nous permet d'émettre l'hypothèse d'une fouille plus cohérente et de l'appartenance, pour les vestiges fauniques, à un ensemble culturel lui aussi cohérent. Pour ces raisons, nous avons passé plus de temps sur cette occupation badegoulienne. S'il est plus difficile d'un point de vue culturel de déceler des variations dans les stratégies de chasse entre Badegouliens et Solutréens, la couche 6 serait à même de témoigner de changements. Voici les observations faites sur l'assemblage faunique, en retraçant les étapes de la chaîne alimentaire des matières animales.

ACQUISITION DU GIBIER

Spectre faunique

Sur environ 36 500 fragments osseux décomptés (vs NR_Poulain = 2464 sans les esquilles ; Poulain, 1984), nous avons pu en déterminer 779 en procédant à une détermination par types d'os et par parties anatomiques quand cela est possible (tableau 8). Parmi les 707 fragments inscrits dans les fiches d'enregistrement de la couche 6, nous avons pu en recenser seulement 192 parmi nos données (tableau 8). Pour les autres restes de faune déterminés (NR = 587), l'attribution à la couche 6 ne correspond pas aux fiches d'enregistrement. De plus, on a trouvé beaucoup de vestiges dans des boîtes où figure le numéro de couche et parfois le mètre carré sans que ces informations ne soient notées sur les pièces. Ces restes fauniques ne présentant ni numéro de fouille, ni informations renseignant le mètre carré ont été considéré comme étant « non recensés » lors des fouilles et ont été tout de même intégré à l'étude.

Tableau 8 : Spectre faunique de la couche 6

Espèces - détermination	NR	NMlc
Renne (<i>Rangifer tarandus</i>)	660	8
Cheval (<i>Equus c. gallicus</i>)	108	4
cf. Léporidé	3	1
cf. Ursidé	4	1
cf. Félidé/canidé	3	1
cf. Mustélide	1	1
Total NR déterminés	779	14
Taille II (capriné, petit cervidé)	35	
Taille III (<i>Rangifer, Cervus</i>)	58	
Taille III-IV (grand cervidé, petit <i>Equus</i>)	98	
Taille IV (<i>Equus, Bison</i>)	194	
À déterminer	36	
Esquilles/ Tamisage	35324	
Total NR indéterminés	35745	
Nombre total de restes	36524	

Les restes de renne (*Rangifer tarandus* ; NR = 660) et de chevaux (*Equus caballus* ; n = 108) dominant le spectre faunique (98,5% du NR, tableau 8). Quelques restes de léporidé (n = 3) ; d'ursidé (possiblement de l'ours des cavernes, n = 4) ; de mustélide (n = 1) et de carnivores type canidé/félide (n = 3) ; viennent compléter le spectre de la couche 6. Parmi les restes de cette couche, T. Poulain avait identifié du bouquetin et du sanglier que nous n'avons pas pu retrouver. On présume que certains vestiges sont absents et probablement perdus. L'hypothèse de la perte se confirme en observant les fiches d'enregistrements et les plans de répartition qui sont parvenus jusqu'à nous. Ces documents permettent notamment d'identifier de nombreux restes dentaires dont on reconnaît le dessin, voir ci-dessous sur la figure 18).

Plus d'une vingtaine de ces données enregistrées lors de la fouille n'ont pas été retrouvées malgré un travail minutieux sur tous les restes dentaires rencontrés pour mener une analyse archéozoologique complète. Il semble donc évident que certaines pièces, observées autrefois par T. Poulain, sont absentes : ces vestiges ont-ils disparu de la collection depuis longtemps ? Seraient-ils rangés dans d'autres caisses de l'abri Fritsch contenant d'autres types restes ou s'agit-il seulement de restes dentaires isolés du reste des collections ? Nous n'avons pu à ce jour mettre la main dessus.

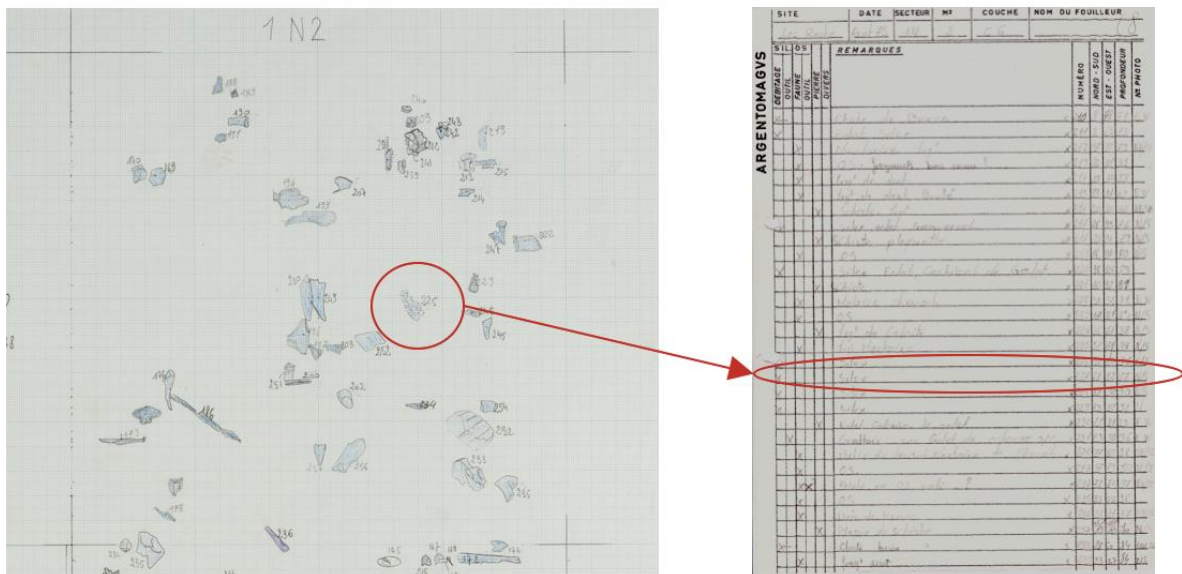


Figure 18 : identification sur plan et sur fiche d'inventaire d'une série dentaire qui ne figure pas dans les collections étudiée, pièce identifiée comme ayant le numéro 225 et décrite lors de l'enregistrement comme étant un « fragment de mâchoire ».

Choix cynégétiques et profils paléodémographiques

Malgré l'écart important de nos données avec celles de T. Poulain, on retrouve un choix d'espèces similaire. Celui-ci rappelle le tableau de chasse classique des groupes du Paléolithique supérieur dans le Bassin parisien (Bignon-Lau, 2014). En effet, la surreprésentation du renne (*Rangifer tarandus*) et du cheval (*Equus caballus*) souligne probablement des choix économiques chez les Badegouliens de Fritsch. Les chasseurs ont-ils fait des choix préférentiels en termes de gibier ? Parmi les individus identifiés, on s'est intéressé à certaines caractéristiques économique qui ont pu pousser les groupes étudiés à sélectionner des individus selon la quantité ou la qualité de la peau par exemple ou encore la quantité ou la qualité de la viande qu'ils fournissent. Pour répondre à cette question, nous avons voulu

reconstituer les profils démographiques chez le renne puis le cheval. Malheureusement, certains décomptes trop faibles ne nous ont pas permis d'aller jusqu'au bout de l'analyse.

Le renne (Rangifer tarandus)

Pour reconstituer un profil démographique, nous avons besoin de calculer le nombre minimum d'individus (NMI) fiable et de les classer par âges.

Afin de calculer le NMI de rennes présents dans l'assemblage, nous nous sommes intéressés au décompte du nombre minimum de parties squelettiques (NMPS voir Vigne, 1988 ; Bignon 2003). Malgré un calcul minutieux de notre part, nous ne sommes pas arrivées au même décompte que T. Poulain (NMIc = 25). Nous avons estimé un NMI de fréquence de huit rennes (8 mandibules gauches, 8 tibias gauche et droite de rennes ; tableau 8).

Concernant le NMI de combinaison, T. Poulain a pu en dénombrer 25 et leur attribuer un âge *via* l'observation des stades d'éruption dentaire et de leurs bois. Ces chiffres dénotent avec les nôtres car nous n'avons pu identifier que 22 incisives de rennes, quelques dents isolées et une série dentaire encore insérée dans le maxillaire gauche. Si l'on sait que chaque individu renne a 8 incisives, on peut estimer, à partir du décompte dentaire, un nombre minimum de 3 individus. On a donc dû garder le NMI de fréquence calculé à partir du squelette post-cranien pour obtenir un NMI de combinaison similaire (Vigne, 1988).

N'ayant pas assez de données sur les dents pour répartir les individus rennes par classes d'âge, nous ne sommes pas en mesure de reconstituer un profil démographique à partir de nos données. Si l'on prend juste en compte les âges donnés par T. Poulain chez le renne : on retrouve une majorité d'individus adultes ($n = 16$), deux juvéniles (un d'environ deux mois et un d'environ trois mois) et quelques jeunes ($n = 7$, deux d'environ 8 mois, trois d'environ 15-18 mois et deux de 2 ans ; Poulain, 1984). On pourrait tenter de construire un profil démographique avec ces données, mais le constat est là : nous sommes loin du décompte originel de T. Poulain et la remarque tient aussi pour le cheval (voir ci-dessous).

Du point de vue des choix cynégétiques, nous nous sommes intéressés à la saisonnalité des activités de chasses. Selon les âges donnés par T. Poulain en 1984, on a observé deux saisons de chasse pour le renne. Par convention, le pic de naissances chez les rennes est situé début juin (vers la fin du printemps ; David, 1997 ; Bignon *et al.*, 2006). Si l'on se base sur cette information, on observe une saison de chasse qui s'étend de la fin du printemps à l'automne (saison chaude, début saison froide). Elle comprendrait deux épisodes estimés à l'aide des âges

donnés par T. Poulain : un à l'automne et l'autre à la fin du printemps. Cela étant dit, seulement peu d'individus identifiés par T. Poulain sont parvenus jusqu'à nous et l'on doit se reposer sur sa détermination pour identifier la saisonnalité.

L'étude de María I. Borao et Jean-Marc Pétillon sur l'industrie osseuse de l'abri Fritsch nous renseigne sur l'acquisition des bois de renne (Borao et Pétillon, 2024). D'après l'analyse des couches badegouliennes, ces auteurs y décomptent 7 parties basilaires de bois dont 5 sont des bois de chute et 2 sont des bois de massacre. Les badegouliens auraient, ici, une préférence pour la collecte des bois de chute : « En ce qui concerne l'acquisition de la matière première, [...] pour le Badegoulien elle montre la même tendance que celles documentées ailleurs, au Badegoulien et au Magdalénien, avec une préférence pour le bois de renne de chute (Pétillon et Averbouh, 2012 ; Pétillon, 2016) » (Borao et Pétillon, 2024, p. 51.). La présence de bois de chute « peut suggérer une collecte entre la fin de l'automne et le début de l'hiver » (Borao et Pétillon, 2024, p. 47). Et la présence de deux bois de massacres laisse les auteurs penser que cela correspond à un abattage d'un renne hors période de chute, entre la fin de l'été et le début de l'automne (estimation selon le module et l'épaisseur du tissu compact). Mais la consommation de cette matière première aurait pu se faire de façon différée donc ces observations sont à modérer.

Le cheval (Equus c. gallicus)

Nous avons estimé un NMI de fréquence de deux chevaux à partir du calcul du NMPS (mandibules gauches/droites de chevaux ; tableau 8).

Concernant le NMI de combinaison, T. Poulain a pu dénombrer 16 chevaux et leurs âges *via* l'observation des stades d'éruption dentaire. Tandis que nous avons pu identifier seulement quelques dents de chevaux dont : 4 incisives, 2 prémolaires inférieures (p3/4 et p2, gauche et droite) et deux prémolaires supérieures (p3/4 et p4, droites). Ces dernières données nous permettent d'identifier un NMI de combinaison de 4 chevaux sur la couche 6.

Le faible NMI ne permet pas de reconstituer, à l'aide de nos données, un profil de mortalité exhaustif pour les chevaux. Cependant, nous avons pu calculer l'âge de seulement 3 individus sur les 4 identifiés initialement. Le calcul a été fait *via* l'analyse des stades d'éruption des dents (d'après Bignon, 2003). Nous avons identifié :

- un adulte de 5-6 ans ;
- un adulte de 5-10 ans ;

- un vieil individu de 14-15 ans.

Habituellement, la répartition pour faire un profil démographique des équidés s'effectue en fonction de classes d'âge spécifiques correspondantes à une maturation différente (0-2 ans, 2-5 ans, 5-10 ans, 10-15 ans et plus de 15 ans ; Bignon, 2003). Ici, en termes de pratiques cynégétiques, il semblerait que les Badegouliens se sont plus particulièrement intéressés aux chevaux adultes et vieux adultes (au-delà de 5 ans). On retrouve ce type de configuration dans le Bassin parisien au Paléolithique supérieur par exemple au Closeau dans certains locii (Azilien ancien ; voir Bignon et Bodu 2005, Bignon 2008). Se pose à nouveau la question de la conservation post-fouille ou d'un tri lors de la fouille pour expliquer un manque de dents conséquent en comparaison avec les décomptes de T. Poulain.

Parties squelettiques

Ici nous dressons le bilan des parties squelettiques en présence pour chaque espèce dominante, telles que nous avons pu les déterminer. Le calcul des taux de survie de chaque élément squelettique (% PO), permettant d'aborder le transport des parties anatomiques et le traitement boucher *in situ*, risque d'être biaisé par le manque de certaines données (les dents et mandibules par exemple). On constate, tout d'abord, la diversité des éléments par espèce ce qui nous permet ensuite de confronter nos observations aux analyses taphonomiques et enfin d'apporter des informations sur les étapes de transformation, consommation et rejets des parties matières animales.

*Le renne (*Rangifer tarandus*)*

Chez le renne, le segment de tête est représenté par des fragments de bois, de crâne et de mandibules (sans les séries dentaires, comme on l'a évoqué ci-dessus ; figure 19). Le segment du rachis, est presque absent avec seulement des fragments de côte que l'on situera plutôt vers les dernières (7° à 10°) et quelques fragments de vertèbres. Le segment de membre antérieur est complet avec la présence des carpes, des métacarpes vestigiaux ou des phalanges qui peuvent parfois avoir disparus à cause de la conservation différentielle des parties squelettiques. On observe aussi un segment de membre postérieur complet. Tous les segments du renne sont attestés dans l'assemblage ce qui nous permet de dire que les Badegouliens de l'abri Fritsch ont rapporté des rennes entiers ou sous forme de segments anatomiques pour les consommer *in situ*. Pour avoir une idée claire des comportements économiques des humains de la couche 6 on s'intéresse plus loin au traitement et au rejets des carcasses animales (paragraphe « Traitement des carcasses »).

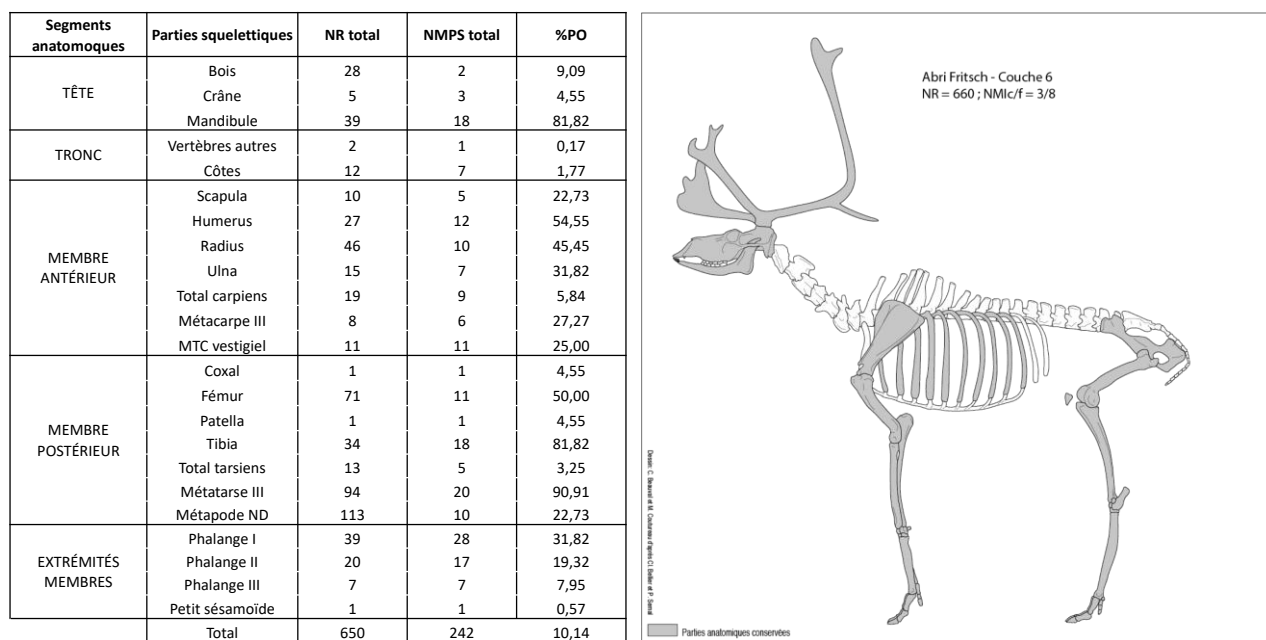


Figure 19 : Tableau et schéma des fréquences de parties squelettiques de renne par segment dans la couche 6 de l'Abri Fritsch (NMI c/f = 3/8).

Le cheval (Equus c. gallicus)

En ce qui concerne le cheval, nous avons déterminé moins d'éléments squelettiques que chez le renne (figure 20). On peut expliquer cela par l'absence de critères anatomiques sur les surfaces osseuses moins bien conservées. Cela peut être lié à une exploitation moins intense de cette espèce par les badegouliens. Concernant la présence des segments : le segment de tête apparaît complet sans compter les dents. Le segment du rachis est présent notamment au niveau de la tête (vertèbres cervicales) et de la queue (vertèbres caudales). Cela étant dit, certains fragments de vertèbres n'ont pas été associés au cheval mais déterminés dans la catégorie « grand ongulé » (taille IV ; Brugal et Croitor, 2007). Enfin, pour ce qui est des segments de membres, ils ne sont pas complets. En effet, on note la présence des os longs sauf l'ulna et l'absence de la plupart des os du carpe pour le membre antérieur. De même, pour le membre postérieur qui présente les os longs mais pas d'os du tarse (figure 20). On ne peut malheureusement pas expliquer l'absence des os courts (tarses et carpes) par l'état de conservation étant donné que ces mêmes os sont présents chez le renne (voir figure 19, ci-dessus).

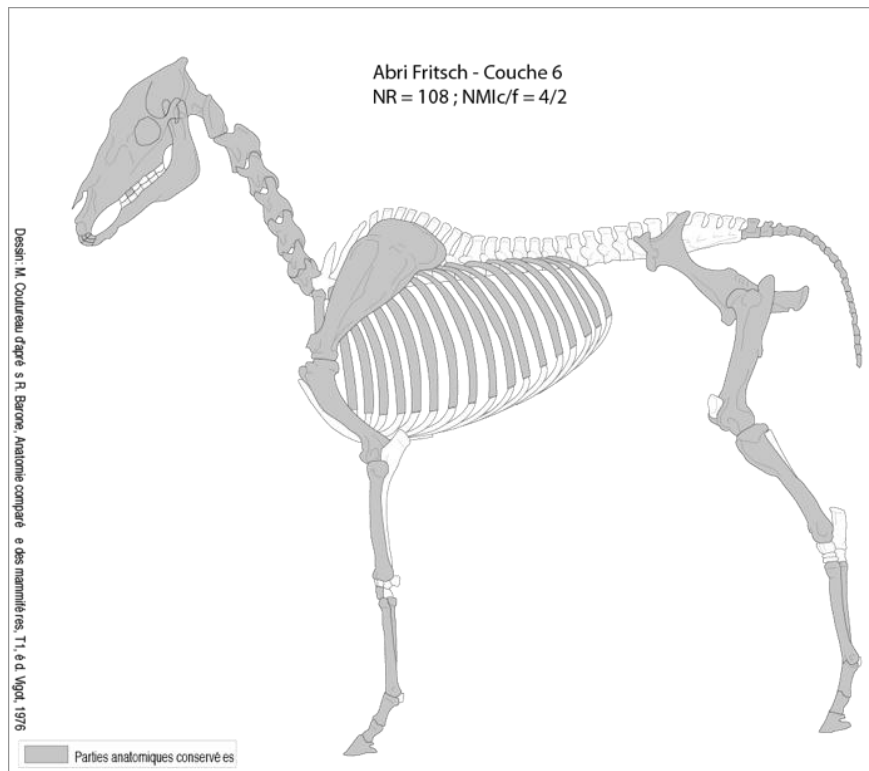


Figure 20 : Parties squelettiques des chevaux de la couche 6 à l'Abri Fritsch (NR = 108 ; NM c/f = 4/2

Tous les segments du cheval sont attestés dans l'assemblage ce qui nous permet de proposer l'hypothèse d'un apport des chevaux entiers par les Badegouliens de l'abri Fritsch. L'option d'un apport sous forme de segments anatomiques pour les consommer *in situ* est aussi possible étant donné que les os courts viennent à manquer et que les vertèbres lombaires et thoraciques semblent être absentes. Les membres auraient été segmentés au niveau des carpes et tarse et les côtes détachées de la colonne vertébrale. Nous avons vérifié nos hypothèses en tentant de reconstituer la phase de traitement des carcasses.

TRAITEMENT DES CARCASSES

Si les humains ont cherché à exploiter certaines espèces c'est pour mieux répondre à leurs besoins alimentaire et technique. Certaines activités liées au traitement des carcasses après acquisition, laissent des traces reconnaissables dès l'observation macroscopique car elles modifient les surfaces osseuses et/ou la forme des os. On pense notamment à la découpe de la carcasse qui peut laisser des stries de « boucherie » ou encore à la fracturation des os pour en récupérer la moelle (Patou-Mathis, 1994 ; Binford, 1981 ; Bridault, 1993 ; Costamagno, 1999 ;

Chaix, 2004 ; Leduc, 2010 ; Soulier, 2013 ; Costamagno *et al.*, 2019). Certaines modifications peuvent aussi être involontaires comme le piétinement par les humains ou par les animaux lorsque les vestiges sont en cours d'enfouissement ou déjà enfouis (fragmentation ; voir ci-dessus II.2.3.). Ici, nous nous sommes intéressées à tous les types de modification des os liés à l'activité humaine qui permettraient de confirmer l'hypothèse d'une origine anthropique de l'assemblage osseux. À noter aussi que pour justifier de l'étude des vestiges qui n'ont pas de numéro de pièce ou de mètres carrés (vestiges « non recensés » dans les fiches d'enregistrement notamment), nous avons systématiquement cherché à savoir si l'on peut considérer leur présence d'origine anthropique ou naturelle.

Découpe des carcasses

Parmi les stigmates laissés sur les os pendant le traitement des carcasses, on peut observer des stries de boucherie (directement liées à découpe de l'animal juste après la chasse ou plus tard). Nous avons pu en observer sur les vestiges de la couche 6, et d'après notre estimation nous avons relevé leur présence sur 80 pièces (figure 21). Ce chiffre est approximatif car certaines traces pourraient avoir d'autres origines que la boucherie :

- La première pièce est un os hamatum gauche de cheval strié sur sa face dorsale qui pourraient correspondre à des traces de désarticulation (figure 21a). Cette observation permet de renforcer l'hypothèse d'une segmentation des membres au niveau des os du tarse et carpe. Cela pourrait faciliter le transport par exemple.
- La seconde pièce est un bord latéral d'humérus droit de renne. Elle présente une série de courtes stries peu profondes et parallèles (environ un centimètre, figure 21b). Cette zone extérieure de la patte antérieure droite peut correspondre à l'endroit où l'os est peu recouvert de tissus graisseux ou adipeux : ainsi, ces stries laissent penser à une activité de dépouillage.
- Enfin, on a pu identifier de nombreuses stries parallèles sur un fragment de côte. Nous n'avons pu déterminer l'espèce ni retrouver l'activité à laquelle les stries pourraient correspondre (figure 21c).

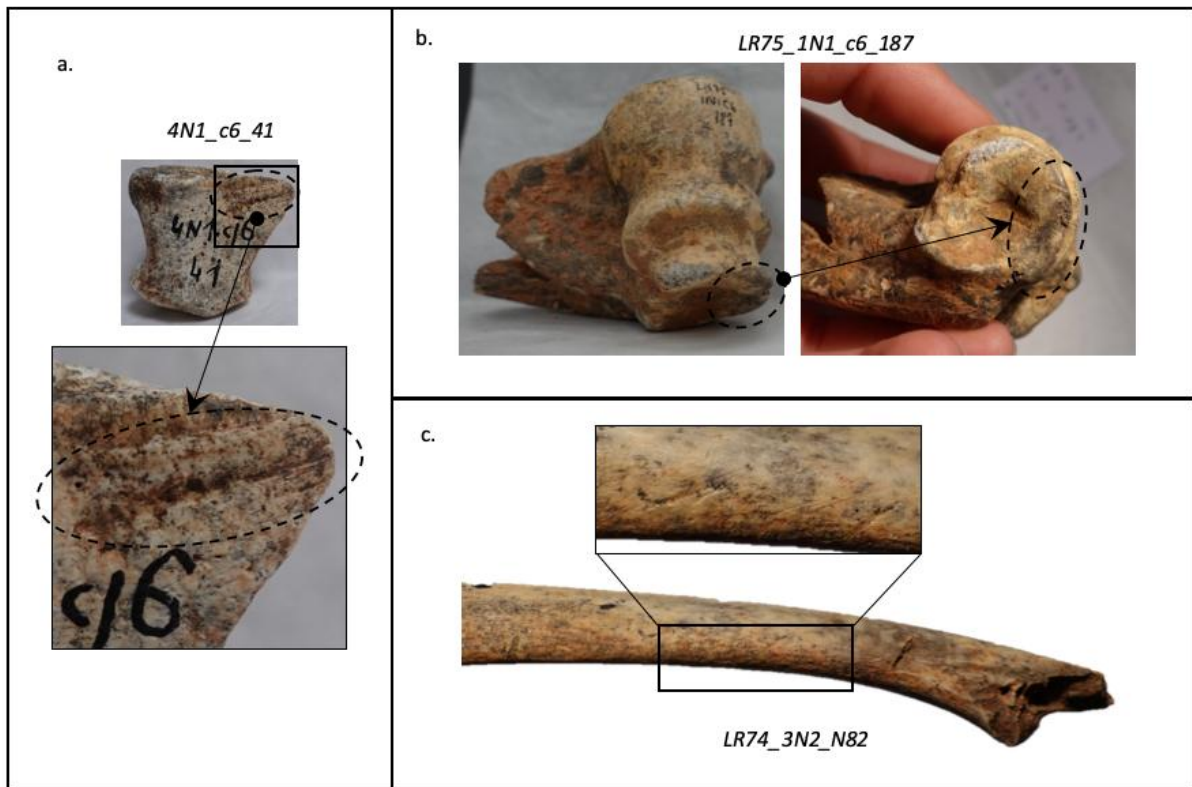


Figure 21 : Stries de découpe identifiée sur différents vestiges de la couche 6, os hamatum (a.), épiphyse distale d'humérus de renne (b.) et fragment de côte (c.)

D'après les traces stries identifiées sur l'assemblage osseux de la couche 6, on peut dire que l'activité de boucherie est attestée parmi les étapes de traitement des carcasses.

Fracturation des os longs

La fracturation intervient sur l'os frais et « se produit très généralement avant l'enfouissement, tandis que la fragmentation concerne essentiellement les os secs (esquillements « en baguettes »), parfois enfouis ou en cours de fossilisation » (Bignon et Christensen, 2009, p.3). Or, l'analyse taphonomique a révélé, parmi les os, des taux de fragments de petite taille (A) et de taille moyenne (B et C) très importants. On s'est intéressé aux os longs pour comprendre le phénomène qui est à l'origine de cette répartition. En effet, ce type d'os est souvent concassé ou fracturé pour en récupérer la moelle. Or, le classement des os longs par taille (figure 22), souligne l'hypothèse d'une fracturation des os suivi d'un concassage. Le nombre important d'esquilles d'os (brûlées ou non) laisse penser que beaucoup d'os ont été concassés. En effet, le concassage laisse de nombreux petits fragments d'os plus ou moins allongés (fracturation dans le sens des fibres de l'os) que l'on a pu identifier dans les boîtes d'« esquilles » osseuses

évoquées en début de chapitre. Le nombre d'os de taille A a été calculé sommairement, par mètre carré, via la pesée d'échantillons préalablement décomptés et triés selon leur couleur (noir, marron, blanc...). Le nombre de ces fragments obtenu reste approximatif mais donne une idée de grandeur de la répartition par taille des vestiges osseux au sein de la couche 6. Cela étant dit, on a pu s'intéresser ensuite aux fragments de taille B qui représentent moins de 10% des os (9,2 %). De plus, on ne trouve aucun os long entier et les fragments de grandes tailles sont assez peu représentés (5% pour les tailles E et F). On a donc pu observer que la plupart des fragments sont de tailles moyennes C et D (35,2% et 50,6% respectivement) et présentent tous des stigmates de fracture sur os frais. En effet, plus de 90% des os longs du corpus présentent des pans de fracture dits « en spirale », qui caractérisent la fracturation sur os frais. La fragmentation des os secs est moins représentée dans le corpus de la couche 6 avec moins de 30 % (figure 23).

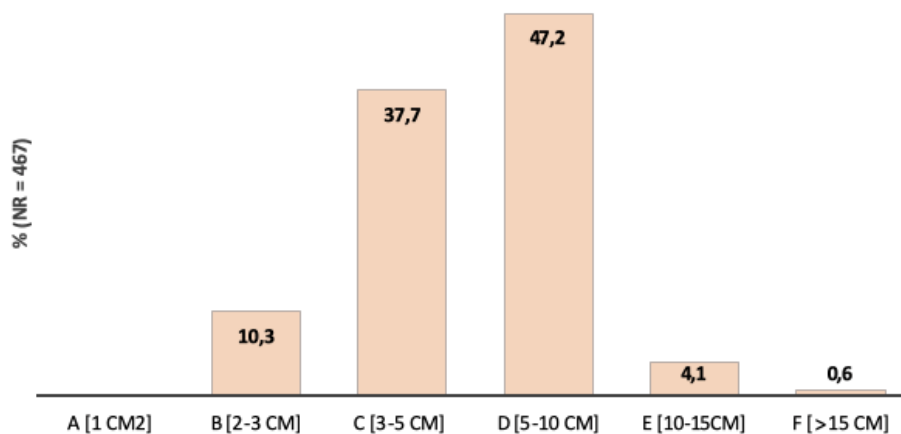


Figure 22 : Classement des os longs de la couche 6 par tailles (A [1cm²], B [2-3cm], C[3-5cm], D[5-10cm], E[10-15cm], F[>15cm])

La présence de ces stigmates permet d'émettre l'hypothèse d'une fracturation intentionnelle presque systématique des os longs. Et la présence de points d'impacts associés aux pans de fracture en spirale sur certains os, renforce cette hypothèse. Les os longs auraient été fracturés frais en vue de la récupération de la moelle osseuse (Bridault, 1993).

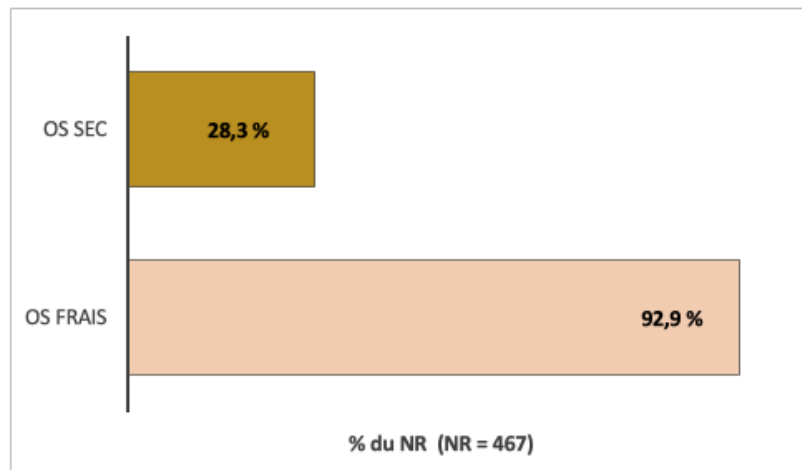


Figure 23 : Taux de stigmates de fracturations observés sur 467 os longs de la couche 6 (os frais = pans de fracture hélicoïdaux , os sec = fracture en escalier).

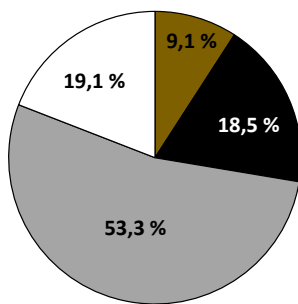
Cependant, certaines surfaces tibiales (chez le renne) présentent aussi des pans de fracture en escalier et des zones d'écrasements (tibias droits et gauches confondus) qui laissent penser à une fragmentation importante des os. Peut-on alors envisager que les os aient été fracturés pour être vidés de la moelle (fracturation et consommation alimentaire) puis rejetés et fragmentés (rejet, piétinement...)?

Utilisation des os comme combustible

Une fois fracturés les os peuvent aussi avoir servi de combustible. Ce qui nous permet d'émettre cette hypothèse c'est l'absence, dans l'assemblage, de nombreuses épiphyses (distales et proximales) des os longs étudiés. Ceci peut être lié à un biais d'observation mais nous proposons d'expliquer cette sous-représentation par une exposition au feu. En effet, les épiphyses osseuses, plus spongieuses que les diaphyses, brûlent et se consumeraient plus vite que ces dernières, elles subiront donc plus de dommages. Pour vérifier cette hypothèse, nous avons cherché à identifier le rôle du feu dans la conservation et dans la destruction des os de l'assemblage faunique étudié. On a, en effet, identifié des traces de chauffe sur presque la moitié de l'échantillon analysé se composant de 1029 os (os brûlés NR = 492 ; figure 24) et parmi les esquilles d'os décomptées grossièrement via la pesée des sachets d'os de petite et très petite taille.

D'après certaines études taphonomiques qui traitent de l'action du feu sur les ossements, on pense que les os entiers ou fracturés grossièrement ont pu être utilisés comme combustible :

« ...les activités associées à la combustion vive peuvent tout à fait être réalisées avec de l'os spongieux. Pour toutes les activités qui s'inscrivent dans la durée, comme l'éclairage, le séchage, le fumage et la cuisson des aliments, la protection, l'entretien d'un foyer domestique, il convient d'employer du spongieux frais et entier, de préférence des extrémités distales » (Théry-Parisot et Costamagno, 2005, p. 249). Dans cette étude, le plus souvent les décomptes proviennent de très petits fragments qui traduisent l'altération très forte voire l'explosion de fragments d'os de taille plus grande (sur-fragmentation liée à l'action de la chauffe soit très intense, soit très longue). Or, dans les sachets d'esquilles osseuses de la couche 6, on a identifié une grande fraction d'os plus ou moins brûlés (de marron à blanc) qui peuvent correspondre à ce type de restes. Une étude plus approfondie des esquilles permettrait de confirmer ou d'infirmier cette hypothèse.



COULEURS	CARACTÉRISTIQUES <small>(d'après Shipman et al. 1984)</small>
MARRON	> 400°C
NOIR	> 650°C
GRIS	< 650°C
BLANC	< 800°C – os calcinés

Figure 24 : Répartition des os présentant des traces de chauffe (NR =492) par stades de chauffe (du marron jusqu'au blanc, d'après Shipman et al., 1984).

De plus, même si « aucun foyer construit » n'est découvert dans la partie ouest du gisement, certaines zones cendreuses - interprétées comme étant des vidanges - ont été mises en évidence dans les couches 4, 5d et 8b (Trotignon, 1984, p.20). Mais aucune mention de ce type de zone n'est faite à propos de la couche 6 hormis une « zone de bruli (vidange de foyer ?) » que l'on a pu repérer sur un plan du mètre carré 1N2 dessiné en 1974 (figure 25).

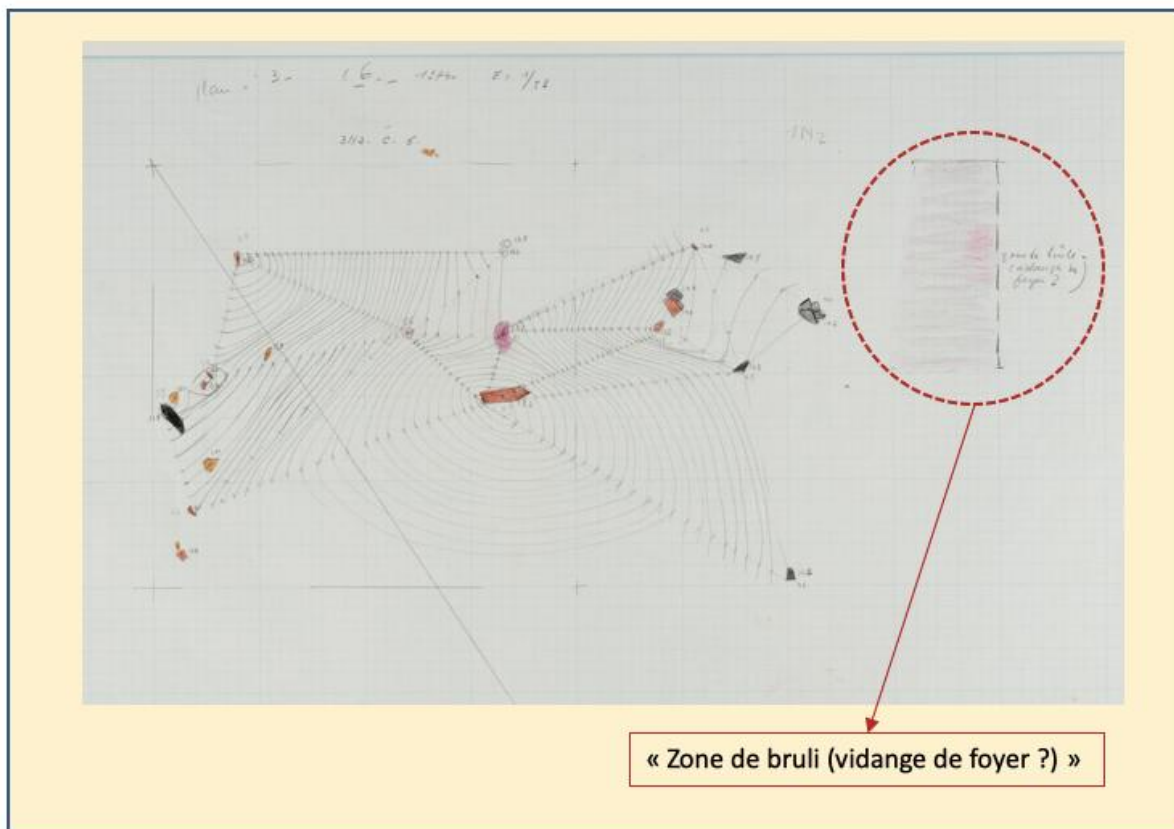


Figure 25 : Aire du mètre carré 1N2, définie comme étant une « zone de bruli (vidange de foyer ?) » par l’auteur du plan 3 de la couche 6 (1974).

Industrie osseuse

La présence d’industrie osseuse fut mise en évidence très tôt dans les découvertes du site. Elle permet de confirmer que les vestiges osseux ont bien été apportés et traités par les Badegouliens. Parmi les éléments anatomiques travaillés, on retrouve notamment des dents percées (incisives de cervidés et de carnivores notamment), du bois de renne et des os. La récente étude menée par M. Borao et J.-M. Pétilion, confirme que les activités liées à la confection de parure et/ou d’objets domestiques, se sont déroulées sur le lieu d’occupation de la couche 6 « [...] le Badegoulien ancien de l’abri Fritsch montre une production très importante *in situ* [...] et une grande richesse typologique des ensembles. » (Borao et Pétilion, 2024 ; p.51).

Comme on l’a vu précédemment, les bois de renne auraient été plutôt collectés (bois de chute) que récupérés lors de la chasse (bois de massacre). Ils semblent, ensuite, avoir été débités par percussion directe sur place. Ces résultats d’analyse confirment les observations faites par J. Allain et A. Rigaud sur la technique de transformation du bois (Allain *et al.*, 1974 ; Rigaud, 2004) et celles faites par J.-M. Pétilion et A. Averbouh sur l’acquisition des bois de chute par

les Badegouliens et Magdaléniens du Bassin parisien (Pétillon et Averbouh, 2013 ; Pétillon, 2016).

Concernant l'utilisation de l'os, il semble que les badegouliens ont utilisé des déchets de boucherie pour répondre à leurs besoins techniques. Les Badegouliens ont recouru à ce que O. Bignon-Lau et ses collaborateurs nomment : « la fracturation *sensu lato* » (Bignon-Lau *et al.*, 2018). C'est le fait d'employer les déchets issus de la fracturation des os frais pour répondre à des besoins techniques. On retrouve d'ailleurs, dans l'industrie osseuse, les mêmes espèces que nous avons pu identifier dans le spectre faunique de la couche 6 (renne et cheval).

L'hypothèse d'un travail des matières dures animales lors de l'occupation de la couche 6 est renforcée par les données issues de l'étude de l'industrie lithique. En effet, F. Trotignon y a identifié un nombre important d'outils (n = 215) et compte, parmi eux, de nombreux grattoirs (sur lame notamment, n = 41), de très nombreux burins (n = 77) et de perçoirs (n = 11). Est-ce que ces outils pourraient être liés au travail de l'industrie osseuse ? Sans analyse tracéologique pour y répondre, la question reste en suspens.

OBSERVATIONS SUR LA RÉPARTITION SPATIALE DES VESTIGES

On s'intéresse à la répartition spatiale des vestiges fauniques pour tenter de répondre à une question d'ordre économique : si les vestiges sont en place (c'est-à-dire qu'ils n'ont pas été déplacés par des facteurs taphonomiques ni anthropiques depuis leur abandon), peut-on reconstituer des zones d'activités liées au traitement des carcasses et à la consommation technique et alimentaire des restes animaux *in situ* ?

D'après les fiches d'enregistrement des vestiges, la couche 6 fut fouillée de 1963 à 1975 (figure 26). Parmi les 779 os déterminés sur cette couche, seulement 192 d'entre eux sont répertoriés dans les fiches d'enregistrement. Les plans de répartition des vestiges que nous avons pu récupérer auprès de F. Trotignon en 2019, indiquent seulement la répartition de certains vestiges lors de la fouille des mètres carrés de S2 à N2 dans les bandes 3 et 1 des années 1974 et 1975 (voir plan figure 26).

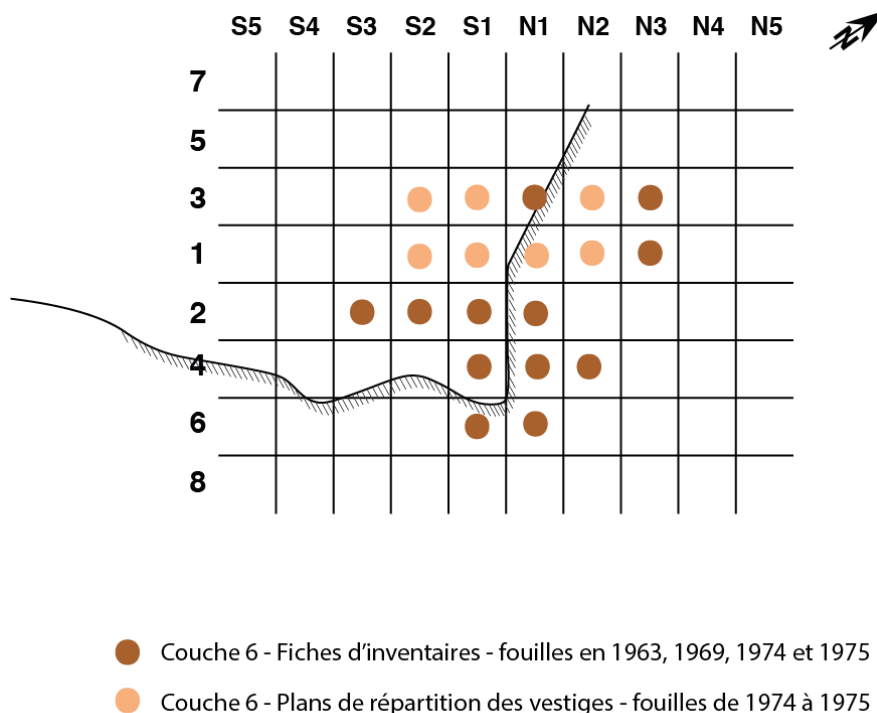


Figure 26 : couche 6 – plan des m² fouillés et relevés par les fouilleurs en 1974 et 1975 (beige) et plan de répartition des vestiges associés à un m² et déterminés (marron).

D'après nos données, le pourcentage de faune déterminée au sein de la couche 6 est très dense sur les bandes S1 et N1 avec une diminution dans les mètres carrés limitrophes. L'analyse spatiale des vestiges ne peut, malheureusement, qu'être très générale en absence de certains plans de répartition des vestiges non retrouvés et à défaut de relevés pour d'autres mètres carrés. Nous avons investigué autant que possible sur la spatialisation des activités d'exploitation des ressources animales de la couche 6. Il semblerait que les os fracturés aient été rejetés vers la bande 6 au bord de la zone occupée (telle qu'on l'identifie aujourd'hui). Cette observation repose sur des concentrations importantes de diaphyses d'os longs fracturés (les tibias très représentés en 6N1 et 6S1 par exemple) ayant été écartés dans cette zone. De plus, on retrouve un nombre important de fragments de mandibules de chevaux en 6N1, alors que toutes les dents de chevaux identifiées proviennent d'un seul et même mètre carré 1N2. Ils sont localisés à quelques mètres de distance des fragments de mandibules : il semblerait que les dents aient subi un traitement différencié. Ont-ils volontairement séparé les mandibules ?

Pour ce qui est des incisives de rennes que nous avons pu déterminer, elles sont localisées dans les mètres carrés les plus riches en faune et sont présentes de façon isolées pour la plupart. Proviendraient-elles de mandibules dont nous n'avons pu retrouver la trace à ce

jour ? Leur présence éparse résulte-t-elle d'une fracturation des mandibules de renne pour extraire les dents ou des parties molles de l'animal (langue, tendons...) ? Le « fragment de mâchoire » présent sur les plans dans le mètre carré 1N2 et non identifié dans la collection du musée, indique bien la présence de nombreuses autres dents. Les incisives sont en effet plus petites en taille et tombent plus facilement lorsque la mandibule est manipulée en post-fouille, ce qui expliquerait leur présence seule.

II.2.4.2. La couche 5, quatre sous-couches de transition du Badegoulien sans raclettes au Badegoulien avec raclettes, riche en renne.

La stratigraphie de la couche 5 se divise en 4 sous-couches : 5a, 5b, 5c et 5d qui ont livré du matériel en quantité variable. Les sous-couches 5a et 5c ayant livré peu de vestiges fauniques, nous les avons exclus de notre étude. La couche 5b mesure entre 4 et 30 centimètres d'épaisseur, sous-jacente au sommet des coulées d'argiles (figure 11, PII-chap.1). D'un point de vue culturel et par rapport à la couche 5a (Badegoulien à raclettes), il correspond au début du Badegoulien sans raclettes. À un endroit du site, la couche 5b est en contact direct avec la couche 6, cette configuration donne lieu à une couche de transition 5b/6 : mais elle est « une erreur stratigraphique, limitée à 1m², due à l'absence de couche 5c à cet endroit et la présence d'un amas de débitage » (Trotignon, 1984, p.23). D'après les plans de répartition des vestiges parvenus jusqu'à nous, il s'agirait du mètre carré 3N1 mais ce n'est pas précisé dans la monographie de 1984. Enfin la couche 5d était « jonchée de mandibules de rennes » d'après F. Trotignon (com. pers.) et nous avons voulu vérifier si ce souvenir de terrain de F. Trotignon correspondait à la réalité de conservation des collections archéologiques.

ACQUISITION DU GIBIER

Spectres fauniques partiels en 5b et 5d : deux sous-couches ou une seule et même couche « jonchées de mandibules de rennes » ?

Dans la sous-couche 5b, sur environ 39 300 restes osseux décomptés (NR_Poulain = 958 ; Poulain, 1984), nous avons pu en déterminer seulement 409 (tableau 9, voir « NRD N. Catz » tableau 7). Nous avons procédé à une détermination par types d'os et par parties anatomiques quand cela était possible. On retiendra que parmi les 647 vestiges fauniques décomptés dans les fiches d'enregistrement de la couche 5b, nous avons pu en recenser seulement 220 dans les collections du musée (voir « NRD N. Catz » tableau 7). Presque deux tiers des vestiges enregistrés sur le terrain ont disparu, ce qui est surprenant. Nous pensons que

les os et autres vestiges fauniques n'ont pas été marqués lors du prélèvement et les vestiges ont été ensuite conditionnés en vrac par mètre carrés dans des boîtes.

Tableau 9 : Spectres fauniques des sous-couches 5b et 5d

Espèces - détermination	C5b		C5d	
	NR	NMIf/c	NR	NMIf/c
Renne (<i>Rangifer tarandus</i>)	527	9/9	445	15/12
Cheval (<i>Equus c. gallicus</i>)	64	1/2	16	1
Total NR déterminés	591	10	511	13
Taille III (<i>Rangifer, Cervus</i>)	2		-	
Taille IV (<i>Equus, Bison</i>)	20		-	
À déterminer	23		500	
Esquilles/ Tamisage	1000		500	
Total NR indéterminés	1045		1000	
Nombre total de restes	1636		1511	

Dans la couche 5b, le nombre de fragments d'os longs (NR= 123), d'os courts (NR = 37) et d'os plats (NR = 123) semble faible et ces vestiges sont clairement sous-représentés si on les compare au nombre de restes dentaires de cheval et de renne décomptés (isolées ou séries dentaires) dans cette même sous-couche (n = 253). Parmi ces restes, nous avons calculé les nombres minimums d'individus présents dans l'assemblage. D'après le NMIf des mandibules et le NMIf des séries dentaires, nous avons pu compter un minimum de 8 à 10 individus rennes (NMIf/c) pour seulement un individu chez le cheval (NMIf).

Dans la couche 5d, sur environ 1500 fragments osseux décomptés (NR_Poulain = 2045 ; Poulain, 1984), nous avons pu en déterminer environ un tiers (n = 511, tableau 9). Nous nous sommes focalisés sur l'identification puis la détermination des séries avant tout pour pouvoir effectuer des comparaisons entre les couches 5b et 5d. Parmi les 299 vestiges fauniques identifiés sur les fiches d'enregistrement, nous avons pu en recenser 132 parmi nos données (tableau 9, voir « NRD N. Catz », tableau 7). Ces chiffres indiquent un taux élevé de correspondance entre les données de fouille et nos données. Cela présage un bon taux de détermination à l'avenir sur cette couche.

Certains restes de faune déterminés en 5b et 5d sont « non recensés » dans les archives de fouille. Deux possibilités : soit l'attribution précise a disparu (numéro, mètre carré) sans que le nom de la couche ne disparaisse, soit les fouilleurs ne leurs ont jamais attribué de numéro de pièce ou de mètre carré. Ces vestiges restent seulement identifiables par leur présence dans contenant qui comporte le nom de couche. Certains fragments résulteraient d'une fragmentation post-fouille comme on a pu le démontrer auparavant car ils présentent des pans de fractures très blanc. On remarque, d'ores et déjà, que le nombre de mandibules en 5d surpasse celui mis en évidence en 5b. S'agirait-il d'une seule et même couche qui couvre un abattage de rennes en masse ? Avant de répondre à cette question après, nous allons d'abord discuter son origine anthropique ou non des assemblages de cette couche pour nous assurer qu'il résulte bien de comportements humains liés à l'acquisition de ressources animales.

TRAITEMENT DES CARCASSES - activités anthropiques

Pour savoir si l'accumulation osseuse dans la couche 5 et ses sous-couches est d'origine anthropique ou naturelle, nous y avons cherché des traces témoins d'activités liés à l'économie de subsistances des groupes badegouliens.

Découpe des carcasses

Sur les restes osseux en 5b, quelques traces associées aux activités anthropiques ont retenu notre attention et permettent de penser qu'il s'agit bien d'une accumulation faunique d'origine anthropique :

- un fragment de diaphyse d'os long (probablement du tibia de renne) présente une plage d'impression (enfoncements rectilignes). Ces traces qui résulteraient d'un geste répété sur la zone évoque l'utilisation de cette pièce osseuse comme percuteur pour modifier des bords lithiques (figure 27 ; Tartar, 2003 ; Auguste 2002 ; Castel 1999 ; Malherba et Giacobini 2002 ; Vincent, 1993).
- un fragment de mandibule de cheval portant des sillons nous a aussi interpellé dans l'assemblage 5b (figure 27). Est-ce que ces traces résulteraient d'un prélèvement de tendon ou de langue ?

Fracturation des os longs

La plupart des os longs auraient été fracturés pour récupérer la moelle comme pour la couche 6. Sur les 161 os longs déterminés en 5b, et sur les os longs, pas encore déterminés, mais identifiés en 5d, l'étude quantifiée des pans de fracture n'a pas été conduite. Nous ne

pouvons qu'émettre l'hypothèse que la fracturation des os avait pour but consommation de leur moelle. Nous tenterons de vérifier cette hypothèse par la suite.



Figure 27 : « Retouchoir » sur diaphyse de renne - pièce (« LR73_1N2°c5b n°137), fragment de mandibule de cheval striée (LR73_3N2_c5b n°45).

Ces observations nous autorisent à confirmer l'hypothèse d'activité anthropique au sein de cette couche. Intéressons-nous désormais aux comportements cynégétiques identifiables chez les Badegouliens de la couche 5.

Choix cynégétiques et profils paléodémographiques

En 5b et 5d, les travaux de détermination se sont portés essentiellement sur les restes dentaires découverts en très grand nombre. Pour cette raison, les autres espèces déterminées par T. Poulain à l'époque, n'ont pas été déterminées ou identifiées : restes de « grand bœuf », bouquetin, ours des cavernes, loup, renard, blaireau, belette, lièvre et écureuil viendront peut-être un jour compléter le spectre faunique. Voici les données que nous avons pu relever à l'aide des restes dentaires sur les espèces visées par les chasseurs présentes dans ces deux sous-couches.

Parmi les individus rennes de la couche 5b, nous avons pu identifier un grand nombre de juvéniles qui présentent encore leurs dents de lait, cinq jeunes ou très jeunes individus sont décomptés ici. Le profil démographique des rennes est basé sur le NMIc des dents et celui esquissé rappelle plutôt un profil de population naturelle composée de quelques juvéniles et quelques individus âgés ainsi que de nombreux adultes.

Le nombre de chevaux identifié à ce jour étant trop restreint, nous n'avons pas pu réaliser de profil démographique.

Malgré le nombre d'individus plutôt restreints, quelques individus juvéniles suffisent pour obtenir des informations sur les activités de chasse, qui semblent, d'après les données de T. Poulain, s'être déroulées entre la fin de l'été et l'automne. Nous avons confronté ses données aux nôtres et nous obtenons deux saisons ou épisodes de chasse en se basant sur l'âge des faons identifiés. En effet, les activités de chasse se seraient déroulées l'hiver puis au printemps-début de l'été. Nos données de saisonnalité ne concordent donc pas avec celles de T. Poulain, mais elle ne détaille pas sa méthode de calcul d'âge des espèces. À l'avenir, nous espérons pouvoir affiner nos données pour tenter de mieux comprendre le décalage entre ces résultats. Les analyses de texture des micro-usures dentaires et d'isotopie sur l'alimentation des rennes de ces couches apporteront des informations d'ordre écologique et environnemental qui viendraient pallier un biais possible d'interprétation de nos résultats.

Parmi les individus rennes de la couche 5d nous avons pu identifier plusieurs classes d'âges (tableau 10). Cela nous permet de dresser un profil démographique qui met en valeur des individus jeunes, subadultes et adultes et l'absence de très jeunes individus ou de très âgés. Il semblerait donc que les Badegouliens aient spécifiquement visés une population d'adultes. De plus, d'après les données de T. Poulain, les quelques individus juvéniles permettent d'obtenir une saisonnalité des activités de chasse qui se serait déroulée du début de l'été à la fin de l'automne et un épisode isolé au printemps. Nos données de saisonnalité ne sont pas assez précises pour proposer des saisons de chasse pour les rennes en 5d.

Ainsi les données acquises pour la couche 5 sont encore parcellaires mais nous avons pu observer des tendances similaires à celles de la couche 6. En effet, le renne est l'espèce prédominante dans les spectres fauniques des sous-couches 5b et 5d et l'identification de traces anthropiques permettent de confirmer l'apport et le traitement de carcasses, par les Badegouliens, dans les deux sous-couches. Qu'en est-il de la couche supérieure ?

Tableau 10 : Données quantitatives sur l'exploitation du renne sur la couche 5d

DENT	NMPS	NMIc	%PO
Pd ₂	9	6	56,25
Pd ₃	10	7	62,5
Pd ₄	6	5	37,5
PM ₂	11	8	68,75
PM ₃	4	4	25
PM ₄	5	5	31,25
M ₁	2	1	12,5
M ₂	6	4	37,5
M ₃	8	5	50
M _{1/2}	13	9	81,25
PM/M	8	2	-
I ₁	8	4	50
I ₂	14	9	87,5
I ₃	7	5	43,75
I ND	22	3	-
C inf	6	3	37,5
INFÉRIEURES	139	8	54,296875
Pd ²	4	2	25
Pd ³	3	3	18,75
Pd ⁴	2	2	12,5
PM ²	2	1	12,5
PM ³	2	2	12,5
PM ⁴	4	2	25
M ¹	5	3	31,25
M ²	4	3	25
M ³	7	4	43,75
PM ^{2/3/4}	14	1	-
M ^{1/2}	11	1	-
M ^{2/3/4}	4	1	-
SUPÉRIEURES	62	4	24,21875
TOTAL	201	8	39,2578125

L'étude de R. Malgarini sur l'industrie osseuse de la sous-couche 5b et celle de M. Borao de la sous-couche 5d apporteront sûrement d'autres informations sur la saisonnalité des activités des Badegouliens *via* l'étude des bois de massacres présents dans l'assemblage (Malgarini, 2022).

Utilisation des os comme combustible ?

Sur la couche 5 comme sur la couche 6, on pense que les os entiers ou fracturés grossièrement ont pu être utilisés comme combustible. En effet, comme sur la couche 6, on identifie de nombreux très petits fragments dans la plupart des mètres carrés. Cette sur-fragmentation peut traduire ici l'altération très forte voire l'explosion de d'ossements de taille

plus grande ; liée à l'action de la chauffe soit très intense, soit très longue. Une étude plus approfondie des esquilles permettrait de confirmer ou d'infirmer cette hypothèse.

II.2.4.3. La couche 4, un spectre dominé par le cheval : une variation des comportements cynégétiques des Badegouliens ?

Cette couche riche en faune a livré de nombreux fragments osseux qui semblent être associés aux restes d'industries du Badegoulien à raclettes (Trotignon, 1984). D'après nos premières observations et celles de T. Poulain en 1984, ce sont les restes de chevaux qui dominent le spectre faunique. L'assemblage faunique de la couche 4 est d'origine anthropique 4, et la chasse visait préférentiellement le cheval. C'est la seule couche de la séquence de Fritsch, qui exprime clairement que le cheval a été privilégié en tant que proie plutôt que le renne. En effet, dans les couches sous-jacentes (5 et 6), on a pu observer une tendance à chasser le renne plus que le cheval. Nous tentons, dans les parties qui suivent, de mieux discerner les choix cynégétiques des Badegouliens de la couche 4 et tenter d'expliquer ce changement de proie préférentielle ? L'exploitation prononcée du cheval peut témoigner de choix purement culturels mais peut aussi être influencée par des variations du contexte environnemental.

UN SPECTRE FAUNIQUE DOMINÉ PAR LE CHEVAL

Sur environ 2000 fragments osseux (NR_Poulain = 1797 ; Poulain, 1984), nous avons pu en déterminer plus de 300 (NRD_Catz = 309 ; tableau 11). Nous avons procédé à une détermination par types d'os et par parties anatomiques quand cela est possible. On retiendra que parmi les 824 fragments décomptés dans les fiches d'enregistrement sur cette couche, nous avons pu en recenser seulement 250 parmi nos données (NRD_Catz). Pour les autres restes de faune déterminés (n = 59), l'attribution est restreinte au numéro de couche et parfois à celui du mètre carré, ce qui ne nous permet pas de replacer ces pièces spatialement sur les plans de fouille. À noter que pour justifier de l'étude des vestiges qui n'ont pas de numéro de pièce ou de mètres carrés (vestiges « non recensés » dans les fiches d'enregistrement notamment), nous avons cherché à savoir si l'on peut considérer leur présence d'origine anthropique ou naturelle. Nous présenterons ces informations après avoir évoqué la composition du spectre faunique de la couche 4.

Tableau 11 : Spectre faunique incomplet de la couche 4

Espèces - détermination	NR	NMIc
Cheval (<i>Equus c. gallicus</i>)	298	4
Renne (<i>Rangifer tarandus</i>)	11	1
Total NR déterminés	309	5
cf. Bos/bison	2	
Taille III (<i>Rangifer, Cervus</i>)	17	
Taille IV (<i>Equus, Bison</i>)	17	
À déterminer	296	
Esquilles/ Tamisage	1500	
Total NR indéterminés	1832	
Nombre total de restes	2141	

Le cheval domine largement le spectre faunique (tableau 11). Des restes de rennes viennent le compléter mais la plupart des vestiges de rennes sont en cours de détermination et ne sont pas encore enregistrés dans notre base de données. Malgré cela, nos données rappellent les tendances observées et relevées par T. Poulain pour cette couche : avec le cheval qui domine le spectre (52,17%) loin devant le renne (19,56%) et le renard (10,86%). D'autres espèces non identifiées à ce jour sont attestées par T. Poulain. Si l'on constate malgré cela une faible diversité d'espèces présentes sur la couche 4, on retrouve bien les deux espèces prédominantes des tableaux de chasse du DMG : le renne et le cheval (Bignon-Lau *et al.*, 2021). Si cet assemblage est d'origine anthropique, il est clair que les Badegouliens aient privilégié ces deux espèces.

ACTIVITÉS ANTHROPIQUES

Concernant les activités anthropiques liées à l'exploitation des carcasses, comme pour les couches 6 et 5, les Badegouliens ont fracturé les os en vue d'un traitement des carcasses. Les os longs présentent clairement des points d'impacts et des fractures en spirale. Ces dernières indiquent une fracturation sur l'os frais (Bignon et Christensen, 2009). Cependant, nous avons aussi observé de nombreux pans de fracture en escalier qui indiquent une fragmentation sur os sec. Des écrasements sur certaines surfaces laissent enfin penser à une fragmentation importante des restes fauniques lié à des phénomènes taphonomiques. La fragmentation concerne essentiellement les os secs (esquillements en baguettes), de nombreux pans de fractures à

l'aspect crayeux sont observés sur les os longs (plus de 50% du matériel). Cet aspect témoigne aussi d'un conditionnement médiocre car il s'agit de fractures de fragmentation post-fouille, les os les plus fragiles étant regroupé dans des sachets eux même déposés en vrac dans de petites caisses. Aucune trace d'activité de carnivore n'a été identifié sur ces vestiges.

Certaines parties anatomiques de cheval présentent des marques de anthropiques qui caractérisent une exploitation alimentaire ou technique. On notera ici deux étapes distinctes de prélèvement du crâne et de la langue attestées par des stries sur l'atlas (figure 28a) et sur la mandibule (figure 28b).

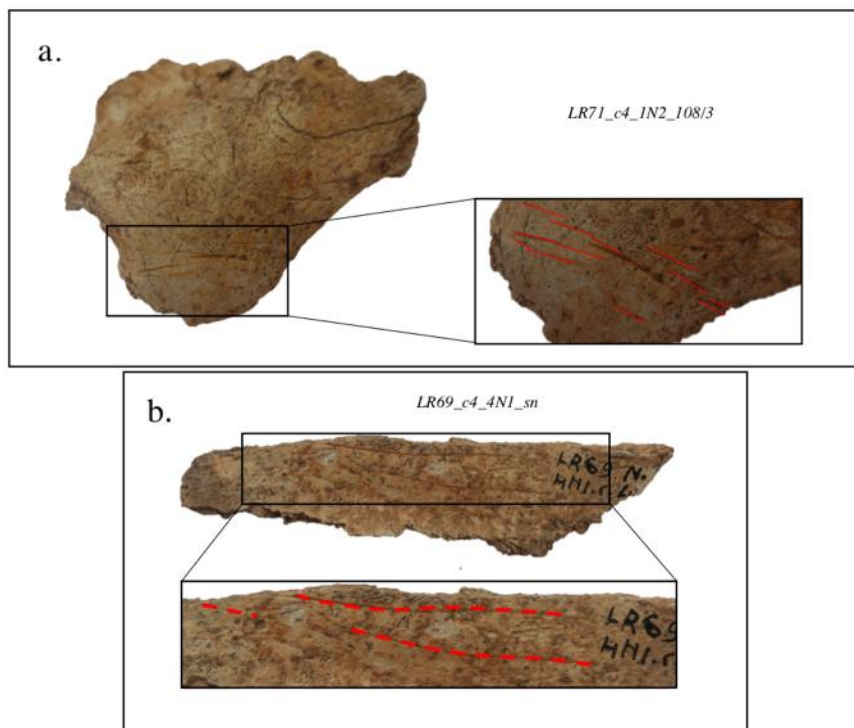


Figure 28 : Traces de boucherie identifiées parmi les restes de la couche 4 – traces de prélèvement du crâne (a. fragment d'atlas) et de prélèvement de la joue ou de la langue (b. fragment de mandibule).

D'après l'observation des pans de fractures et des stries de boucherie, il semblerait donc que l'accumulation de faune sur la couche 4 soit le résultat de l'activité humaine et que les carcasses de chevaux notamment aient été exploitées sur le site.

CHOIX CYNÉGÉTIQUES - âges des proies et profils paléodémographiques

L'analyse des traces anthropiques permet de justifier de l'origine de l'accumulation osseuse et nous permet de mieux comprendre les choix opérés par les Badegouliens sur la

couche 4. Ce sont les restes dentaires de chevaux qui, nombreux et déterminables pour la plupart, peuvent permettre de classer les individus par âges. Nous avons donc pu reconstituer un profil démographique qui présente beaucoup d'individus soit très jeunes et soit âgés. Pour construire le profil démographique des équidés, nous avons appliqué la méthode de répartition en fonction des classes d'âges spécifiques correspondantes à une maturation différente selon la méthode d'O. Bignon-Lau.

Pour rappel, les classes sont les suivantes : [0-2 ans], [2-5 ans], [5-10 ans], [10-15 ans] et [plus de 15 ans] (Bignon-2003 ; annexe 4). D'après les résultats obtenus, les Badegouliens de la couche 4, semblent avoir visé les chevaux les plus fragiles lors d'un épisode de chasse (figure 29). Ce type de profil est caractérisé de profil « attritionnel » selon O. Bignon-Lau ou profil en 'U' et attesterait de l'élaboration de stratégies et tactiques de chasses en amont de l'épisode de chasse.

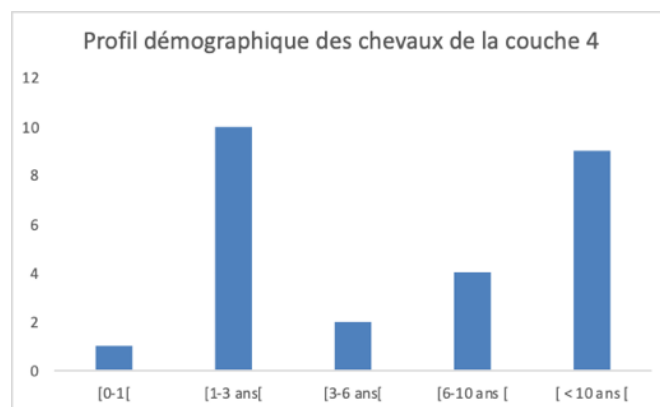


Figure 29 : Profil démographique attritionnel des chevaux de la couche 4

Après avoir constaté une variation des comportements cynégétiques des Badegouliens de la couche 4 vis-à-vis des autres occupations badegouliennes, nous nous sommes intéressées à la répartition spatiale des vestiges.

OBSERVATIONS SUR LA RÉPARTITION SPATIALE DES VESTIGES

Concernant l'étude spatiale des vestiges de la couche 4, nous avons pu comparer les données collectées par nos soins avec les données présentes sur les plans de répartition des vestiges lors des fouilles. Nous avons observé que :

- les vestiges recensés dans les fiches d'inventaires sont présents sur les plans qui sont parvenus jusqu'à nous (figure 30).

- de nombreux vestiges fauniques déterminés et numérotés sont absents sur les plans. Il semblerait donc que tous les vestiges fauniques n'ont pas été relevés sur des fiches d'inventaire ou sur plans au moment de leur prélèvement sur le terrain.

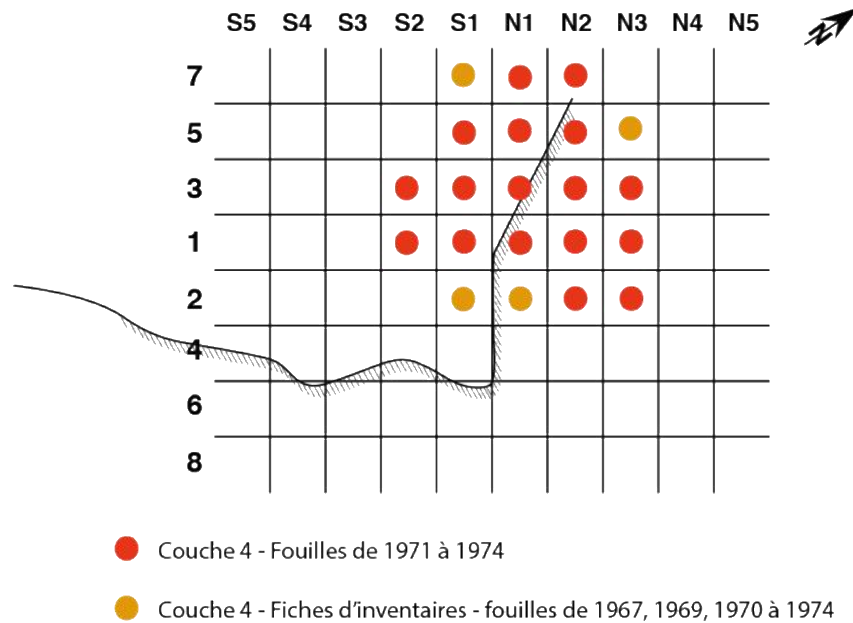


Figure 30 : couche 4 - plan des m² fouillés et relevés par les fouilleurs en 1971, 1972 et 1974 (beige) et plan de répartition des vestiges associés à un m² et déterminés (marron)

Pour mieux comprendre la source de ce problème, il faudrait entreprendre une analyse spatiale complète de tous les types de vestiges (faune, lithique, parure...). Pour ce faire, il faudrait numériser et retranscrire les plans de répartition mis à notre disposition dans un système de type S.I.G. Ces travaux permettraient alors de comprendre la répartition des activités par types de vestiges. Pour la faune plus particulièrement on pourrait investiguer la répartition des parties squelettiques pour mieux comprendre la répartition des activités de traitement des carcasses sur le site.

CONCLUSION

L'étude des couches badegouliennes nous a permis de répondre aux deux questions principales posées en début de chapitre :

L'accumulation de faune sur les niveaux badegouliens est-elle d'origine anthropique ?

L'accumulation de faune sur les niveaux badegouliens semble bien être d'origine anthropique. Car, l'étude taphonomique et archéozoologique des restes fauniques des couches 6, 5b, 5d puis 4 atteste de traces anthropiques nombreuses dans chacune de couches. Parmi ces traces, on retiendra que les os longs semblent avoir été fracturé systématiquement pour en extraire la moelle. L'identification de stries sur certaines parties anatomiques attestent aussi du traitement de carcasses de rennes et chevaux sur les couches étudiées. Enfin, la présence d'industrie osseuse sur toutes les couches atteste d'un traitement de l'animal à des fins techniques et pas seulement alimentaires.

Peut-on définir des stratégies et tactiques de chasse sur les niveaux badegouliens ? Si oui quels choix cynégétiques ont effectués les Badegouliens de l'abri Fritsch ?

L'assemblage faunique étant d'origine anthropique, on a donc pu s'intéresser aux choix cynégétiques des Badegouliens. Ces choix semblent varier d'une occupation à l'autre tout au long de l'exploitation du site. En effet, le renne et le cheval qui prédominent dans tous les spectres reconstitués, ne sont pas présents selon les mêmes tendances. Les spectres fauniques dominés par le renne dans les couches inférieures étudiées (couches 6 puis 5b et d) contrastent avec le spectre de la dernière occupation badegoulienne, étudiée, dominée par le cheval (couche 4). Nous n'avons pas d'information récente et précise sur les couches supérieures à la couche 4. Cependant, T. Poulain évoque des spectres dominés à nouveau par le renne dans les couches 3, 2 et 1. Est-ce que la couche 4 présenterait donc un changement bref de comportement chez les Badegouliens de l'abri Fritsch ? Or, on s'interroge encore sur l'origine de ce changement : s'agit-il d'une évolution culturelle ou faudrait-il plutôt y voir l'impact de variations climatiques/saisonniers des activités de chasses ?

D'un point de vue culturel, on rappelle que l'industrie lithique du Badegoulien évolue avec l'apparition de raclettes dans certains niveaux d'occupation (à partir des sous-couches 5d et 4 ; partie II, chapitre 1). Or, la couche 4 contraste justement avec les autres tendances cynégétiques observées. Nous ne pouvons pas abandonner l'hypothèse culturelle car nous n'avons pas assez de preuves à ce jour pour exclure la possibilité d'une variation des comportements culturels badegouliens sur la couche 4. De plus, la prédominance du cheval n'est pas observée sur la

couche 5d qui présente une industrie caractérisée comme étant du Badegoulien à raclettes. L'étude de la spatialité des activités liées à l'exploitation des ressources animales pourrait aussi apporter des informations complémentaires pour approcher l'évolution des comportements cynégétiques dans notre corpus d'étude.

De notre côté, nous espérons pouvoir apporter de nouvelles informations sur les habitats fréquentés par les rennes et les chevaux, jusqu'à leur mort, chassés par les occupants de l'abri Fritsch. En effet, des informations sur l'écologie des proies visées par les Badegouliens de l'abri Fritsch pourrait venir confirmer l'hypothèse d'un changement environnemental qui a pu pousser les hommes à changer leurs stratégies et tactiques de chasse. L'étude porte uniquement sur les deux espèces les plus visées par les Badegouliens : le renne et le cheval. Leurs restes dentaires étant des archives paléoenvironnementales précieuses nous nous sommes intéressées à leur éthologie et présentons nos analyses dans la partie IV.

Ce chapitre permet d'apporter différentes données sur l'exploitation des ressources animales par les Badegouliens à l'abri Fritsch. On peut déceler une certaine continuité des comportements d'une couche à l'autre pour ce qui est du traitement des carcasses. Cependant on observe une variation des comportements cynégétiques en amont de la chaîne opératoire des ressources animales.

Sur la couche 6, tous les segments du renne sont représentés et les traces de boucherie sont fréquentes. On retrouve une fracturation des os longs (fractures en spirale, points d'impact) qui est quasi systématique et vise probablement l'extraction de la moelle osseuse. Enfin, de très nombreux fragments sont chauffés comme sur les couches solutréennes d'ailleurs, ce qui laisse penser que les humains utilisent les os comme combustibles. Les épisodes de chasses semblent être pluriannuels sur cette couche.

En 5b, l'abondance de dents/mandibules (NMI renne 8–10) contraste avec le cheval qui reste minoritairement chassé semble-t-il. Quelques traces de boucherie sur les os de cheval confirment notamment des activités techniques et alimentaires sur la faune. Les classes d'âge incluent plusieurs juvéniles, pour un profil proche d'une population naturelle et les épisodes de chasse se situeraient en hiver puis au printemps–début été. En 5d, la couche effectivement « jonchée » de mandibules de renne cible surtout des adultes (peu de très jeunes ou très âgés), avec des chasses du début été à l'automne (et un épisode printanier selon Poulain). L'usage de l'os comme combustible est à nouveau probable.

Enfin, sur la couche 4, le spectre s'inverse nettement en faveur du cheval (renne présent mais secondaire). Les os longs portent des impacts et fractures en spirale ; des stries de

boucherie confirment un traitement anthropique des carcasses. Le profil démographique des chevaux serait ici attritionnel avec une surreprésentation des très jeunes (nombreuses dents de lait) et des spécimens âgés, indiquant une capture d'individus vulnérables. Cette hypothèse n'est pas validée par O. Bignon-Lau qui reprendra probablement les analyses sur la faune de l'abri Fritsch par la suite.

L'origine anthropique des accumulations est solidement étayée dans les trois couches; les choix cynégétiques évoluent d'une focalisation sur le renne (6, 5b–5d) vers une préférence marquée pour le cheval (4). Les carcasses sont importées entières ou en grands segments et traitées sur place (découpe, extraction de la moelle, probable valorisation du spongieux comme combustible, recyclage technique des déchets osseux). Les limites (biais de collecte/post-fouille, plans incomplets) justifient les analyses paléoenvironnementales prévues pour affiner ces données.

PARTIE III – PRATIQUES D’EXPLOITATION DU GIBIER AU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR DANS LE BASSIN PARISIEN

Pincevent est un site de plein air multistratifié : entre 23 et 25 niveaux d’occupations ont été repérés à ce jour (Orliac, 2013 ; Ballinger *et al.*, 2014). Les vestiges mis au jour sur le site attestent du passage de groupes magdaléniens (Leroi-Gourhan, Brézillon, 1983 ; Orliac, 1994, 2014 ; Roblin-Jouve, 2014). Depuis la découverte du site jusqu’à nos jours, le gisement a été fouillé et les vestiges étudiés en parallèle de leur découverte. Cette démarche scientifique fait de Pincevent un site encore aujourd’hui incontournable pour comprendre la mise en place des méthodes de fouille planimétrique d’un site préhistorique de plein air permettant d’aborder le mode de vie des magdaléniens du Bassin parisien (Le Gueut *et al.*, 2022). De plus, les particularités de ce gisement et l’étude poussée de certains niveaux du site, que nous présentons de suite, nous permettent d’aborder les problématiques d’intégration du site dans les réseaux du Bassin parisien au Tardiglaciaire.

CHAPITRE 1. Pincevent : véritable laboratoire d’étude du mode de vie des magdaléniens du Bassin parisien

III.1.1. Particularités géographiques et historiques du site de Pincevent

Le gisement de Pincevent est découvert, en mai 1964, le long d’un affluent de la Seine (Leroi-Gourhan, Brézillon, 1983). Dans les godets d’une machine qui exploite une gravière, des ouvriers découvrent des éclats de silex taillés, ils font immédiatement appel à des archéologues pour faire expertiser leur découverte. Les vestiges sont alors identifiés comme étant de l’outillage et/ou des déchets de fabrication d’outils paléolithiques. Une équipe de préhistoriens dirigée par A. Leroi-Gourhan entreprend une fouille minutieuse du terrain exploité. Dès la première année la découverte exceptionnelle d’une occupation magdalénienne en place permet d’assurer la sauvegarde du site et l’arrêt des travaux d’exploitation de la sablière sur une zone de 9 hectares. C’est la mise au jour de la première occupation, baptisée alors l’Habitation n°1, qui a poussé A. Malraux, alors ministre d’État chargé des affaires culturelles, de faire acheter le terrain de Pincevent par l’État. Depuis ce jour, des campagnes de fouilles sont programmées chaque année jusqu’en 2016. Deux triennales (2017-2019, 2020-2022) ont ensuite servi à préparer la monographie du niveau IV0, avant que ne reprennent les fouilles en 2023.

Plusieurs facteurs permettent d'expliquer la conservation de sols d'occupations à Pincevent : la topographie du site qui est implanté dans la vallée d'un fleuve et son emplacement par rapport au cours d'eau qui facilite le processus d'enfouissement par les limons de débordement (alluvionnement de la plaine).

Cette conservation des sols a permis le développement de nouvelles méthodes qui ont révolutionné la manière de fouiller un site préhistorique de plein air. D'une part M. Orliac a développé la méthode de prise d'empreinte au latex de la stratigraphie (Orliac, 2014). Ainsi, une connaissance précise de la stratigraphie sur une grande partie du site contribue à contrôler que les fouilles n'investissent qu'un seul et même niveau d'occupation. D'autre part, ce contexte de conservation a permis à A. Leroi-Gourhan et ses successeurs de mettre en place des fouilles planimétriques d'un site de plein air (une grande première dans le domaine de la Préhistoire du Bassin parisien à cette époque). Lors de la phase d'étude d'une occupation, les plans de répartition de certains vestiges permettent de contrôler qu'il s'agisse bien d'une seule et même occupation qui a été fouillée. En effet, le décapage des niveaux mètres carrés par mètres carrés permet de restituer les activités qui se sont déroulées sur le site occupation après occupation. À l'aide de remontages de matériaux tels que le silex taillé et les roches brûlées ou encore via certains appareillages osseux, l'étude spatiale de répartition de ces vestiges atteste de la contemporanéité des activités sur une même occupation fouillée.

III.1.1.1. Topographie : implantation du site dans des contextes géologique et topographique particuliers.

Implanté dans la vallée de la Haute Seine, près de Montereau, le site de Pincevent offre une exceptionnelle conservation. En effet, l'essentiel de l'organisation spatiale des sols occupés par les préhistoriques est préservé grâce à un enfouissement lent des vestiges selon un processus d'alluvionnement de la plaine par des limons de débordement (Orliac, 2006, 2014). Une centaine de sondages a permis de proposer quatre phases d'édification de la plaine jusqu'à la formation du relief actuel du gisement (figure 31 d'après Roblin-Jouve, 2014, Orliac, 2006, 2013 et 2014).

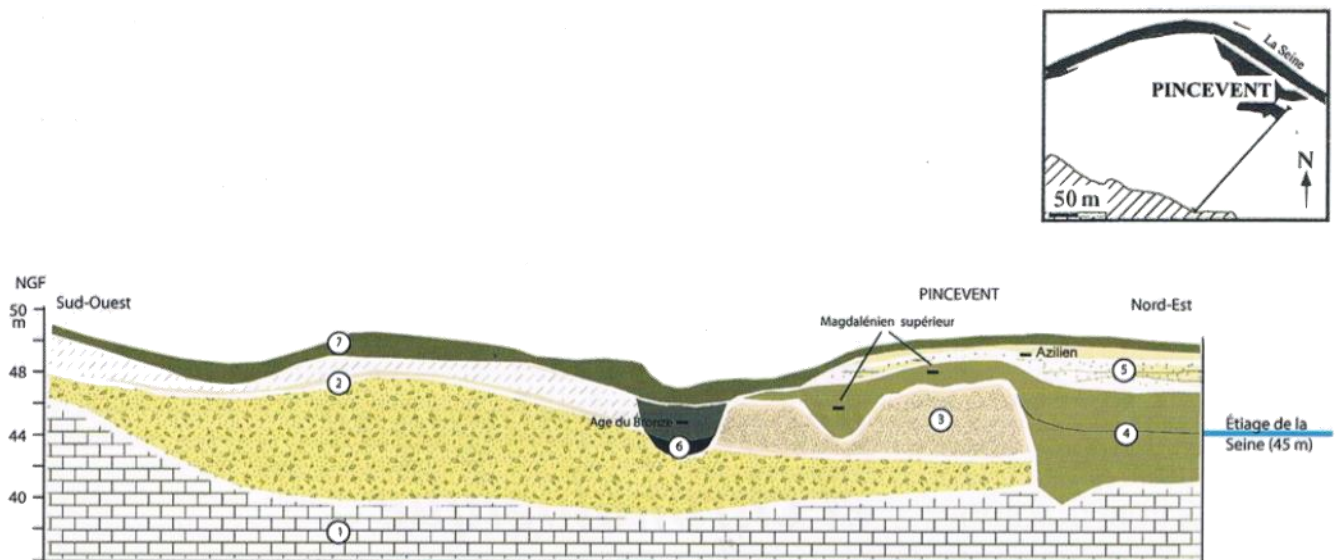


Figure 31 : Profil synthétique de la plaine alluviale de la Seine à Pincevent. 1 : substrat crayeux; 2 : lit de la première partie du Weichsélien; 3 : sables et graviers de la deuxième partie du Weichsélien; 4 : limons du début du Tardiglaciaire; 5 : sables de la fin du Tardiglaciaire; 6 : bras du Postglaciaire; 7 : sol du Postglaciaire. (D'après Roblin-Jouve, 2014)

Chaque couche géologique décrit par M. Orliac puis A. Roblin-Jouve, permet de situer les différentes occupations du site dans le temps. Les couches sédimentaires n°4 et 5 nous intéressent car, comme on peut le voir sur la figure 31, ils renferment les vestiges de la période climatique qui correspond à l'occupation du Bassin parisien par les magdaléniens : le Tardiglaciaire.

III.1.1.2. Entre précision stratigraphique et fourchettes de datations ^{14}C : dater les occupations magdaléniennes.

Avec le fameux site d'Étiolles (Essonne), Pincevent est l'un des gisements majeurs pour la compréhension de la culture magdalénienne du Bassin parisien. Nous l'avons déjà évoqué ci-dessus : les travaux menés à Pincevent ont été déterminants en ce qui concerne le développement et l'amélioration de nouvelles techniques et méthodes de fouilles et dans la manière d'appréhender les vestiges (démarche palethnologique ; Leroi-Gourhan, 1988 ; partie I, chapitre 2). Ici, nous rappelons les particularités stratigraphiques qui font de Pincevent un véritable laboratoire d'étude du mode de subsistance des magdaléniens du Bassin parisien.

La lecture des couches sédimentaires, facilitée par les prises d'empreintes au latex, permet une lecture stratigraphique claire des différentes périodes historiques et préhistoriques du site de Pincevent. Cinq principaux horizons ont été relativement bien délimités (Orliac, 2006) :

Horizon I - Gallo-romain & historique récent

Horizon II - Tène, Hallstat, Bronze & Néolithique

Horizon III - Epipaléolithique

Horizon IV - Magdalénien

Horizon V - Sables, graviers & galets (un éclat attribué au Paléolithique ancien)

Au Tardiglaciaire, les installations successives des chasseurs-cueilleurs ont été protégées et séparées par les crues de la Seine qui ont ennoyé jusqu'aux points les plus hauts du site en déposant des particules fines d'argiles appelées limons. À Pincevent « les limons nappent les pentes, régulièrement sans hiatus dus à une érosion minimale » (Orliac, 1994 ; p.37). Cependant, vers les parcelles au sud du site les niveaux archéologiques tendent à se pincer et il est probable que dans ces zones une troncature des ensembles sédimentaires ait eu lieu lors de périodes récentes (sans compter le nivellement lié aux aménagements de la voie ferrée à l'époque moderne ; Orliac 2006 ; 2014). Le piégeage de vestiges de très petite taille dans les sédiments de l'horizon IV permet d'émettre aussi l'hypothèse d'un recouvrement par l'eau à l'état solide, ici plutôt de la neige qui aurait permis de sceller rapidement les ensembles de vestiges (Julien et Karlin, 2014). Grâce à ces conditions de conservation exceptionnelle, les archéologues mettent au jour des campements figés dans leur état d'abandon. Dans certains niveaux on parle même d'instantanés car les lamines² ne semblent pas érodées (pas de trace de circulation d'eau qui tendent à créer des ravines très rapidement dans ce type de sédiment en cas d'intempéries : Bignon-Lau, com. pers.).

À terme, l'étude de toutes les empreintes au latex et leur compilation a permis à M. Orliac de réaliser une stratigraphie synthétique pour l'ensemble du gisement de Pincevent (tableau 12). Grâce à ces travaux, les fouilles conservent des repères stratigraphiques en différents endroits du site. Enfin, l'analyse de la stratigraphie de l'horizon IV fournit des données géographiques et climatiques sur les occupations magdaléniennes. Selon que la composition sédimentaire

² Lamine : strates minces et continues déposées par les inondations, elles forment les sols où se sont installés les Magdaléniens (Horizon IV).

(granulométrie) est tantôt à dominante limoneuse ou tantôt à dominante sableuse on peut imaginer que les conditions climatiques ont varié (tableau 12).

Tableau 12 : Description de la stratigraphie synthétique de l'horizon IV à Pincevent (Orliac, 2014)

Phase	Caractérisation	Fréquentation (xN) (N = nombre d'occupations estimées)
PLI (phase limoneuse inférieure)	Substrats variés : limons, sables fins, sables grossiers, graviers / Couches limoneuses	x10 = vestige isolé/ sols d'habitats fouillés sur dizaine de m ² .
PTLS (Transition limono-sableuse)	Lits sableux plus nombreux (vigueur accrue des inondations)	x6 = fréquentation régulière
PS (phase à dominante sableuse)	Conditions climato-sédimentaires = transport et dépôt de sédiments plus grossiers (dynamique fluviale plus active) Points les plus hauts du site pas envoyés	parcours migratoire des rennes modifié ? > modification habitudes chasseurs. Présence de vestiges épars. = prémices du réchauffement climatique de l'horizon III
PLS (phase limoneuse supérieure)	Proportion lits limoneux et sableux identique à PLI. Conditions climatiques identiques à PLI. + de 350 empreintes au latex.	x5 = Fréquentation régulière Partie inf. PLS > sol IV20 (sujet de l'étude) se développe sur au moins 5 000 m ² .

Sur le site, l'occupation par les Magdaléniens débute à la base des dépôts des limons de l'Horizon IV. La datation de ces occupations remonte à la deuxième moitié du Bölling, au Magdalénien supérieur et final, dans le Bassin parisien seulement. D'après M. Orliac, on ne connaît que ponctuellement les substrats des limons magdaléniens (graviers, sables ou limons) mais la présence d'une couche de sable relativement épaisse aurait permis une conservation de la stratification des sédiments (horizon V, figure 31 ; Orliac, 2014). L'apport de sable étant lié à l'activité plus importante du cours d'eau qui en est à l'origine, on pense que des phénomènes climatiques peuvent avoir influencé les différents phénomènes hydrographiques et géologiques que l'on observe à Pincevent.

Pour replacer les limons magdaléniens dans la chronologie climatique du Tardiglaciaire, les chercheurs ont daté dix échantillons provenant de différentes couches. Mais le degré de

résolution de ces datations est insuffisant en comparaison avec la précision de l'analyse stratigraphique. En effet, les enregistrements sédimentaires précis permettent d'estimer la durée des occupations magdaléniennes : elles se seraient échelonnées sur quelques décennies voire sur un siècle (Orliac, 2014). L'analyse stratigraphique reste donc indispensable si l'on veut ordonner les activités qui se sont déroulées sur l'Horizon IV à Pincevent. D'après M. Orliac, les chasseurs magdaléniens seraient venus s'installer à Pincevent pendant les quelques décennies du très court épisode froid du Dryas II (12 000-11 8000 BP). Cependant toutes les datations replacent les activités magdaléniennes pendant la chronozone du Bølling (12 700-12 000 BP) qui n'est qu'une partie de l'interstade Bølling-Allerød (voir partie I, tableau X). Ces deux hypothèses poussent les chercheurs à placer l'occupation du site plus précisément dans la deuxième moitié du Bølling lorsque les conditions climatiques se refroidissent et deviennent instables (Bignon, 2007). Lorsque la topographie du fond de vallée est modifiée, la fréquentation régulière du site s'arrête et ce changement peut être imputé à des variations climatiques (Orliac, 2014).

D'autres marqueurs environnementaux peuvent permettre de replacer les occupations magdaléniennes de Pincevent au sein de variations climatiques. Via l'étude de l'évolution du couvert végétal dans la région, les analyses palynologiques conduites à Bazoches-les-Brès (en Bassée), situé à une vingtaine de kilomètres de Pincevent, servent aujourd'hui de référentiel environnemental pour la période et la région. Trois palynozones concernent la période d'occupation supposée des magdaléniens à Pincevent et replacent les activités humaines dans un paysage ouvert en mosaïque (voir PI, chap.2 ; Leroyer *et al.*, 2014).

Par nos travaux nous espérons pouvoir apporter de nouvelles données environnementales et climatiques liées à la fréquentation du site par les magdaléniens : la reconstitution du régime alimentaire des proies visées par les magdaléniens qui permettra de reconstituer les paysages fréquentés par les chasseurs et leurs proies ou la reconstitution des paléotempératures vont permettre de mieux discerner d'éventuelles variations climatiques au cours des occupations magdaléniennes à Pincevent.

III.1.2. Des pratiques culturelles mieux identifiées au Tardiglaciaire chez les magdaléniens du Bassin parisien

Parmi les sites occupés par les magdaléniens du Bassin parisien, Pincevent est une référence pour aborder les stratégies d'exploitation des ressources environnantes pendant la période du Tardiglaciaire. Nous disposons de nombreuses données sur les activités magdaléniennes qui s'y sont développées pendant plusieurs décennies voire sur un siècle. L'analyse stratigraphique très précise des niveaux magdaléniens a révélé la présence d'au moins vingt-trois sols d'occupation et les archéologues ont mis au jour une quinzaine d'installations ou de passages des Magdaléniens datées entre 13 000 et 12 000 BP (15 000 et 14 000 calBP ; fin Dryas I – Bølling ; Orliac, 2014). Or, la majorité des publications sur Pincevent, aborde les études conduites sur les occupations dont les superficies de fouille sont les plus importantes : les niveaux IV20 (4500 m²) et IV0 (1400 m² ; Bodu *et al.*, 2006 ; Julien et Karlin, 2014). En effet, ces études ont permis une meilleure compréhension des stratégies de subsistances développées par les magdaléniens et d'identifier, notamment, un système saisonnier de gestion des ressources animales. D'autres niveaux, comme le IV21-3, le IV30 et le IV40 présentent des zones d'occupation, potentiellement aussi riches que les deux niveaux que l'on vient d'évoquer plus haut, mais ils n'ont été fouillés que partiellement à ce jour (Debout, 2007 ; Bignon, 2008). Nous présentons chaque niveau de façon synthétique pour rappeler les différentes modalités d'exploitation des ressources environnementales tout au long de la stratigraphie.

III.1.2.1. L'occupation automnale du niveau IV20

Fouillé depuis 1964 sous la responsabilité de A. Leroi-Gourhan puis M. Julien et C. Karlin, le niveau IV20 de Pincevent se situe dans la dernière phase de sédimentation des limons d'inondation (Leroi-Gourhan & Brézillon, 1972 ; Julien & Karlin, 2014). D'une superficie d'environ 4500 mètres carrés (voir annexe 5), il s'agirait d'un des derniers passages des Magdaléniens identifiés. À ce jour, deux grandes sections restent presque ou totalement dénuées de vestiges tandis que sur le reste de la superficie, on compte entre dix et douze unités ensembles d'extension variée (Leroi-Gourhan et Brézillon, 1972). Dans l'ensemble central, les chercheurs définissent quatre principales unités avec de la faune bien conservée notamment (annexe 5 ; Enloe, 1994, 2000a, 2000b, 2000c ; David *et al.*, 2014). En effet, l'archéozoologie nous livre des informations sur les stratégies de subsistance des Magdaléniens qui ont occupé ce niveau. Le nombre total de fragments osseux sur le niveau IV20 s'élève à 4 643 restes de mammifères

(et quelques os d'oiseaux et de poissons de petite taille). C'est le renne (*Rangifer tarandus*) qui prédomine parmi les espèces du spectre faunique (4 542 restes soit 98 % du total - Bignon, 2007). La saisonnalité déduite de l'observation des dents des rennes témoigne d'une chasse en masse à l'automne. Tous les juvéniles semblent avoir été tué à l'âge de quatre mois environ, c'est-à-dire autant de mois après la mise bas : à l'automne. Les données de saisonnalité, de paléodémographique d'une population naturelle et le traitement des individus simultanément (d'une zone d'activité à une autre) permettent de restituer le scénario de chasse suivant : les magdaléniens ont intercepté un troupeau de renne en migration.

L'automne est la période de l'année du cycle biologique des rennes qui correspondrait à la migration vers les pâturages d'hiver (Geist, 1998). Les tactiques de chasse développées par les magdaléniens du niveau IV20 peuvent être appréhendées à la saison près ce qui facilite l'interprétation des activités développées sur le site avant et après les activités de chasses (David *et al.*, 2014). Ces dernières mettent, notamment, en évidence un « choix du lieu de campement dicté par un objectif économique » : celui de « s'installer à proximité du trajet de migration des rennes sans attirer l'attention des troupeaux » (Julien, 2014, p.71).

La plupart des combustibles et matières ligneuses - qui auraient pu nous renseigner sur l'environnement autour de Pincevent - n'ont pas été conservés, cependant l'étude de certains foyers a révélé la présence de charbons attribués au saule (*salix*) et au bouleau nain (*betula*), ainsi qu'à l'écorce de feuillus et d'herbacées (analyses micromorphologiques et physicochimiques : Wattez, 1994 ; March, 1995). Ces dernières apporteront des précisions pour reconstituer le paysage végétal déjà esquissé à l'aide du référentiel palynologique de Bazoches-les-Brès (zones a, b, c pour les Magdaléniens du Bassin parisien). Autour de Pincevent et sur le niveau IV20, les magdaléniens auraient ainsi fréquenté un paysage froid parsemé d'une végétation basse composée principalement d'herbacées (graminées ici) et d'arbustes nains. Ce type de paysage semble être idéal pour observer les troupeaux en approche.

L'étude de l'exploitation des matières lithiques confirme l'hypothèse d'un séjour relativement court à Pincevent qui rappellerait une occupation d'automne pour diverses raisons. Tout d'abord, les ressources minérales permettent d'appréhender la provenance et le degré d'exploitation des matières premières. Les lithiciens ont identifié deux origines et sources de matières siliceuses exploitées par les occupants du niveau IV20 : un silex allochtone et un silex local (Julien, 2014). Le premier type de silex fut probablement transporté dans les « bagages » par les magdaléniens qui se regroupent à Pincevent et proviendrait des points d'arrêts ou de

départs de chacun des groupes qui occupent le niveau IV20 à l'automne (Bodu, 1993 ; Debut, 2013). Ils semblent avoir apporté des blocs de silex ou des supports de lames en silex allochtone pour répondre à leurs besoins directement sans collecter de ressources locales. Ces blocs de couleur brun/brun-rouge proviendraient d'affleurements géologiques tertiaires (du Ludien, cf. figure 2, Julien, 2014, p.73). Des éclats de même couleur sont identifiés sur l'occupation de l'Habitation n°1. Ils proviendraient d'un affleurement dans le centre de l'Île-de-France à environ 40 kilomètres au Nord/ Nord-Ouest de Pincevent (Leroi-Gourhan et Brézillon, 1972). Les magdaléniens peuvent avoir ramassé ces blocs de matière première lors d'expéditions pour se les procurer ou lors d'autres types de déplacements logistiques on reviendra sur cette hypothèse par la suite (chasse, collecte bois... ; Kelly, 1983).

Après avoir épuisé la réserve de silex allochtone, les magdaléniens se sont reportés sur du silex local pour répondre à leurs besoins techniques. On parle de silex local car les blocs auraient pu être collectés aux alentours du site. Or, si l'occupation du IV20 correspond bien à une occupation automnale, c'est aussi à ce moment de l'année que le niveau des cours d'eau sont bas. Le contexte hydrographique peut alors faciliter l'accès aux berges exondées pour les humains. Ils auraient alors pu y ramasser les blocs affleurant les plus proches pour les transporter et les exploiter sur le campement. Cette hypothèse est renforcée par le fait que le silex local est de moins bonne qualité : *« compte tenu de l'urgence des objectifs de chasse au cours du séjour, il semble que les magdaléniens, plutôt que d'investir du temps dans la collecte de rognons de meilleure qualité et dimension supérieure dans les falaises, rive opposée du fleuve, ont préféré tirer parti d'une source d'approvisionnement proche, avec silex de qualité même moins abondants »* (Julien, 2014, p.72).

Le groupe de Magdaléniens qui vient s'installer pour la saison automnale était-il composé de différents groupes qui proviennent de différentes origines elles-aussi ? La présence de fagots de lames abandonnés, tels quels sur le sol, laisse penser à une mise en réserve pour emporter lorsqu'ils quittent le site. Les fagots auraient été oubliés au départ du campement ? Sinon, ces lames auraient pu être entreposées consciemment par un membre du groupe qui a campé sur le IV20 pour les prochains occupants du site ? Ce qui reste presque certain c'est que les familles résidentielles du niveau IV20 ont apporté et utilisé des produits en silex allochtone *in situ* à des fins techniques dans toutes les unités (surtout V105). S'il s'agit d'un seul groupe de personnes qui s'installe sur le IV20, le rassemblement de plusieurs « familles » à Pincevent ne serait pas lié au choix d'un lieu de chasse automnale spécifique et les « familles » seraient regroupées une plus grande partie de l'année (ou partie d'un cycle annuel). Mais cette

hypothèse est à reconsidérer si l'on s'intéresse à la provenance géographique/géologique du silex tertiaire exploité. En effet, si les magdaléniens du IV20 sont arrivés avec des supports de lames dans leur bagage, ils ont collecté ces matières premières loin du gisement de Pincevent. À quel moment de leur parcours de nomadisme correspond la collecte de ces blocs ? Ces produits allochtones sont souvent d'« excellente régularité et de grande dimension » (lames de 12 à 15 cm de longueur en moyenne avec des lames de 25 à 30 mm de largeur pour les plus belles). Les quelques fagots de grandes lames rassembleraient des produits d'origines différentes. C'est notamment la diversité des couleurs, entre autres, de ce type de silex qui conforte certains chercheurs sur l'idée d'un rassemblement de plusieurs groupes sur le IV20. Ces groupes proviendraient de différentes régions. En effet, autour du centre du Bassin parisien, plusieurs zones d'affleurement de silex tertiaire peuvent avoir été exploitées (Mauger, 1994). Si les différents groupes se retrouvent à Pincevent pour l'automne, ils auraient ainsi pu traverser, chacun, une ou plusieurs de ces régions en atteignant différentes zones d'affleurement. Les origines des matières premières siliceuses seraient alors liées aux circuits de nomadisme (ou expéditions d'approvisionnement) de chaque groupe. L'exploitation de ces blocs, support et lames apportés sur le site d'agrégation justifierait la mise en commun - toutes unités confondues - sur le IV20. De plus, d'après P. Bodu et G. Debout, le choix des blocs de silex allochtone pourrait être standardisé : indifféremment de la provenance, la qualité des matières allochtones semble être similaire. Cela relèverait, alors, de choix culturels, car si l'hypothèse n'est pas infirmée à l'avenir, le fait que chacun des groupes sélectionne le même type de matière première démontre une uniformisation des techniques et choix qui peuvent se transmettre au(x) moment(s) de l'année où les groupes se retrouvent.

D'autres artefacts apportent des informations sur les comportements humains : sur le niveau IV20, les magdaléniens ont apporté environ 800 kg de pierres pour répondre aux besoins liés au feu ce qui témoignerait de déplacements liés à l'approvisionnement. La mobilité des magdaléniens est ici encore attestée, par la présence de coquillages fossiles sur ce même niveau qui proviendraient de zones situées à une dizaine de kilomètres vers l'Ouest, le Nord-Ouest et le Nord-Est du site. On peut aussi évoquer une mobilité de certains individus du groupe à des fins logistiques (Binford, 1997).

Toutes ces informations sur l'exploitation des ressources environnantes permettent de supposer que le niveau IV20 pourrait correspondre à un site d'occupation de longue durée (présence de plusieurs familles ou unités familiales attestée). Ces comportements humains que nous venons de décrire témoigneraient-ils d'une certaine planification/d'un rendez-vous en vue

d'une chasse en masse de rennes ? Nos données sur l'éthologie des rennes chassés sur le IV20 devraient permettre de répondre à cette question.

III.1.2.2. L'occupation du niveau IV0 : le dernier passage des magdaléniens à Pincevent, occupation annuelle ou lieu de passages récurrents ?

Le niveau IV0 connu aujourd'hui sur une surface d'environ 1 400 m² (plan - annexe 5), a été fouillé régulièrement depuis 1989 jusqu'en 2016, sous la responsabilité alternée de P. Bodu, M. Julien, M. Orliac, G. Debout, M. Hardy et O. Bignon-Lau. Il représente la dernière occupation magdalénienne sur le site de Pincevent. D'après les analyses stratigraphiques sur ce niveau (Orliac, 2006), on compte environ dix années entre le niveau IV0 et le niveau IV20, ce qui est bien inférieur à la résolution des datations ¹⁴C pour le Paléolithique. Ce contexte stratigraphique est exceptionnel et nous permettra d'avoir une approche très précise des variations et/ou continuité des comportements cynégétiques des magdaléniens. C'est pour cette raison que les datations ne permettent pas d'obtenir une distinction chronologique fine susceptible de distinguer chaque occupation mais nous permettent d'appréhender les changements de comportements humains d'un niveau à l'autre (Bodu et Valentin, 1997).

Le niveau IV0 s'organise selon cinq unités identifiées à ce jour par les archéologues. Deux unités importantes, l'unité 43-T125 et l'unité 35-D110, s'organisent autour de foyers. Des remontages, anciens et récents, témoignent de relations étroites entretenues entre ces deux unités. De plus, les indices de saisonnalité sur l'unité 43-T125 replacent les activités de chasse des magdaléniens de l'automne au printemps à la différence du niveau IV20. Ainsi, cette unité témoigne d'une occupation hivernale à Pincevent (Bignon *et al.*, 2006, Bodu *et al.*, 2013, annexe 5).

Une première monographie du niveau IV0 fut publiée en 2006 et présentait les découvertes et études faites sur les unités T125 et Y127. D'après cet ouvrage, les espaces d'occupations par les Magdaléniens présentent une structuration inhabituellement massive (parure, lithique, pierres de chauffe...) en comparaison avec les unités du niveau IV20 et des autres niveaux du site. De plus, O. Bignon-Lau y décèle des stratégies de chasses qui diffèrent de celles identifiées sur le niveau IV20 avec des stratégies et tactiques qui s'étalent sur presque un cycle annuel (saisonnalité d'après les chevaux et rennes abattus et consommés sur le niveau).

Concernant la datation de ces occupations, cinq dates ont été obtenues :

Unité 43-T125 : 12 580 +/- 60 BP

Unité 35-D110 : **12 440 +/- 60 BP**

Unité 35-M103 : **12 460 +/- 70 BP**

Unité 25-V97 : **12 570 ± 130 BP // 12 620 ± 130 BP**

+ Humain (inédit) = 12750 +/- 45 BP (*cf.* datation humain 2022 et datation plus ancienne du IV0 et V97).

Ces datations s'intègrent bien dans le panel de celles obtenues antérieurement à Pincevent (plus généralement pour le Magdalénien du Bassin parisien) qui fluctuent entre 12 500 BP et 12 000 BP (Bodu *et al.*, 2013). L'industrie lithique témoigne de modes d'occupation différents du IV20 avec des restes de débitages majoritaires (effectif d'éclats supérieur à celui des lamelles et lames) et un outillage très présent (pièces retouchées, burins, grattoirs moins représentés). Ce qui définit aussi ce niveau, c'est une quantité d'objets en silex allochtone significativement élevée en comparant d'autres occupations de Pincevent (ici 4,6% de l'industrie), surtout les nucleus et rognons (Bodu *et al.*, 2013). L'étude des pierres de foyer, apporte des informations similaires sur la quantité de roches apportée sur le site notamment (465 kg sur une superficie de 1 500 m² contre 800 kg sur les 4 500 m² du niveau IV20). La densité importante (au mètre carré) de pierres de foyers présentes sur le niveau IV0 posent de nombreuses questions sur les modalités d'acquisition puis d'exploitation de ces matières (Dumarçay).

O. Bignon-Lau propose une différenciation des stratégies de chasse sur le niveau IV0 par rapport à celles identifiées sur le niveau IV20. En effet, le nombre de restes de rennes (NM1c = 43) s'égalise presque avec celui du cheval (NM1c = 33). On remarquera ici que le poids de viande est plus important chez le cheval, ce qui reviendrait à avoir la même quantité de viande tant de renne que de cheval (Bignon *et al.*, 2006). Selon O. Bignon-Lau, l'occupation du niveau IV0 est typique d'une « prédominance associée cheval-renne » (ces deux animaux représentant au moins 85% du NR) (Bignon, 2007, 2014). En conclusion, tous ces éléments de la culture matérielle (lithique, faune notamment) indiquent qu'il s'agit d'une occupation dont les remontages montrent des dynamiques entre toutes les unités, c'est-à-dire que nous avons à faire à un campement. Celui-ci a été fréquenté à différents moments de l'année (indices de saisonnalité). Cependant on peut se demander s'il s'agit d'une occupation continue ou discontinue de l'occupation. Cette question reste en débat et doit faire l'objet d'une confrontation argumentée sur la base des quantités de silex, comparable à celle du IV20, il est plus vraisemblable de formuler l'hypothèse d'une occupation discontinue à l'échelle globale

du campement à ce jour. On cherche donc à savoir si l'éthologie des proies visées par les Magdaléniens du niveau IV0 peuvent apporter des informations d'ordre environnemental pour répondre à cette question.

CONCLUSION

Pour expliquer autant de différences d'un niveau à l'autre si proches dans le temps, environ une dizaine d'années, les archéologues envisagent, à ce jour, plusieurs hypothèses. Peut-on avoir à faire à un changement d'ordre environnemental qui aurait influencé les déplacements liés aux stratégies de subsistances des Magdaléniens et au développement de nouvelles façons d'établir les tactiques de chasse sur un cycle annuel ou plus ? Une partie du groupe serait-elle restée sur place à Pincevent malgré ces changements environnementaux et malgré les crues de la Seine ? Notre étude, permettra de reconstituer certaines caractéristiques environnementales à travers la reconstitution du comportements des gibiers chassés par les Magdaléniens.

On rappellera que les groupes humains qui s'installent à Pincevent semblent être nomade. On sait que les crues de débordement de la Seine ont scellées les occupations humaines à l'état d'abandon. Au cours du cycle annuel, lors des crues, le site n'aurait donc pas été praticable et/ou habitable et les humains seraient revenus lorsque l'eau se retire. Ainsi, ils ont quitté les lieux ou sont absents lorsque l'eau recouvre les vestiges : ils se déplacent. Ces différentes occupations de Pincevent confirment l'hypothèse d'un mode de vie nomade pour les magdaléniens. On peut donc comparer d'une couche à l'autre, à l'échelle d'une saison ou d'un cycle annuel, les déplacements et les comportements de subsistance des groupes (qu'il s'agisse des mêmes groupes ou de différents groupes) de magdaléniens du Bassin parisien qui ont fréquenté les berges de Pincevent successivement inondées. Les travaux sur l'économie des ressources lithiques et malacologiques permettent une approche du territoire et de la mobilité des humains. Associées aux données archéozoologiques et à nos données sur l'éthologie du renne et du cheval nous tentons d'apporter quelques réponses à ces questions.

CHAPITRE 2. Exploitation des ressources animales par les Magdaléniens : étude archéozoologique des niveaux IV40 et IV30

Dans le but de mieux comprendre les interactions chasseur-proies au Tardiglaciaire à Pincevent nous avons entrepris l'étude archéozoologique de restes fauniques de deux niveaux stratigraphiques inférieurs du site. Sur ce gisement, comme on le rappelle dans le chapitre précédent, les archéozoologues ont notamment mis en évidence des variations dans les stratégies et tactiques de chasses entre les niveaux IV20 et IV0 (David, 1994 ; David *et al.*, 2014 ; Bignon-Lau *et al.*, 2006 ; partie III, chapitre 1). Ces découvertes nous laissent penser que les modalités de chasse ont varié sur les autres occupations. C'est ce que nous proposons d'investiguer dans ce chapitre. Nous avons étudié les vestiges fauniques des niveaux IV40 et IV30 lors des campagnes de d'étude en post-fouille à Pincevent de 2017 à 2019. Ces niveaux inférieurs au niveau IV20 et dont on ne connaît pas, à ce jour, la superficie maximale sur le site, ont été découverts et fouillés par sondages successifs au cours de la décennie qui s'étend des années 1970 aux années 1980.

III.2.1. Présentation du corpus d'étude : bref historique des fouilles des niveaux IV40 et IV30

Le niveau IV40, situé au-dessus des niveaux IV45 et IV50 de la stratigraphie, correspondrait à un « atelier de travail des peaux » (Ballinger *et al.*, 2014). Il s'agirait d'une occupation de quelques semaines au cours de l'automne. La quantité d'ossements, de bois de renne, d'outils en silex mis au jour dans l'unité J116 du niveau évoque des activités diversifiées. L'étude tracéologique sur les grattoirs et l'observation d'ocre piégé dans les parties actives de nombreux de ces outils confirmerait l'hypothèse d'activités dédiées au traitement des peaux. Les archéologues ont aussi interprété une épaisse accumulation cendreuse, située à moins d'un mètre du foyer (restes cendreaux imprégnés d'hémoglobine et de graisses animales) comme étant une structure de séchage des peaux (Ballinger *et al.*, 2014). Si les activités liées à l'exploitation des peaux semblent avoir tenu une place importante sur l'unité fouillée du IV40, qu'en est-il de l'exploitation en amont de la chaîne opératoire des ressources animales ? Une étude archéozoologique de la faune de ce niveau IV40 permettra de mieux aborder l'exploitation des ressources animales en amont du travail des peaux et de repérer des indices sur cette activité.

Le niveau IV30, situé au-dessus du niveau IV40, rappelle une unité où l'activité principale est liée au traitement et à la découpe des carcasses animales. L'étude lithique indique la présence de nombreuses lames en silex local importées pour la plupart et fabriquées sur place pour certaines ce qui relègue la fabrication et la réfection des armes de chasse au second

plan (Ballinger *et al.*, 2014). S'il s'agit d'une aire de boucherie : le travail effectué par les Magdaléniens sur les os devrait avoir laissé des traces de transformation. Notre objectif ici est de tester cette hypothèse en étudiant d'une part, les processus d'enfouissement des vestiges à travers une étude taphonomique ; puis, d'autre part, de procéder à la détermination des parties anatomiques et du spectre faunique avant de vérifier l'éventuelle présence de traces anthropiques sur les os.

Le niveau IV40, atelier de peausserie ?

« Les informations issues de sondages ponctuels laissent penser qu'il s'étend sur une bien plus grande superficie, à l'instar de la plupart des autres sols d'habitat à Pincevent » (Ballinger *et al.*, 2014, p.40) :

Le niveau IV40 est situé à la base de l'horizon limono-sableux qui contient l'ensemble des habitats magdaléniens (horizon IV, voir partie III, chapitre 1 figure 31, tableau 1). Il fut fouillé sur 150 m² sur plusieurs années. Dans les années 1980, c'est l'unité d'occupation « 36-J116 » qui est mise au jour. Elle livre environ 4500 vestiges (artefacts inventoriés). Sur cette unité, occupée moyennement densément, les archéologues identifient une distribution habituelle de silex, de roches et d'ossements autour d'un large foyer. Cette unité caractérise bien les conditions d'enfouissement à Pincevent en termes de conservation des vestiges avec une excellente préservation des surfaces osseuses notamment. C'est la topographie qui a permis une telle conservation des vestiges car les Magdaléniens semblent avoir « occupé une légère dépression au sein de laquelle les limons de débordement se sont naturellement accumulés en plus forte quantité, assurant une protection optimale des vestiges » (Ballinger *et al.*, 2014). En 1969, un espace s'ajoute à l'unité d'occupation déjà mise au jour, cette zone livre un petit foyer en cuvette et quelques vestiges parmi lesquels on trouve un grand bois de renne. Considéré jusqu'en 2013 comme la première halte des Magdaléniens à Pincevent le niveau IV40 n'est aujourd'hui plus attribué aux pionniers de Pincevent. En effet, en 2013 des travaux de sondages réalisés dans la section 46 présentent des ensembles de vestiges relativement denses (foyer, amas de débitage) découverts au sein de lits argileux clairement positionnés en-dessous du niveau IV40.

Le niveau IV40 peut être assimilée à une occupation de quelques semaines, d'après les chercheurs. L'analyse d'une série dentaire de rennes juvéniles, retrouvée à proximité d'un foyer indique une occupation qui se serait déroulée au cours de l'automne. De plus, l'identification de nombreux débitages défectueux lors de l'analyse de l'industrie lithique permet d'approcher

la question de la composition du groupe social qui a séjourné sur l'occupation en proposant l'hypothèse de la présence d'enfants (débutants) qui apprennent à tailler. De nombreux supports d'outils et d'armatures débités avec habileté attestent la présence de tailleurs confirmés qui auraient pu apprendre aux plus jeune. Les débitages étant localisés aux abords des foyers, les technologues lithiques imaginent plutôt « une famille » se retrouvant au bord du feu pour tailler ou conduire d'autres activités de type : consommation alimentaire de viande ou transformation des matières dures et molles animales. Dans l'unité J116 par exemple, de nombreux ossements, bois de renne et outils en silex jonchent le sol et témoignent d'activités diversifiées. La découverte de nombreuses armatures dans la périphérie immédiate du foyer confirme aussi une confection d'armes pour la chasse.

Non loin du foyer, les archéologues pensent que, l'espace pourrait avoir été plus spécifiquement voué au traitement des peaux. Cette activité a été perçue à travers l'outillage mais aussi par l'intermédiaire de structures et de témoins particuliers. Nous reprenons rapidement la liste des nombreux indices :

- *LITHIQUE* - l'analyse tracéologique de nombreux outils en silex a mis en évidence l'importance du travail de la peau. Parmi ces outils de nombreux grattoirs sont auraients pu servir lors des étapes d'écharnage et de carroyage et de nombreux perçoirs, tronçatures et lames retouchées auraients aussi pu entrer dans le processus de travail des peaux.
- *OCRE* – la présence d'ocre en grande quantité atteste d'une utilisation de cette matière première sur l'occupation IV40. D'après les expérimentations les archéologues reconnaissent de nombreuses propriétés (antiputride, prophylactique) qui justifieraients son utilisation sur l'occupation. Dans l'unité J116, l'ocre a été identifiée sous forme de nodules (calibre variable) et de poudre sur une dalle en grès. Cette dalle pourrait correspondre à une sorte de meule où les pigments sont broyés. On retrouve aussi de l'ocre dans les parties actives des outils sur lesquels les traces du travail de la peau ont pu être identifiées.
- *ACCUMULATION CENDREUSE* - une épaisse accumulation cendreuse, située à moins d'un mètre du foyer, se composait de restes cendreaux imprégnés d'hémoglobine et de graisses animales. Il semblerait aussi que la présence de résidus de pelage et de peau y a été déterminé. D'après la stratigraphie de cet amas de cendres, on peut attester d'apports (cinq d'après l'étude) séparés par de courts épisodes où la zone n'a pas été utilisée. Ce qui laisse penser les archéologues qu'il s'agirait d'un foyer secondaire ce

sont les faits ethnographiques (processus de séchage lors de la confection de peaux de rennes épilées chez certaines populations de Sibérie).

- *STRUCTURE DE FUMAGE* – De probables témoins négatifs d'une structure de fumage sous la forme de quatre petites dépressions peu profondes sont réparties autour du foyer. Le mode de formation demeure inconnu. Elles pourraient tout aussi bien avoir été intentionnellement creusées qu'occasionnées par l'enfoncement d'objets dans le sol. Ce type d'installation, en forme de mini-tipi est très répandue chez les populations nomades. Le plus souvent, il est mis en place pour réaliser des activités qui tirent parti de la chaleur émise par le foyer. Toutefois des structures aux formes similaires sont aussi couramment employées pour effectuer le fumage des peaux. Dès lors, on peut se demander, considérant les quelques autres faits déjà relevés, si ce n'est pas plutôt pour remplir cette fonction de fumage qu'une telle structure aurait été mise en place dans l'unité J116. Hypothèse encore incertaine qui mérite d'être considérée par d'autres découvertes du même type.

Toutes ces données accumulées sur l'occupation du niveau IV40 apportent des précisions sur les comportements de subsistance des Magdaléniens à Pincevent. On retiendra que la superficie mise au jour sur ce niveau ne représente pas toute la surface qui a été occupée par les Magdaléniens du IV40. La reprise des fouilles sur ce niveau nous fera peut-être changer d'avis quant à la fréquentation courte du site ou à la composition du groupe social qui a occupé l'ensemble du niveau. Cependant, on retiendra que les 150m² fouillés offrent un point de vue sur les diverses activités qui se sont déroulées sur le niveau IV40 : taille d'outils et d'armatures, consommation alimentaire et techniques des matières animales voire séchage des peaux ont été identifiés. Une analyse détaillée des vestiges fauniques apportera des précisions sur les comportements des Magdaléniens du niveau IV40.

Pincevent, niveau IV30 : un niveau riche en faune

Bien que le niveau IV30 soit situé au-dessus du niveau IV40, sa découverte est liée à celle du niveau IV40 (Ballinger *et al.*, 2014). Identifiée à quelques centimètres de ce niveau en 1969, on lui associe un fragment de lame et un fragment de métapode de cheval dans le rapport de fouille de 1977. En 1980 lorsque Michel Orliac effectue des sondages à la tarière il arrive à délimiter le niveau IV30 en section 36 sur environ 120 mètres carrés (1,25 mètres sous le niveau IV20 dans les carrés I-J 114-115). Par la suite, la fenêtre est élargie et livre l'unité 36-M114 que l'on décrit par la suite. En 1985, la zone du foyer en M114 est moulée sur une superficie de 9m². Et en 1988, l'ensemble du niveau est démonté. On notera qu'une partie du niveau est

restée à l'air libre pendant trois ans ce qui n'a pas dû aider à une bonne conservation des vestiges fauniques (notamment).

L'unité M114 a livré une faible densité de vestiges (n = 700). Autour de 15 pierres chauffées qui peuvent former un foyer en cuvette, sont dispersés : des os relativement bien conservés (renne et chevaux). D'après les premières observations lues dans les rapports de fouille entre 1980 et 1988, on notera que les parties anatomiques présentent autour du foyer sont habituellement rencontrées en périphérie du territoire des unités (côtes, phalanges et torses). De plus, on notera de nombreux fragments de bois de renne dont la présence est évoquée pour souligner qu'il s'agirait de « ramures de jeunes individus femelles » (Ballinger *et al.*, 2014, p.51). Cette dernière information nous semble être un peu trop précise pour les techniques d'observation et de détermination utilisées dans les années 80-90 par les archéozoologues.

À proximité du foyer, les archéologues ont découvert deux amas de silex (contenant environ 450 éclats). Le travail de remontage des chercheurs a permis d'identifier les phases de travail à l'origine de ces deux assemblages. Le premier amas résulte de deux opérations de débitage de blocs en vue d'une production de lamelles et le second amas (situé à proximité immédiate du foyer) livre deux nucléus, des lames et des éclats allongés ainsi qu'un percuteur (rognon sphérique qui reposait au sein de l'amas). Les outils retrouvés, sur cette unité, se composent de becs et perçoirs ainsi que d'une grande quantité de longues lames tranchantes aux bords ébréchés qui peuvent avoir servi de couteaux. Parmi ces lames, figure la plus longue lame en silex allochtone identifiée à Pincevent à ce jour (23 cm).

Si les activités de réfection d'armes de chasse et de taille du silex sont présentes dans l'unité M114, elles ne sont pas prédominantes. L'activité principale semble être liée au traitement des carcasses si l'on associe l'assemblage faunique au lot de lames évoquées ci-dessus.

Enfin, les archéologues se posent des questions sur la superficie du niveau IV30 car sur l'unité M114, environ 80% des supports qui sont utilisés et transformés en outils semblent avoir été importés. Il s'agit d'une quantité importante compte tenu de la fonction probable de l'unité. D'après eux, il s'agirait bien d'une aire spécialisée dans la boucherie qui ne constituerait qu'une partie d'un habitat plus étendu. En 2012, la découverte de quelques objets, rapportés au niveau IV30, à plus de 25m de distance de l'unité M114, est venue conforter cette hypothèse.

Malgré le bon état de conservation des matières dures animales sur le niveau IV30 d'après la présence de certains restes de faune réputé comme étant extrêmement fragiles et la présence de quelques témoins d'industrie osseuse (baguette et pointe de sagaie en bois de renne) ; la durée et la saison d'occupation sont inconnues.

Constat sur l'état général des vestiges fauniques

Les restes fauniques des niveaux IV30 et IV40 ont été observés par J. Enloe mais les études de ces assemblages n'ont pas été publiées. Dans le but d'avoir des informations complémentaires sur la stratigraphie fouillée de Pincevent nous avons entrepris la révision du matériel faunique de ces deux niveaux.

Dans un premier temps, nous avons cherché à comprendre comment J. Enloe avait conditionné le matériel faunique des deux niveaux étudiés, nous avons dû prendre le temps de lire les données qu'il avait noté sur des petits morceaux de papiers dans les sachets ou boîtes contenant la faune. Nous avons pu identifier dès les premiers ossements qu'il s'agissait seulement d'os de renne. Le tri s'est donc effectué par parties anatomiques du renne de type squelette axial, os des membres inférieurs, postérieurs.

III.2.2. Résultats d'analyse par couche

III.2.2.1. Étude archéozoologique sur les témoins fauniques de l'unité 36-J116 sur le niveau IV40.

D'après le décompte final de l'étude conduite en 2017, l'assemblage faunique compte 488 restes osseux bien conservés. Le renne (*Rangifer tarandus*) prédomine dans le spectre faunique (87% du NR, Tab.1) et quelques restes de chevaux (*Equus caballus*, 3%), de marmotte (*Marmotta marmotta*, 2%) et de mammouth (*Mammuthus primigenius*, 8%) viennent compléter le corpus (tableau 13).

Tableau 13 : Décompte des restes déterminés et indéterminés sur le niveau IV40 de Pincevent.

Espèces	NR	NR%
Renne (<i>Rangifer tarandus</i>)	274	87
Cheval (<i>Equus caballus</i>)	10	3
Marmotte (<i>Marmotta marmotta</i>)	6	2
Mammouth (<i>Mammuthus primigenius</i>)	26	8
Total déterminés	316	100
Catégorie III	10	
Catégorie IV	28	
Indéterminés autres	126	
Esquilles tamisage	8	
Total indéterminés	172	
Nombre total de restes	488	

Taphonomie

D'après les archéologues qui ont fouillé et étudié cette unité les conditions topographiques seraient à l'origine d'une bonne conservation des vestiges car les Magdaléniens ont occupé une légère dépression au sein de laquelle « les limons de débordement se sont naturellement accumulés en forte quantité ». Une analyse taphonomique nous a permis d'évaluer les conditions d'enfouissement et de préservation relative des vestiges fauniques.

Nous avons pu observer dans un premier temps la conservation de toutes les tailles de vestiges fauniques. Ensuite, sur les os longs identifiés nous avons pu caractériser les différentes altérations potentielles à l'aide de trois descripteurs taphonomiques : le weathering, les traces de racines et la fragmentation différentielle. Voici les résultats obtenus selon chaque indicateur.

Selon les classes de taille attribuées lors de la description des vestiges (figure 32), les témoins osseux de petite taille et les os fins sont entiers (os courts type phalanges, os du carpe ou du tarse et os fins du crâne ; tailles A et B). Ces os courts ou plats peuvent subir des détériorations rapides du fait de leur fragilité : leur présence évoque donc de bonnes conditions d'enfouissement des vestiges fauniques.

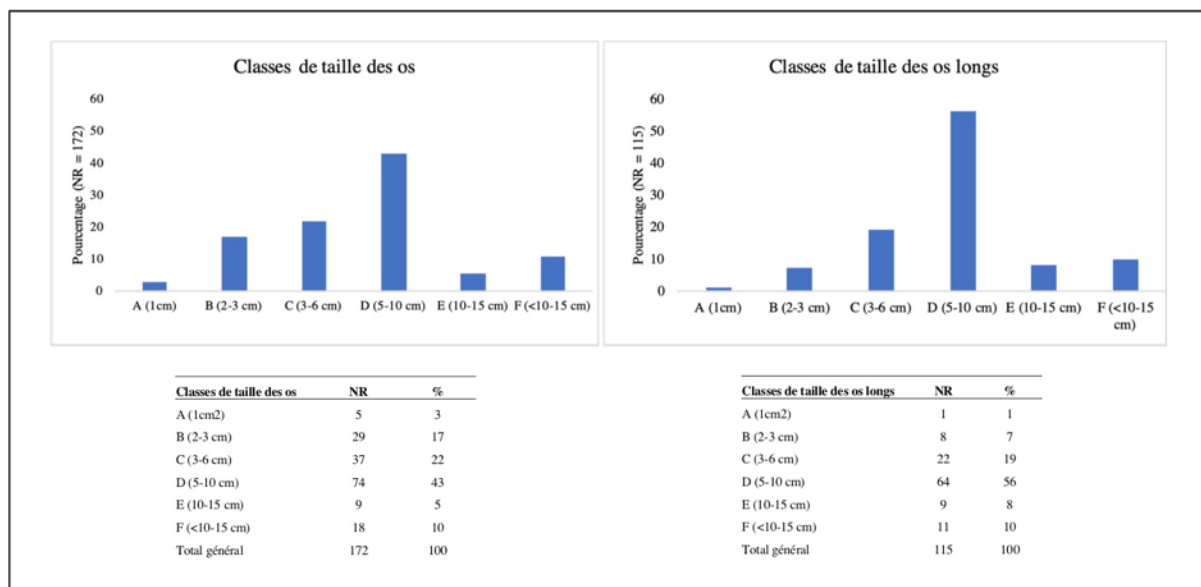


Figure 32 : Taille des vestiges osseux dans l'unité 36-J116

L'assemblage faunique présente le plus grand pourcentage de vestiges de tailles intermédiaires (tailles B, C et D). De plus, 8% les os longs sont de grande taille (taille E) voire de très grande taille (taille F ; 10%) ce qui témoigne d'un très bon état de conservation des os longs sur ce niveau. En effet les vestiges ne semblent pas avoir subi trop de détériorations depuis l'abandon des restes jusqu'à leur découverte il semble qu'ils aient donc été enfouis relativement rapidement. Pour tenter d'évaluer le temps d'enfouissement des vestiges, nous avons évalué le niveau de destruction différentielle dans l'ensemble faunique. L'identification des stades de weathering sur des os longs nous permettent d'évaluer cela ; plus ils sont élevés et plus les altérations ont été fortes (figure 33 ; Bignon-Lau, 2006 d'après Auguste, 1994). Dans le cas du niveau IV40 nous avons pu effectuer ce travail essentiellement sur les métapodes de rennes. On

constate que les quelques témoins osseux étudiés pour le weathering appartiennent pour 50 % aux stades 1 et 2. Les stades 3 et 4 permettent encore facilement d'identifier l'anatomie de l'os et sont représentés à 33%. Le stade 5 montre un état de détérioration de la surface osseuse telle que la détermination anatomique est presque impossible (17% du NR). Les vestiges semblent avoir subi plus de destruction que d'autres, ce qui permet de penser que les conditions d'enfouissement ont été variables.

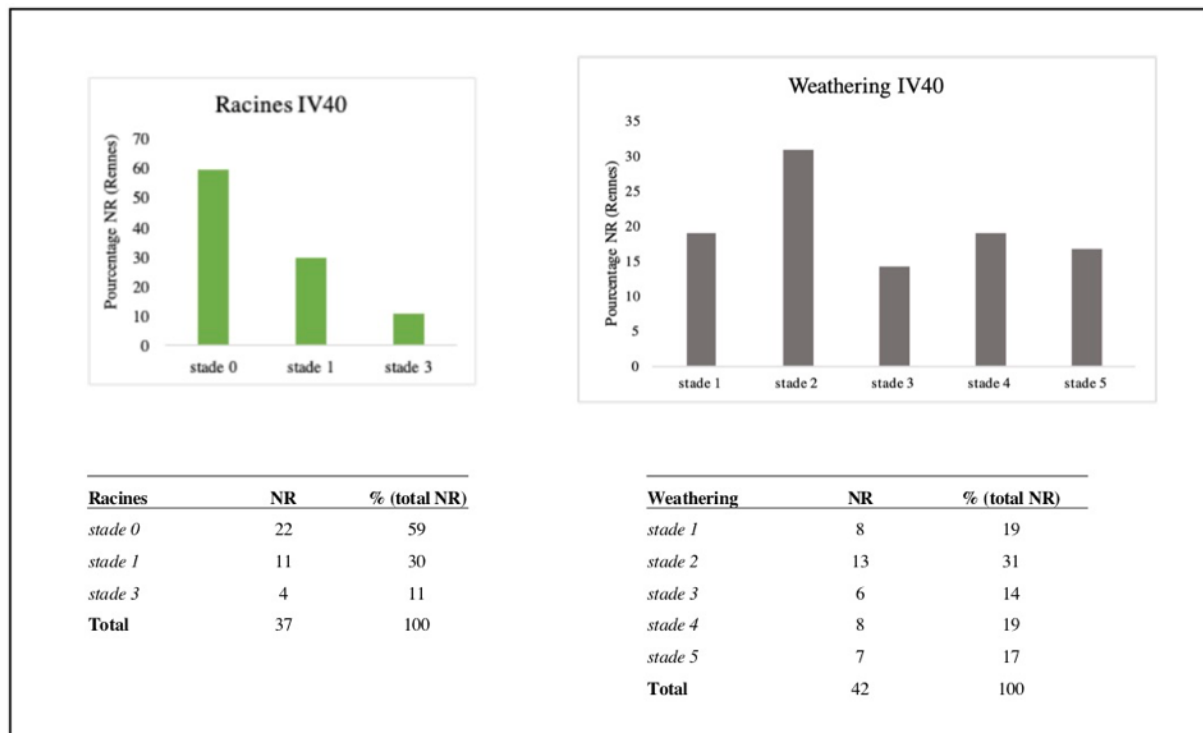


Figure 33 : Identification des stades de racines et de stades de weathering sur les surfaces osseuses du niveau IV40

L'activité racinaire est aussi un descripteur taphonomique qui apporte des informations sur le degré des altérations superficielles des éléments osseux en contexte archéologique. A la surface de l'os les radicelles s'attachent aux fibres osseuses pour en extraire des nutriments pour leur croissance. Elles laissent donc des vermiculations que l'on peut observer sur les surfaces osseuses après nettoyage et restauration de celles-ci. Les taux de recouvrement des traces de racines sont faibles pour l'occupation du niveau IV40 puisque 89 % des surfaces sont presque peu ou pas recouvertes de ces traces de racines. Lorsque l'on considère cette estimation par rapport aux autres niveaux du site, les témoins osseux étudiés ici ont subi peu d'altération par les racines comme nous avons pu l'identifier sur le niveau supérieur IV30. Les unités situées le plus en hauteur sur le niveau IV0 par exemple présentent des taux de recouvrement très importants et ont donc été très touchées par ces altérations (Bignon-Lau, 2017).

D'autres observations ont été faites sur les surfaces osseuses : notamment, sur la fracturation apparente des os en vue d'un traitement des carcasses. Certains os longs présentent des traces d'impact (n = 33). Parmi ces os longs on peut identifier un grand nombre de métapodes et du tibia. Il semble, d'après les données enregistrées que les métapodes ont été fracturés car ils présentent un grand nombre de fractures en spirale (n= 20), en escalier (n= 28) et d'écrasements (n= 14). Il semble que plus des trois quarts des fragments étudiés portent les stigmates d'une fracture sur os frais. La fracturation intervient sur l'os frais et « se produit très généralement avant l'enfouissement, tandis que la fragmentation concerne essentiellement les os secs (esquillements « en baguettes », etc), parfois enfouis ou en cours de fossilisation » (Bignon et Christensen, 2009). Une trace d'activité de carnivore a été identifiée sur une surface osseuse mais est à vérifier avant de proposer toute hypothèse sur la présence de carnivores sur l'occupation.

Les vestiges qui sont moins bien conservés présentent un état de surface brûlé (n = 18).
« ...les activités associées à la combustion vive peuvent tout à fait être réalisées avec de l'os spongieux. Pour toutes les activités qui s'inscrivent dans la durée, comme l'éclairage, le séchage, le fumage et la cuisson des aliments, la protection, l'entretien d'un foyer domestique, il convient d'employer du spongieux frais et entier, de préférence des extrémités distales. [...] Il est également possible de réguler la production des fumées en jouant sur l'état de fraîcheur des os. Ainsi, la combustion des portions fraîches produit des fumées humides, ce qui convient par exemple pour le traitement des peaux. Lors de la chaîne opératoire, celles-ci doivent être exposées pendant quelques minutes à ces fumées (Beyries *et al.*, 2002). » (Théry-Parisot & Costamagno, 2005)

Détermination des espèces

Nous avons pu identifier quatre espèces sur l'occupation du niveau IV40 : le renne domine l'assemblage et représente 87% du nombre de restes déterminés (*Rangifer tarandus* ; NR = 274 ; tableau 1). Nous avons pu identifier le mammoth qui est représenté par des fragments d'ivoire et de lamelles dentaires découverts dans différents mètres carrés de l'unité 36-J116 (*Mammuthus primigenius*, NR = 26). Le cheval est représenté par 8 fragments osseux (*Equus caballus arcelini*). C. Peschaux a pu identifier une marmotte dans l'assemblage (série dentaire présentant une exploitation technique. La présence du lièvre a été évoquée dans les rapports de fouille des années de découverte et d'étude de l'unité J116. Nous n'avons pu identifier de restes de léporidés dans cet assemblage faunique.

A ce jour l'étude des restes fauniques permet d'inventorier un nombre minimum d'individus très faible par espèce. On peut identifier au minimum trois individus renne - dont un juvénile qui présente des os non épiphysés. On peut identifier au minimum un spécimen pour les autres espèces présentes (cheval, marmotte, mammouth).

Nous noterons que le cheval n'est représenté que par des éléments de mandibule (os, dents inférieures et racines dentaires). C'est aussi le cas du mammouth identifié par des lamelles de dents et des fragments d'ivoire. Les dents d'une marmotte présentent des traces techniques. On peut émettre l'hypothèse de l'utilisation des matières dures animales (ici l'émail) comme matière première pour réaliser des activités techniques. On peut interpréter tous ces restes dentaires épars de chevaux, mammouth et marmotte comme étant des éléments de consommation technique ou symbolique plus que des déchets alimentaires. Si c'est le cas ces espèces n'auraient pas été chassées et les éléments présents dans l'unité J116 auraient pu être collectés dans l'environnement tout comme des bois de chute de renne. Ces espèces sont aussi des marqueurs environnementaux. Ici l'association rennes, chevaux et mammouth témoigne de la fréquentation d'un paysage steppique (steppe à mammouth ; Guthrie, 1982, 1984, 1990).

Observations sur la répartition spatiale des vestiges

L'exploitation du renne peut avoir répondu aux besoins alimentaires d'une part avec une représentation de presque toutes les parties anatomiques. A noter que les phalanges de rennes qui abondent sur le niveau IV30, étudié et présenté par la suite (Catz, 2018), n'ont pas été identifiées dans l'unité J116. Cette absence peut laisser paraître un choix économique chez les chasseurs ou un biais de représentation archéologique. En effet les extrémités des membres auraient pu être rejetées dans une autre zone du site non fouillée à ce jour. Une grande quantité de bois de rennes ont été mis au jour sur ce niveau, ce qui laisse encore penser à une exploitation technique de cette matière dure animale.

D'un point de vue spatial, les vestiges osseux sont concentrés autour du foyer domestique situé en J116 dans les bandes IJKL-116-117-118. C'est aussi le cas des vestiges lithiques avec des amas de débitages localisés en K115, J116-117, I118-119. Le sédiment sur ce niveau est souvent caractérisé par sa couleur ocrée.

D'après les rapports de fouille des années 1980, l'outillage lithique est assez important dans l'unité 36-J116. En effet, l'identification de burins et grattoirs témoignent du travail des peaux et des matières animales. Plusieurs postes de débitages entourent le foyer J116 et sont orientés plutôt vers le Sud-Est. Enfin, le démontage de l'unité dans les années 1990 permet la

mise au jour de trois fosses J115, I115, I116 où se mêlent esquilles de silex et d'os. Ces structures et vestiges permettent de souligner l'hypothèse d'une exploitation technique des ressources animales sur le niveau IV40.

Conclusions et hypothèses sur l'exploitation des ressources animales sur le niveau IV40

L'unité IV40-36-J116 présente des variations par rapport aux autres occupations de Pincevent. La faune y est variée (renne, mammouth, cheval, marmotte), mais les déchets qui pourraient provenir d'une consommation alimentaire sont peu représentés. La présence de matières dures animales exploitables (de bois de renne, de fragment d'ivoire de mammouth, de restes dentaires de chevaux, marmotte et mammouth) associée à un outillage important évoque une exploitation technique de ces matières. Les activités techniques peuvent avoir primé sur les activités de consommation habituellement caractéristiques des Magdaléniens de Pincevent. Elaborée à partir de l'observation des vestiges en place, cette hypothèse pourra être validée dans les années à venir lorsque l'on connaîtra le niveau IV40 sur une plus grande superficie. D'après les premières observations et études effectuées sur cette unité on peut penser qu'elle a accueilli des activités diversifiées.

Le renne étant l'espèce la plus représentée sur l'unité J116 on peut émettre l'hypothèse qu'il s'agit de la proie privilégiée sur ce niveau. Le niveau IV40 présente-t-il d'autres unités d'occupation ? et si c'est le cas les autres espèces observées dans le spectre faunique ont-elles été chassées ou exploitées en plus grand nombre ? Nous ne pourrions répondre à ces questionnements que lorsque les archéologues auront découvert d'autres occupations sur le niveau IV40.

III.2.2.2. Étude archéozoologique des témoins fauniques du niveau IV30

C'est pendant la campagne de post-fouille en juillet 2017 et juillet 2018 que nous avons pu entreprendre l'étude des vestiges fauniques du niveau IV30 de Pincevent.

L'assemblage faunique du niveau IV30 contient 1041 restes osseux bien conservés. Le renne (*Rangifer tarandus*) prédomine dans le spectre faunique (97% du NR, tableau 14) et quelques restes de chevaux (*Equus caballus*) viennent compléter le corpus (3 %, tableau 14). Si on retrouve ces deux espèces dans tous les niveaux occupés par les Magdaléniens, on constate une très faible diversité d'espèces chassées.

Tableau 14 : Spectre faunique et NR déterminés et indéterminés sur le niveau IV30 de Pincevent

Espèces	NR	NR%
Renne (<i>Rangifer tarandus</i>)	234	97
Cheval (<i>Equus caballus</i>)	8	3
Total déterminés	242	100
Esquilles/Os courts	35	
Os longs	24	
Os plats	6	
Indéterminés autres	29	
Esquilles/ Tamisage	705	
Total indéterminés	799	
Nombre total de restes	1041	

Taphonomie

Une analyse taphonomique nous a permis d'évaluer les conditions d'enfouissement et de préservation relative des vestiges fauniques. Après avoir observé une conservation de toutes les tailles de vestiges des plus petites parties anatomiques au plus grandes, nous avons procédé à l'identification de trois descripteurs taphonomiques qui visent à couvrir différentes altérations potentielles courantes pour les assemblages osseux fossiles : le weathering, les traces de racines et la fragmentation différentielle.

Selon les classes de taille attribuées lors de la description des vestiges (figure 34), les témoins osseux de petite taille et les os fins sont entiers (os courts, os du crâne ; tailles A et B). Lorsqu'ils sont abandonnés à l'air libre, ces os courts ou plats peuvent subir des détériorations rapides du fait de leur fragilité ils présentent donc un bon marqueur taphonomique. Or la collection présente le plus grand pourcentage de vestiges de tailles intermédiaires (tailles B, C et D). De plus, 10% des os longs sont de grande taille (taille E) voire de très grande taille (taille F ; 4%) ce qui témoigne d'un très bon état de conservation des parties anatomiques sur ce niveau. Les vestiges ne semblent pas avoir subi de détériorations importantes jusqu'à leur découverte ce qui laisse penser à un enfouissement relativement rapide par les limons de débordement de la Seine.

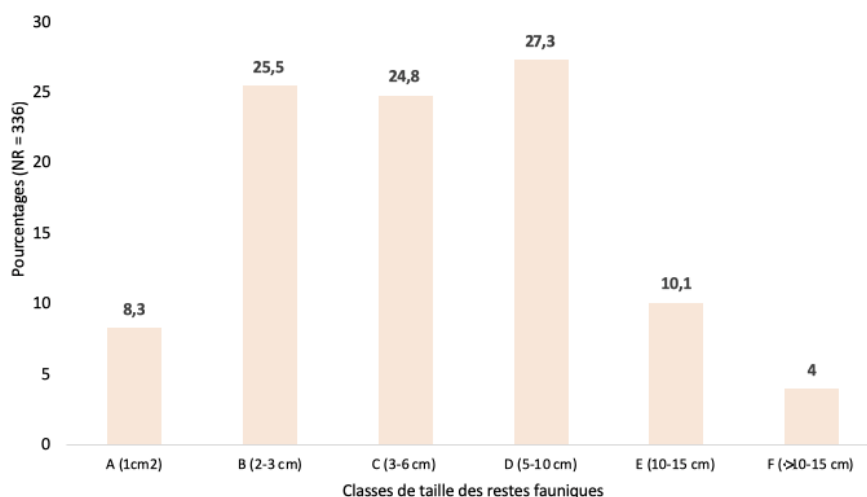


Figure 34 : Taille des vestiges (par classes de tailles)

Pour tenter d'évaluer la rapidité d'enfouissement des vestiges, nous avons étudié le niveau de destruction différentielle dans l'ensemble faunique (figure 35 ; *weathering* ; Bignon-Lau, 2013 d'après Auguste, 1994). Dans le cas du niveau IV30 on constate que les témoins osseux appartiennent à plus de 70 % aux stades 3 à 4 tandis que le stade 5 est moins bien représenté (11,4% du NR) ce qui montre un enfouissement plutôt rapide des vestiges après leur abandon, les surfaces ne sont pas délitées et on peut identifier les parties anatomiques de façon à déterminer les espèces présentes sur le site.

L'activité racinaire est aussi un descripteur taphonomique qui apporte des informations sur le degré des altérations superficielles des éléments osseux en contexte archéologique. A la surface de l'os les racines s'attachent aux fibres osseuses pour en extraire des nutriments pour leur croissance. Elles laissent donc des vermiculations que l'on peut observer sur les surfaces osseuses après nettoyage et restauration des surfaces osseuses. Les taux de recouvrement des traces de racines sont faibles pour l'occupation du niveau IV30 puisque près de 85% des surfaces sont presque peu ou pas recouvertes de ces vermiculations. Lorsque l'on considère cette estimation par rapport aux autres niveaux du site, les témoins osseux étudiés ici ont subi peu d'altération par les racines. Les unités situées le plus en hauteur sur le niveau IV0 par exemple présentent des taux de recouvrement très importants et ont donc été très touchées par ces altérations (Bignon-Lau, 2017).

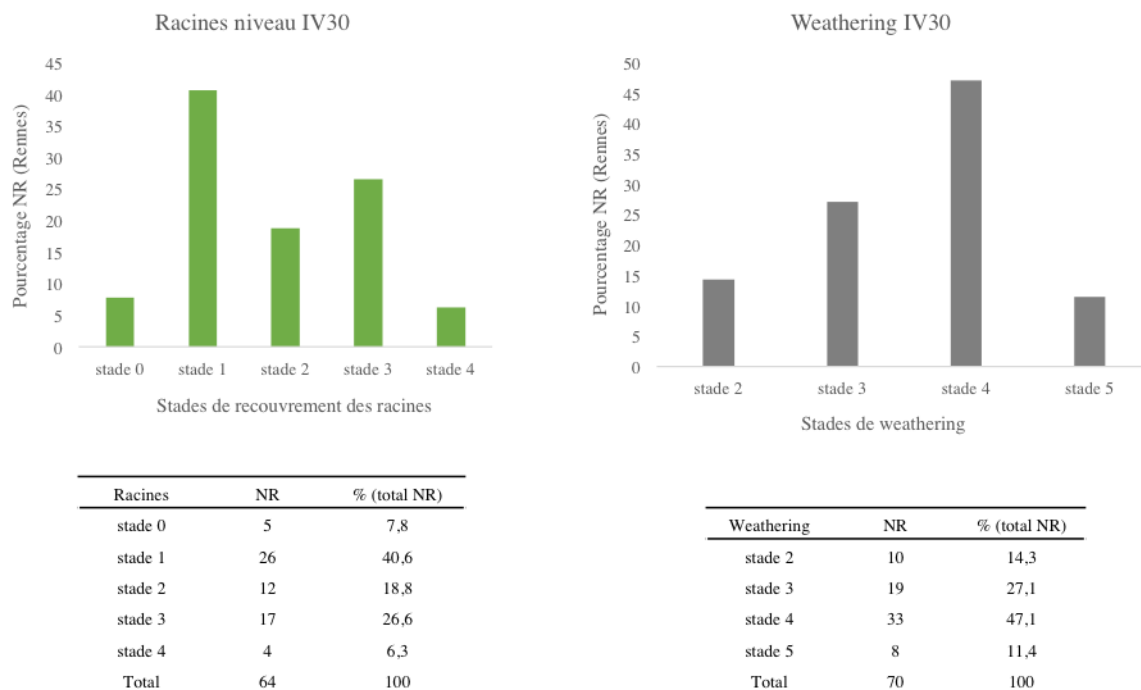


Figure 35 : Stades de weathering et de recouvrement des racines sur les restes fauniques de renne sur le niveau IV30

D'autres observations ont été faites sur les surfaces osseuses : notamment, sur la fracturation apparente des os en vue d'un traitement des carcasses. Il semble, d'après les données enregistrées que les os longs ont été fracturés car ils présentent un grand nombre de fractures en spirale (n= 34), en escalier (n= 66) et d'écrasements (n= 67) sur 74 restes d'os longs déterminées (humérus, fémur, tibia, radius-ulna). Il semble que plus des trois quarts des fragments étudiés portent les stigmates d'une fracture sur os frais. La fracturation intervient sur l'os frais et « se produit très généralement avant l'enfouissement, tandis que la fragmentation concerne essentiellement les os secs (esquillements « en baguettes », etc), parfois enfouis ou en cours de fossilisation » (Bignon et Christensen, 2009). Les nombreux pans de fractures blancs observés sur les os longs (plus de 50% du matériel) témoignent d'un conditionnement assez peu qualitatif car il s'agit d'un phénomène de fragmentation post-fouille, les os les plus fragiles étant disposés dans des sachets eux même déposés en vrac dans de petites caisses. Aucune trace d'activité de carnivore n'a été identifiée sur ces vestiges. Il reste encore à identifier le rôle du feu dans la conservation/destruction de ces vestiges.

Détermination anatomique, détermination taxon

Après avoir évalué l'état de conservation des vestiges, nous avons procédé à une étude des parties anatomiques pour identifier deux espèces présentes sur ce niveau : le renne (*Rangifer tarandus* ; NR = 234 ; tableau 2) et le cheval (*Equus caballus arcelini* ; NR = 8). L'identification d'os non épiphysés (surtout des phalanges au nombre de NR = 32) témoigne de l'exploitation d'ossements de juvéniles sur le site. Peu d'éléments du crâne et du postcrânien sont présents hormis les os des membres antérieurs et postérieurs.

Pour évaluer le nombre minimum de rennes (NMI = 3) et de chevaux (NMI = 1) chassés puis exploités sur l'unité 36-M114, nous avons calculé le nombre de parties anatomiques les plus nombreuses latéralement. D'après le nombre de premières phalanges de rennes, on peut émettre l'hypothèse de la présence d'au moins 3 rennes sur l'unité. Si le NMI est recalculé sur les os longs (NMI = 2) ou os plats (NMI = 3) on retrouve le même nombre d'individus environ. Les seules dents présentes sur le niveau IV30 étudié ici sont celles d'un renne juvénile (série dentaire : dp2, dp3, dp4, M1, M2, bourgeon M3). On retrouve la présence d'individus juvéniles comme évoquée ci-dessus pour le calcul du NMI (phalanges non épiphysées notamment).

L'unité M114, zone dédiée au traitement des carcasses après la chasse ?

Lorsque nous avons entrepris l'étude de la faune du niveau IV30, nous n'avions pas encore fait de recherches préalables sur les hypothèses d'interprétation de l'occupation par les Magdaléniens. Cet exercice nous a permis de proposer de travailler sur nos capacités d'interprétation d'une occupation magdalénienne via l'exploitation du gibier. Dans l'unité 36-M114 nous avons émis l'hypothèse d'une chasse de quelques individus rennes et d'un individu cheval dont les portions de membres semblent avoir été traitées *in situ*. Nous avons pu identifier, via l'étude des surfaces osseuses conservées, quelques stries sur des os longs de renne (taille III). Nous avons pu croiser ces données avec les informations issues de l'étude des restes lithiques. Nos données concordent avec l'hypothèse des chercheurs, proposée dans les premiers rapport de fouille (qui évoquent la découverte du niveau IV30) : L'activité principale est relevée par la présence des nombreux ossements et la forte proportion des longues lames tranchantes parmi l'outillage. L'endroit [ici, l'unité M114] semble plutôt dédié au traitement et à la découpe des carcasses animales. Il pourrait donc correspondre à une aire spécialisée dans le travail de boucherie » (p.54, Ballinger *et al.*, 2014).

D'un point de vue spatial, la répartition des parties anatomiques rappelle un traitement des carcasses en plusieurs temps. On retrouve autour du foyer, un grand nombre de phalanges

(NR = 32) et d'os du genou (NR= <50) auxquels on peut associer la forte présence des os des membres ce qui témoignerait d'une transformation sur place de ces parties anatomiques déjà détachées du tronc et du crâne hors du site ou sur une autre aire de travail non fouillée à ce jour. Ces observations font penser à un démembrement en amont de la chaîne opératoire présente dans cette unité et d'un traitement des membres aux abords du foyer. Le renne est exploité en majorité dans cette unité d'après nos observations, mais il faut rappeler qu'une partie seulement de ce niveau a été mise au jour, d'autres restes de chevaux ou encore des dents pourraient être présents sur la surface non fouillée du niveau et apporter, à l'avenir, de nouvelles informations sur l'occupation du niveau IV30 par les Magdaléniens qui semble avoir été courte.

CONCLUSION

Les découvertes faites sur les niveaux IV0 et IV20 de Pincevent nous laissent penser que les modalités d'occupation ont varié sur tous les niveaux du site. C'est ce que nous avons proposé d'investiguer dans ce chapitre. Notre objectif étant de déceler des variations du comportement humain lié à l'exploitation des ressources animales sur les niveaux IV40 puis IV30, nous pouvons apporter quelques informations à ce sujet :

- L'étude archéozoologique de la faune du **niveau IV40** nous permet de mieux aborder les ressources animales en amont du travail des peaux et de repérer tout indice sur cette activité. D'après les premières observations et études effectuées sur cette unité on peut penser qu'elle a accueilli des activités diversifiées. En effet, l'unité IV40-36-J116 présente des variations par rapport aux autres occupations de Pincevent. La faune y est variée (renne, mammouth, cheval, marmotte), mais on identifie peu de déchets qui pourraient provenir d'une consommation alimentaire. La présence de matières dures animales exploitables (de bois de renne, de fragment d'ivoire de mammouth, de restes dentaires de chevaux, marmotte et mammouth) associée à un outillage important évoque une exploitation technique de ces matières. Les activités techniques peuvent avoir primé sur les activités de consommation habituellement caractéristiques des Magdaléniens de Pincevent.
- L'étude archéozoologique de la faune du **niveau IV40** et plus précisément de l'unité M114, nous permet de confirmer qu'il s'agirait bien d'une aire d'activités liées à la boucherie. L'association de lames tranchantes avec des os d'au moins trois rennes et d'un cheval autour d'un grand foyer en cuvette rappelle bien le traitement de carcasse

par les Magdaléniens. L'analyse taphonomique suivie de l'identification de quelques stries de découpe soulignent aussi cette hypothèse. Le spectre faunique moins riche sur ce niveau, relève peut-être d'un biais archéologique, les fouilles de ce niveau n'ont pas couvert l'ensemble de la zone aujourd'hui praticable car ce niveau n'est pas atteint sur tout le site.

PARTIE IV – GÉOCHIMIE ET TRIBOLOGIE APPLIQUÉES AUX TISSUS DENTAIRES : POUR UNE MEILLEURE COMPRÉHENSION DE L'ÉTHOLOGIE DU RENNE ET DU CHEVAL AU PALÉOLITHIQUE SUPÉRIEUR

Sur les sites du Paléolithique, ce sont les dents qui, étant donné leur composition minérale et organique, sont mieux conservées parmi l'ensemble des restes fauniques préservés. Les dents enregistrent la plupart des échanges biologiques entre l'animal et son environnement lorsqu'il s'alimente, leur étude peut alors offrir un large spectre de données sur ces échanges (alimentation, datation). Pour ce faire, il est nécessaire de comprendre comment la dent se forme, quels sont ses tissus constitutifs et comment elle s'use selon le type de régime alimentaire de l'animal à qui elle appartient. Nous avons dans un premier temps tenter d'identifier les principes physico-chimiques qui marquent les dents dans le temps (*cf.* chapitre 1). Leur identification permet, ensuite dans un second temps, de reconstituer l'éthologie des espèces étudiées et l'environnement dans lequel elles évoluent. Notre étude se base sur l'analyse de marqueurs environnementaux appelés aussi indicateurs paléoclimatiques ou *proxies en* anglais. Et c'est par le biais d'une analyse *multiproxies* que nous avons cherché à appréhender l'éthologie des proies visées par les chasseurs du Paléolithique supérieur du Bassin parisien. Nous avons appliqué deux méthodes d'analyse de tissus dentaires de rennes et de chevaux (protocoles d'analyse en annexe 4) : d'une part, l'analyse de texture des micro-usures dentaires, qui a permis de reconstituer le régime alimentaire de l'animal avant sa mort (*cf.* chapitre 2 et annexe 4) ; d'autre part, l'analyse isotopique séquentielle de l'émail dentaire, qui nous a apporté des indices sur l'environnement fréquenté par les spécimens dans les premières années de leur vie (*cf.* chapitre 3, annexe 4).

CHAPITRE 1 - Les dents : anatomie, composition des tissus et intérêt de leur étude en archéozoologie

Du fait de leur composition chimique à la fois organique et minérale, les dents ont une place particulière dans la conservation différentielle des vestiges fauniques (Auguste, 1994 ; Hillson, 2005). Pour rappel, les dents sont des organes irrigués par des vaisseaux sanguins et rattachés au crâne en étant insérées dans l'os maxillaire et l'os mandibulaire. Une dent est composée de trois parties distinctes : la **couronne** qui est la partie visible de la dent et qui est constituée d'**émail**, de **dentine** et de la **pulpe** ; la **racine** qui est la partie non visible car elle est

insérée dans l'os ; elle est constituée de **cément** (en surface), de **dentine** et du **canal pulpaire** ; le **collet** qui est la ligne caractérisant la zone entre la couronne et la racine. Ces différentes parties anatomiques de la dent ne se conservent pas de la même manière et n'enregistrent pas les mêmes informations dont nous avons l'intérêt ici. Ainsi, mieux les dents sont conservées plus l'analyse des tissus dentaires sera précise et livrera des archives environnementales fiables.

IV.1.1. Analyse macroscopique et détermination spécifique : anatomie des dents et régime alimentaire des rennes et chevaux.

La présence de dents dans un ensemble faunique permet de déterminer précisément l'espèce, son type de régime alimentaire et parfois l'âge et le sexe des spécimens auxquels elles appartiennent (annexe 6). Ces informations peuvent se lire à l'œil nu, c'est-à-dire à l'échelle macroscopique. D'une espèce à l'autre, les différentes parties de l'anatomie dentaire varient en forme, taille, composition chimique (Zhao *et al.* 2000).

Ainsi la plupart des familles de mammifères montrent assez de variations inter-espèces pour nous permettre de déterminer précisément le taxon en fonction de la forme, de la taille et de la composition de la dentition (en termes de formule dentaire – I, C, PM, M). Étant donné que nous étudions les deux espèces qui ont été le plus fréquemment visées par les chasseurs-cueilleurs du Paléolithique supérieur dans le cadre de nos travaux, nous rappelons ici seulement quelques généralités sur les dents de cheval et de renne. Ces deux herbivores appartiennent à l'ordre des ongulés mais présentent des anatomies dentaires distinctes. Leurs dents se composent des mêmes tissus (dentine, émail, pulpe et cément, voir encart 1) ; mais leur formation et leur type d'alimentation diffèrent.

Anatomie des dents de rennes – ordre des Cervidés

Les cervidés, mammifères de l'ordre des Artiodactyles (aussi parfois nommé Cétartiodactyles) sont classés parmi les ruminants. Ils possèdent des dents brachyodontes dont les couronnes sont sélénodontes (en forme de lune). Chez les mammifères brachyodontes, la couronne de la dent est basse et sa croissance est limitée contrairement aux dents hypsodontes (à couronne haute et à croissance prolongée ou continue ; Hillson, 2005, p.138).

Les dents de cervidés présentent des couronnes beaucoup moins hautes et des racines plus proéminentes que les autres ruminants, mais on retrouve toutefois chez le renne (*Rangifer tarandus*) des prémolaires plus longues et plus étroites que chez les autres cervidés et parfois des canines supérieures très réduites.

Anciennement qualifiés de sélénodontes, les ruminants sont des herbivores polygastriques c'est-à-dire que leur estomac est subdivisé en plusieurs compartiments. En effet, le tube digestif des ruminants a la particularité de posséder trois compartiments appelés 'pré-estomacs' ainsi le processus de digestion se fait en plusieurs temps et consiste en la remastication d'aliments ingérés. Comme tout ruminant, le renne actuel est sélectif dans son environnement quand il se nourrit, il est qualifié de folivore (*browser* en anglais) mais on constate une certaine plasticité dans son régime alimentaire car son comportement semble dépendre de l'environnement dans lequel il évolue (Danell *et al.*, 2006 ; Catz *et al.*, 2020). Les études zoologiques sur le *Rangifer tarandus* actuel attestent qu'il se nourrit de lichens (*Cladonia rangiferina* L.) tout au long de l'année (Skogland, 20XX ; Pedersen, 2021). La grande plasticité de son régime alimentaire est attestée par l'analyse de contenus de rumen (Kelsall, 1968 ; Skoog, 1968 ; Kumpula, 2001 - d'après Kuntz, 2011) ; car divers d'autres aliments viennent s'ajouter à son régime au cours des saisons : des mousses, des champignons, des herbes, des joncs (carex et roseaux), des graminées et parfois même des arbustes (feuilles de saule, bouleau, aulne). Enfin, il consomme occasionnellement de petits mammifères et des œufs d'oiseaux (Syroechkovskii, 1995 ; Leader-Williams, 1988 - d'après Kuntz, 2011). Delphine Kuntz, rapporte aussi le fait qu'ils sont « dépendants d'environnements aux contraintes saisonnières fortes mais ont une bonne capacité à trouver une nourriture de bonne qualité et en quantité suffisante tout au long de l'année » (2011, p. 14) d'où la souplesse de leur alimentation. En 2020, l'étude du régime alimentaire de rennes consommés par les magdaléniens du site de Pincevent livre de nouvelles données sur les rennes paléolithiques en soulignant cette plasticité du comportement alimentaire chez le renne au Tardiglaciaire (Catz *et al.*, 2020).

Anatomie des dents de chevaux – ordre des périssodactyles

Les chevaux possèdent des dents hypsodontes, c'est-à-dire que leurs dents vont continuellement pousser et arrivées en bouche. Elles seront régulièrement abrasées au niveau de la surface occlusale. Leurs couronnes sont très hautes et les cuspides sélénodontes. Parmi les périssodactyles, les équidés présentent les plus hautes couronnes et les dents s'usent au fur et à mesure de leur éruption alors que la racine se développe seulement par la suite (Hillson, 2005 p.122). La forme de leurs molaires et de leurs prémolaires explique que les fibres végétales sont écrasées par de puissantes plates-formes qui, du coup par la consommation, s'abrasent au fur et à mesure que la dent croit.

Contrairement aux ruminants système digestif des chevaux est très particulier permettant la digestion complète de fibres de plantes très peu mastiquées. Ce processus de digestion se fait dans un seul compartiment de l'estomac : *hindgut* (intestin postérieur) et la cellulose est ensuite fermentée en sucres dans le côlon et le *caecum* (Macdonald, 1984).

Lorsque nous avons pu déterminer la famille, puis l'espèce auxquelles appartiennent les dents provenant des occupations préhistoriques étudiés nous avons cherché à identifier le rang dentaire. Lorsque la dent est entière (avec ou sans racine) on peut la localiser dans l'appareil masticatoire (inférieures, supérieures, prémolaires, molaires) puis s'intéresser à l'âge de l'individu. En effet, pour répondre à certaines problématiques archéozoologiques il est nécessaire de connaître le rang dentaire voire la classe d'âge des individus à intégrer dans le corpus et ainsi exclure les spécimens qui viendraient biaiser les résultats. Un exemple est les dents de laits : dans le cadre d'analyses isotopiques, lorsqu'on cherche à obtenir un signal environnemental via le calcul des valeurs isotopiques en carbone dans l'organisme de l'animal, on exclut les individus portant des dents de lait pour ne pas obtenir de résultats biaisés. Parce que la présence de ces dents signifie que les individus n'étaient probablement pas sevrés au moment de leur mort et l'apport en lait dans l'organisme ne reflète pas les échanges avec l'environnement mais les échanges avec le lait maternel. Dans ce cas de figure, les témoins dentaires ne sont donc pas exploitables.

IV.1.2 - Étude microscopique des dents - histologie dentaire : analyse des tissus biominéralisés

L'histologie, dont l'étymologie vient du grec ancien ιστός, « tissu » et λόγος, « discours » ; est l'étude de la structure microscopique des tissus biologiques. Ici on s'intéresse aux tissus dentaires et des trésors qu'ils cachent et que nous tentons de dévoiler. En effet, la formation des tissus dentaires (biominéral et hydroxyapatite) est liée à différents facteurs environnementaux, et pendant leur formation, les échanges qui ont lieu entre l'animal et son environnement sont enregistrés dans les tissus qui deviennent alors de véritables archives environnementales.

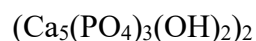
Le développement de l'organe dentaire implique l'interaction de plusieurs tissus, présents chez tous les mammifères. Il s'agit de quatre tissus biominéralisés physiologiques, que sont l'émail, la dentine, le cément et l'os (Hillson 1986 ; Hoppe *et al.* 2004) :

- L'**émail** est le tissu le plus minéralisé de l'organisme. C'est pourquoi c'est le tissu qui se conserve le mieux parmi les vestiges fauniques.
- Au niveau coronaire, sous-jacente à l'émail et entourant la pulpe, on trouve la **dentine**. Elle est formée tout au long de la vie par les odontoblastes
- Le **cément** recouvre la dentine au niveau radiculaire.
- L'**os** constitue le support de toute la structure dentaire. En partie supérieure, les dents sont insérées et se développent dans l'os maxillaire tandis que les dents inférieures sont insérées dans la mandibule.

Le biominéral et l'hydroxyapatite

Les tissus minéralisés ont une importance capitale dans la vie animale en permettant d'assurer entre autres des fonctions dans l'alimentation. La formation de ces tissus se fait par des processus de biominéralisation (Balasse, 2015). Ce type de processus physiologique permet aux organismes vivants d'élaborer une structure minérale appelée biominéral. Chez les vertébrés, un biominéral se distingue de son équivalent purement minéral par la présence de molécules organiques qui lui confèrent des propriétés spécifiques et par sa localisation au sein d'un tissu minéralisé. Pour les organismes vivants, la biominéralisation est définie comme un dépôt de composés chimiques non organiques (Balasse, 2015). Chez les mammifères, on parle aussi de calcification car les composés non organiques contiennent du calcium.

L'hydroxyapatite est le constituant principal des tissus minéralisés tels que l'os et les dents. Il est formé à partir d'ions phosphate et calcium sous la forme :



Bien que les tissus minéralisés soient tous composés d'une phase minérale sous forme de cristaux d'hydroxyapatite et d'une matrice protéique, ils diffèrent du point de vue de la taille des cristaux, de leur forme, de leur orientation ou encore de la densité minérale. Ces tissus ont donc chacun leurs spécificités. L'émail, qui nous intéresse plus particulièrement ici, ne contient pas de collagène alors qu'il y en a en grande quantité dans les os.

Structure, composition et caractéristiques physico-chimiques de l'émail dentaire

Structure

L'émail, formé lors de l'amélogenèse, est le seul tissu minéralisé d'origine épithéliale (cellule épidermique produisant de la kératine). On appelle les améloblastes les cellules prismatiques responsables de la sécrétion de sa matrice organique. L'émail est donc par définition une structure et non un tissu car il ne contient pas de cellules (acellulaire), pas de vaisseaux (avasculaire) et pas d'innervation. À la fin de l'amélogenèse, les améloblastes perdent leur activité sécrétoire, synthétisant une dernière couche d'émail (la couche aprismatique) puis ils disparaissent après éruption de la dent (Bartlett *et al.*, 2006). L'émail recouvre la totalité de la couronne et ne se renouvelle plus après la formation de cette dernière (au cours de la vie). Pour compenser cette limitation, l'émail a acquis une organisation structurale complexe et un haut degré de minéralisation, rendu possible par l'absence presque totale de matrice organique dans son état mature. L'émail prismatique, formé par des cristaux d'hydroxyapatite, groupés sous forme de « *rods* » (prismes) et « *interrods* » (substance interprismatique) d'émail. Les prismes sont organisés en faisceaux (Fincham *et al.* 1999; Hillson 1986). Ils ont un trajet sinueux et obliques dans les deux tiers internes de l'émail. Dans le tiers externe, ils sont rectilignes, parallèles ou perpendiculaires à la surface de la dent. Cette organisation des prismes permet d'optimiser les propriétés mécaniques de l'émail.

Composition

L'émail mature est la structure la plus minéralisée de l'organisme avec 96% de matière minérale ce qui fait de l'émail l'un des matériaux biologiques les plus solide (Fincham *et al.* 1999 ; Scott & Symons 1974 d'après Hillson, 1986). Cette qualité est liée à la microstructure très organisée de l'émail : constituée de très petits cristaux d'hydroxyapatite, 4% de matière organique et d'eau. Comme nous l'avons déjà évoqué, l'émail ne présente pas de charpente collagénique, ce qui le distingue de tous les autres tissus minéralisés (os, dentine, ciment ; Margolis *et al.* 2006). Des ions carbonates (CO_3^{2-}), ou d'autres ions tels que le strontium, le magnésium, le plomb ou le fluor (le Ca^{2+} par Sr^{2+} et le PO_4^{3-} par du CO_3^{2-} ou du F^-), sont capables de s'incorporer dans les cristaux d'apatite, s'ils sont présents pendant leur formation. Ces incorporations d'éléments étrangers affectent la formation et les propriétés physico-chimiques de l'hydroxyapatite (Boskey 2003). Ce sont ces phénomènes de « pollution » chimique de l'émail

qui nous intéressent. Car cela confère à l'émail le statut exceptionnel « d'archive environnementale » ou *proxy*.

IV.1.3. Intérêt de l'étude des tissus dentaires pour l'archéologie

Les dents : archives environnementales

Du fait des incorporations dans les cristaux d'apatite de l'émail, les dents préservées sur les sites archéologiques sont de véritables archives environnementales. Et c'est grâce à la géochimie isotopique, qui applique les principes de la chimie à l'explication de processus géologiques, que de nombreuses découvertes sont faites depuis les années cinquante : parmi ces découvertes on peut citer la datation de vestiges organiques ou encore l'identification des variations environnementales sur les tissus biologiques. Le potentiel d'exploitation de ces méthodes d'étude des tissus dentaire commence à être exploré par les archéozoologues depuis la dernière décennie car les échanges entre l'animal et l'environnement étaient moins bien connus autrefois. Nous avons voulu investir ce domaine afin de tenter de reconstituer des données environnementales et écologiques pour établir des liens entre sociétés humaines préhistoriques, gibier et paléoenvironnement.

Tribologie & tissus dentaires

La tribologie est la science de l'usure et des frottements. Elle permet de mieux comprendre les phénomènes qui se produisent lorsqu'au moins deux surfaces entrent en contact dans le mouvement. Lorsque nous observons un ruminant mastiquer de l'herbe, s'opère un frottement entre les aliments mastiqués et les surfaces dentaires de l'animal. C'est ce phénomène que les paléontologues ont exploré depuis plusieurs décennies pour reconstituer le régime alimentaire des primates, de certains herbivores comme certains omnivores. Différentes méthodes investissent la tribologie pour aborder l'alimentation des espèces dans le temps mais ne se focalise pas sur la même échelle d'observation : macroscopique (visible à l'œil nu) ou microscopique (visible au microscope). C'est à l'échelle microscopique que nous nous sommes intéressées pour apporter de nouvelles informations, en archéozoologie, sur l'éthologie des proies exploités par les humains du Paléolithique supérieur dans le Bassin parisien (Catz, 2015 ; Catz, 2016)

Lors des derniers jours de la vie d'un herbivore, les végétaux mastiqués marquent l'émail dentaire (micro-traces visibles au microscope, 140 microns). Ce sont les propriétés

physiques des plantes et autres aliments ingérés qui sont surtout mesurées à partir des micro-usures dentaires. Plusieurs méthodes ont été développées, au cours des 30 dernières années, sur la caractérisation de ces micro-usures dentaires pour reconstituer le régime alimentaire des primates et autres espèces animales (Walker, 1976 ; Soulounias et Semprebon, 2002). Une nouvelle méthode d'analyse de texture des micro-usures dentaires a été développée depuis une vingtaine d'années, plus économique et plus précise que les précédentes (microscopie confocale et automatisation des calculs évitant les erreurs de la part de l'observateur). Nous avons appliqué, dans nos mémoires de master 1 et master 2, cette analyse à une série de dents de rennes provenant de différents sites du Bassin parisien, afin de tester son efficacité sur un corpus archéologique (voir Catz 2015, Catz, 2016). Nous avons continué d'appliquer cette méthode en thèse sur un corpus plus large en incluant notamment une seconde espèce : le cheval.

Isotopes & tissus dentaires

La plupart des éléments (organiques et minéraux) qui composent les tissus dentaires présentent différentes formes ou isotopes. Ils diffèrent par leur nombre de neutrons dans leur noyau qui est noté devant le symbole de l'élément. Les éléments assimilés par l'organisme selon une série de réactions chimiques et les isotopes d'un élément réagissent selon différents rythmes (Schoeninger, 1995). C'est le principe de fractionnement. L'effet est moins marqué pour les éléments les plus lourds, ainsi le strontium ne montre presque pas de fractionnement et l'hydrogène en montre beaucoup. Les rapports isotopiques sont mesurés à l'aide d'un spectromètre de masse et les valeurs sont exprimés en « δ » et en pour milles (‰).

Les dents sont idéales pour extraire les composantes organiques et inorganiques afin de mesurer ces valeurs isotopiques. Cependant les changements diagenétiques³ des tissus dentaires peuvent changer les valeurs isotopiques pendant la vie de l'animal. Par exemple le carbonate peut être facilement altéré. Il est donc plus sûr d'utiliser les phosphates pour calculer les valeurs du strontium et de l'oxygène ou le collagène pour le carbone. L'émail étant plus minéralisé que la dentine il est souvent moins altéré. De plus, si le collagène des os et de la dentine est une archive pour le carbone, le nitrogène et l'hydrogène il est cependant rarement intacte dans les

³ La diagenétique est un terme utilisé en géologie pour décrire les processus de transformation des sédiments en roches sédimentaires. Elle englobe l'ensemble des réactions chimiques, physiques et biologiques qui ont lieu après le dépôt initial des particules sédimentaires.

vieux tissus. C'est pour cela que nous avons pris le parti d'analyser l'émail et non la dentine ou l'os.

C'est parce que les dents sont formées pendant la période juvénile et parce que les tissus dentaires ne sont pas remodelés plus tard, qu'elles offrent la possibilité de comparer les isotopes pour différentes étapes de la vie de l'individu (Balasse *et al.*, 2001; Price *et al.*, 2001 ; Richards *et al.*, 2002). Nous avons pu analyser deux éléments de l'hydroxyapatite : le carbone et l'oxygène, deux isotopes stables dont le taux de présence rend compte de variations environnementales enregistrés dans l'organisme animal (rapport isotopique noté delta).

Le carbone

Il est présent dans notre univers sous plusieurs formes dont trois d'entre elles se trouvent à l'état naturel : ^{12}C et ^{13}C qui sont des isotopes stables et ^{14}C qui est un isotope radioactif. L'abondance relative des isotopes stables du carbone ^{13}C et ^{12}C – rapport qui se lit « $\delta^{13}\text{C}$ », varie d'un biome à l'autre sur notre planète selon le type de photosynthèse des plantes (DeNiro & Epstein, 1978) ou selon qu'il s'agisse d'un écosystème marin ou terrestre (Schoeninger and DeNiro, 1984). C'est ce rapport que nous avons calculé pour apporter de nouvelles informations sur l'alimentation des rennes et chevaux du Paléolithique supérieur.

L'analyse isotopique du carbone dans les tissus de l'organisme et plus précisément dans l'émail dentaire témoigne de la composition de la nourriture ingérée pendant la vie de l'animal. Chez les herbivores, les valeurs isotopiques stables du carbone apportent des informations sur le type de plante que l'animal a ingéré :

- les plantes C4 sont pour la plupart des plantes tropicales (on peut y ajouter le maïs, sorgho et le millet qui présentent de fortes valeurs en $\delta^{13}\text{C}$).
- les plantes CAM qui sont les plantes succulentes que l'on trouve dans les milieux arides et présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ élevées comme les plantes C4.
- la majorité des autres plantes terrestres sont les plantes de type C3 et présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ basses. On retiendra cependant que l'ingestion de lichen chez les rennes laisse des valeurs très élevées par rapport aux valeurs des plantes C3 normalement observées en milieu terrestre à la fin du Pléistocène en Europe (Drucker, 2000 ; Britton, 2010).
- les plantes aquatiques et planctons se trouvent entre ces les deux extrêmes C3 et C4.

On rappelle que ces valeurs élevées ou basses, sont calculées et interprétées selon la catégorie du réseau trophique⁴ étudié. En effet, les rapports isotopiques sont fractionnés à chaque niveau de la chaîne alimentaire selon qu'il s'agisse de producteurs (plantes), consommateurs (herbivores puis carnivores primaires ou secondaires) ou de décomposeurs (champignons ou bactéries). De plus, d'un tissu à l'autre, le fractionnement isotopique n'est pas le même. Par exemple, les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ dans le collagène reflètent notamment l'apport en protéines dans l'alimentation tandis que les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ dans l'émail reflètent l'alimentation générale.

Les études sur la répartition des ressources et des niches écologiques pour les herbivores se focalisent sur des environnements colonisés par des plantes C3 et/ou C4 (Afrique subtropicale ou Amérique du Nord - Koch *et al.*, 1995 ; Cerling *et al.*, 1999 ; Gadbury *et al.*, 2000 ; MacFadden, 2008). De récentes études démontrent l'efficacité d'une analyse isotopique du carbone pour mieux comprendre la répartition des ressources entre herbivores à la fin du Pléistocène dans des environnements où les plantes sont de type C3 (Britton *et al.*, 2012 ; Schwartz-Narbonne *et al.*, 2019). De telles variations des valeurs en carbone dans l'écosystème étudié reflètent les choix alimentaires des herbivores qui y vivent (Bocherens, 2003 ; Drucker, 2022). On évoquera ici, par exemple, la présence de lichen dans le régime alimentaire du renne. Ce type de plante montre des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ positives par rapport aux valeurs observées dans le régime alimentaire basé sur des plantes d'ongulés du Nord (Park and Epstein, 1960 ; Maguas and Brugnoli, 1996 ; Ben-David *et al.*, 2001). Il a été démontré que le taux de ^{13}C dans le sang et la dentine des rennes modernes augmente (Ben-David *et al.*, 2001 ; Drucker *et al.*, 2001), ce phénomène se reflète aussi dans les valeurs $\delta^{13}\text{C}$ du collagène de l'os des rennes de la fin du Pléistocène (Fizet *et al.*, 1995 ; Drucker, 2000)

L'Oxygène

De par sa masse, l'oxygène, noté « O », est l'élément le plus abondant sur Terre étant présent dans l'hydrosphère, la biosphère et la lithosphère (Cook and Lauer, 1968). Sous sa forme naturelle l'oxygène possède trois isotopes stables (abondance en %) : ^{16}O (99,755%), ^{18}O (0,206%) et ^{17}O (0,039% - Rundel *et al.*, 1989 ; Schoeller, 1999).

⁴ Un réseau trophique regroupe un ensemble de chaînes alimentaires reliées entre elles au sein d'un écosystème et par lesquelles l'énergie et la biomasse circulent (échanges d'éléments tels que le flux de carbone et d'azote entre les différents niveaux de la chaîne alimentaire, échange de carbone entre végétaux autotrophes et les organismes hétérotrophes) (source Wikipédia).

L'oxygène est un indicateur paléoclimatique lorsqu'on calcule le rapport entre ^{16}O et ^{18}O , noté « $\delta^{18}\text{O}$ ». Ce *proxy* est très utilisé pour connaître la température dans une région à une époque donnée. Plus le rapport est élevé plus la température correspondante est basse et vice-versa. À ce jour de nombreuses sources sont exploitées pour livrer des courbes climatiques à différentes échelles géographiques : parmi ces sources on retiendra les carottes glaciaires (courbes NGRIP des températures par exemple) qui livrent un signal planétaire, les fossiles marins/lacustres (foraminifères) ou encore les sédiments terrestres qui livrent des signaux régionaux ou locaux.

En archéologie, on calcule aussi ce rapport isotopique pour rendre compte des variations climatiques enregistrées par l'organisme animal à l'échelle locale ou régionale : précipitations, humidité, température et saisonnalité. Les valeurs isotopiques de l'oxygène dans les os et les dents des animaux qui consomment de l'eau s'abreuvant directement à une source en eau peuvent montrer des variations de températures (*obligate drinking* en anglais). Pour les autres herbivores dont l'apport en eau est indirect car ils se nourrissent de feuilles ou autres végétaux, les rapports isotopiques peuvent rendre compte de l'humidité seulement.

CONCLUSION

Les dents, en raison de leur composition chimique à la fois organique et minérale, présentent une excellente capacité de conservation dans les assemblages archéologiques. Elles se distinguent par leur structure complexe, comprenant la couronne (visible), la racine (ancrée dans l'os) et le collet (zone de jonction). Chaque partie possède des propriétés de conservation et d'enregistrement d'informations différentes, ce qui fait des dents des témoins privilégiés pour l'étude des espèces animales du passé.

L'analyse macroscopique des dents permet d'identifier précisément les espèces, d'estimer l'âge et parfois le sexe des individus, grâce à des critères anatomiques et morphologiques spécifiques. Les différences entre les dents de rennes et celles de chevaux traduisent des adaptations alimentaires distinctes. Le renne, doté d'un régime alimentaire très plastique, s'adapte aux variations saisonnières et consomme une grande diversité de végétaux, tandis que le cheval, grâce à ses dents hypsodontes, est capable d'exploiter des ressources végétales riches en fibres.

À l'échelle microscopique, l'histologie dentaire révèle la complexité des tissus minéralisés, dont l'émail, la dentine et le ciment, qui jouent chacun un rôle dans la protection et la fonctionnalité de la dent. L'émail, particulièrement résistant à la dégradation, se révèle être un

support idéal pour l'analyse des signatures chimiques et isotopiques anciennes. Sa structure prismatique et sa forte minéralisation permettent la préservation d'informations environnementales et alimentaires sur le long terme.

L'intérêt archéologique de l'étude des dents réside dans leur capacité à enregistrer des signatures environnementales, notamment via l'incorporation d'éléments chimiques et de rapports isotopiques lors de leur formation. La tribologie, ou étude des micro-usures dentaires, permet de reconstituer le régime alimentaire des animaux en identifiant les marques laissées par les végétaux mastiqués. Ces micro-traces, observées à l'aide de techniques de microscopie avancée, offrent des informations précieuses sur la nature des aliments consommés peu de temps avant la mort de l'animal.

En complément, l'analyse isotopique du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) dans l'émail dentaire permet de retracer à la fois le type de ressources végétales consommées (plantes C3, C4, CAM, lichens) et les conditions climatiques locales (température, humidité, saisonnalité) ayant prévalu durant la vie de l'animal. Ces méthodes offrent ainsi la possibilité de reconstituer les interactions entre faune, environnement et sociétés humaines sur des périodes anciennes, en apportant des données à la fois écologiques et paléoclimatiques.

L'étude croisée des caractéristiques anatomiques, histologiques, tribologiques et isotopiques des dents permet d'aborder de façon fine les comportements alimentaires des rennes et chevaux du Paléolithique supérieur, tout en replaçant ces données dans leur contexte environnemental et climatique.

Après avoir exposé les fondements théoriques et méthodologiques de l'analyse dentaire, ainsi que l'intérêt de ces approches pour l'archéozoologie et la paléoécologie, nous allons à présent examiner les résultats obtenus sur les échantillons issus des sites étudiés. Cette étape permettra de mettre en lumière les apports concrets des analyses microscopiques et isotopiques, en révélant les choix alimentaires des animaux, leurs adaptations aux conditions environnementales, ainsi que les dynamiques écologiques ayant influencé les sociétés humaines du Paléolithique supérieur.

CHAPITRE 2 – Géochimie - Analyses isotopiques séquentielles du carbone et de l'oxygène

Dans la mesure où nous nous intéressons à des espèces animales chassées par le passé, nos questionnements archéologiques doivent se baser sur des données éthologiques actuelles. En effet, maîtriser des données actuelles sur des populations de rennes et chevaux est nécessaire, même si les espèces actuelles ne sont plus totalement sauvages. Les contextes écologique, géographique voire temporel influent sur l'éthologie des populations actuelles.

Nous avons ainsi dû créer notre propre référentiel isotopique sur le renne pour compléter les quelques données dans la littérature scientifique. Nous aimerions, idéalement, en créer à l'avenir, un autre centré sur le cheval mais la littérature sur les analyses isotopiques chez le cheval est plus riche et nous avons choisi d'exploiter cette source dans un premier temps

IV.2.1. Présentation des corpus d'étude

Pour conduire les analyses isotopiques séquentielles sur l'émail dentaire, nous avons suivi le protocole d'échantillonnage développé par M. Balasse et il est détaillé en annexe (Balasse, 2005b ; annexe 4). Nous rappelons ici les critères de sélections qui nous ont permis d'identifier des spécimens exploitables pour l'analyse isotopique parmi les restes de rennes et chevaux provenant des sites de notre corpus archéologique et référentiels actuels.

Entre 2018 et 2021, nous avons échantillonné et analysé, dans les musées et lieux de conservations, les dents archéologiques et avec l'autorisation de ces institutions nous avons fait des prélèvements de poudre d'émail dentaire sur ces vestiges archéologiques lorsque cela a été possible. Malheureusement les sites archéologiques de notre corpus (Partie II et III) ont parfois livré des dents dont l'émail dentaire n'est pas toujours bien conservé voire absent.

Afin de poursuivre des analyses isotopiques séquentielles sur toute la surface vestibulaire ou linguale de la dent, nous avons suivi une sélection selon trois critères de conservation qui sont les suivants :

- la couche d'émail doit être intacte ;
- la couche d'émail doit présenter une épaisseur exploitable ;
- les dents doivent présenter une hauteur de couronne assez haute pour un prélèvement séquentiel. Les dents d'individus âgés, étant trop abrasées, sont immédiatement exclues de la sélection.

Si les dents présentent ces critères, elles ont alors été jugées exploitables pour appliquer des analyses isotopiques séquentielles. C'est donc seulement dans ce cas, que nous y avons prélevé des échantillons d'émail (annexe 4).

Pour la suite du protocole, nous avons procédé au nettoyage des surfaces d'émail, puis prélevé les échantillons de poudre sur toute la longueur de la dent - du sommet de la couronne jusqu'à la racine. Pour les dents de chevaux, nous avons extrait entre seize et trente échantillons. Pour les dents de rennes, entre sept et douze échantillons par dent. Nous avons ensuite prétraité chaque échantillon en éliminant les carbonates diagenétiques par traitement à l'acide acétique (CH₃COOH). Après quatre rinçages à l'eau distillée et lyophilisation des échantillons, nous les avons confiés à Denis Fiorillo (IR, MNHN) pour l'analyse au spectromètre de masse (annexe 4). Les étapes suivantes concernent l'analyse des données et nous les présentons après avoir détaillé les corpus archéologiques et actuels exploités pour notre étude.

IV.2.1.1. Corpus de référence

Pour le référentiel sur les populations de rennes actuelles, nous avons pu exploiter des collections de mandibules constituées avec Olivier Bignon-Lau dans le cadre de différents programmes de recherche sur l'éthologie du renne (ANR, LabEx Dynamite, PCR Bassin parisien). L'objectif de ce référentiel est d'apporter des réponses aux questions que nous poserons tout au long de ce travail :

- les comportements alimentaires de différents écotypes de rennes avec les taux isotopiques du carbone ;
- les biotopes fréquentés et la mobilité des proies (déplacements saisonniers : précipitations, neige, humidité) avec les taux isotopiques de l'oxygène.

Dans le but de pouvoir maîtriser ces données sur les individus actuels dont on connaît les caractéristiques écologiques, nous avons pu échantillonner et analyser les dents de quinze rennes actuels. L'échantillonnage de ces spécimens s'est fait entre 2018 et 2020. Les populations de rennes exploitées ici proviennent de Norvège et représentent différents biotopes/niches écologiques (tableau 15). Nous avons sélectionné :

- Des rennes (*Rangifer t. tarandus*) provenant de deux plateaux continentaux de toundra alpine. Il s'agit des populations d'Hardangervidda et de Knutshø.

- Des rennes (*Rangifer t. tarandus*) provenant d'une autre population continentale, il s'agit de rennes de forêt de la population de Forollhogna (tués en 2017).
- Des rennes (*Rangifer t. platyrhynchus*) du Svalbard, qui proviennent de trois vallées (Colesdalen, Grødalen, Sassendalen). Ces populations de rennes étant insulaires elles présentent des caractéristiques anatomiques différentes, nous les évoquons en annexe (annexe 6).

Tableau 15 : liste des Individus rennes dont les dents ont été analysées pour la constitution du référentiel en géochimie.

Provenance	Région	Année	Espèce	N° individu	Dent	Sup/inf	Droite/Gauche
Norvège	Hardangervidda	nd	Rangifer	244124	M2 & M3	inf	nd
Norvège	Hardangervidda	nd	Rangifer	249605	M2 & M3	inf	nd
Norvège	Knutsho	nd	Rangifer	246058	M2 & M3	inf	nd
Norvège	Knutsho	nd	Rangifer	248459	M2 & M3	inf	nd
Svalbard	Sassendalen	2015	Rangifer	307	M2 & M3	inf	G
Svalbard	Sassendalen	2015	Rangifer	132	M2 & M3	inf	G
Svalbard	Sassendalen	2015	Rangifer	250	M2 & M3	inf	G
Svalbard	Sassendalen	2016	Rangifer	354	M2 & M3	inf	G
Svalbard	Grøndalen	2015	Rangifer	235	M2 & M3	inf	G
Svalbard	Grøndalen	2016	Rangifer	62	M2 & M3	inf	G
Svalbard	Colesdalen	2015	Rangifer	159	M2 & M3	inf	G
Svalbard	Colesdalen	2015	Rangifer	127	M2 & M3	inf	G
Norvège	Forollhogna	2017	Rangifer	18987	M2 & M3	inf	G
Norvège	Forollhogna	2017	Rangifer	18806	M2 & M3	inf	G
Norvège	Forollhogna	2017	Rangifer	18909	M2 & M3	inf	G

Nous avons sélectionné des individus provenant de deux sous-espèces et d'écotypes différents, vu que nous cherchons à représenter, dans notre corpus, une diversité de comportement chez les rennes. Les individus n'ont pas été chassés ni abattus aux mêmes saisons, ce qui peut présenter une source de variabilité de nos données. Cependant, la période de minéralisation des dents est corrélée au cycle annuel des naissances chez le renne. Il semblerait que ces cycles sont similaires chez les différents écotypes observés ici. Cette diversité de variables nous permettra, nous espérons, de mieux comprendre les variations de comportements alimentaires et migratoire des rennes au Paléolithique supérieur en les comparant aux rennes actuels (tableau 1).

À ce jour nous n'avons pas encore pu créer de référentiel actuel sur le cheval, en effet, nous n'avons pas eu accès à une collection de chevaux actuels exploitable pour développer nos

recherches. Cependant, le cheval ayant déjà été étudié par les chercheurs qui s'intéressent aux problématiques sur l'isotopie séquentielle, certains référentiels sont à disposition des lecteurs dans la littérature scientifique (Britton *et al.*, 2019 ; Pederzani & Britton, 2019).

IV.2.1.2. Corpus archéologiques (Solutréen, Badegoulien et Magdalénien)

Nous présentons les corpus archéologiques par ordre chronologique de la période la plus ancienne à la plus récente.

Corpus solutréen (grotte Rochefort et abri Fritsch)

Concernant le corpus solutréen, nous avons présélectionné les dents de rennes et de chevaux lors d'une mission à l'Inrap de Rouen en 2017. Nous avons emprunté les spécimens à analyser avec l'accord de Céline Bémilli (archéozoologue en charge de l'analyse des vestiges fauniques de la grotte Rochefort). Nous avons ensuite procédé à l'échantillonnage et au prétraitement de trois dents isolées de rennes et de cinq dents de chevaux en juin 2017 (tableau 16 et 17). On notera bien, ici, que les dents de rennes sont isolées car les vestiges fauniques n'ont livré que des dents isolées pour ce taxon. D'après C. Bémilli, cet isolement des dents hors de la mandibule peut être le résultat d'un concassage systématique des mandibules et du crâne par les solutréens à la grotte Rochefort (Bémilli, 2018).

Tableau 16 : corpus archéologique des spécimens rennes échantillonnés et analysés en géochimie.

Site	Espèce	Niveau/couche	N° individu	Dent	Sup/inf	Latéralisation
Rochefort	Rangifer	-	R - 2821	M1/2	Inf	G
	Rangifer	-	R - 5443	M3	Inf	G
	Rangifer	-	R - 2477	M3	Inf	G
	Rangifer	C5b	LR-R2-c5b	M2 + M3	Inf	D
	Rangifer	C5a	LR-c5a-5N3-14	M2 + M3	Inf	G
Abri Fritsch	Rangifer	C5a	LR-c5a-4N1-21?	M2 + M3	Inf	G
	Rangifer	C5b	LR73-c5b-1S1-10	M2 + M3	Inf	G
	Rangifer	C9	LR-C9-4N1-3	M2 + M3	Inf	D
	Rangifer	C9	LR-Rt-C9-7	M2 + M3	Inf	G
	Rangifer	IV0	G110-73	M2 + M3	Inf	G
Pincevent	Rangifer	IV0	G110-151	M2 + M3	Inf	G
	Rangifer	IV0	E108-23	M2 + M3	Inf	D
	Rangifer	IV0	G109-80	M2 + M3	Inf	D
	Rangifer	IV20	S112-123	M2 + M3	Inf	Nd
	Rangifer	IV20	S107-104	M2 + M3	Inf	Nd
	Rangifer	IV20	S108-627	M2 + M3	Inf	Nd
	Rangifer	IV20	090-4	M2 + M3	Inf	Nd

D'autres spécimens solutréens ont été échantillonnés pour notre étude. Ils proviennent de l'abri Fritsch et représentent seulement deux spécimens rennes (empruntés au musée Argentomagus en 2020). Les vestiges fauniques des couches solutréennes ont été étudiés par G. Bayle dans les années 2000 et se trouvaient rangés et conditionnés dans des sachets individuels ce qui nous a facilité la tâche lors de la recherche des vestiges dans la collection du musée. Les deux spécimens proviennent de la couche 9 et nous avons procédé à leur l'échantillonnage et au prétraitement en juillet 2020 (tableau 16).

Tableau 17 : corpus archéologique des spécimens chevaux échantillonnés et analysés en géochimie.

Site	Espèce	Couche	N° individu	(N° échantillon)	Dent	Sup/inf	Latéralisation
Rochefort	Equus	-	R - 6292		M1/2		G
	Equus	-	R - 7734		M3		D
	Equus	-	R - 6822		M1/2		D
	Equus	-	R - 2367		M1/2		D
	Equus	-	R-5378		P3/4		?
	Equus	C4	LR74-5S1-1	(LR1)	P3/4	Sup	D
Abri	Equus	C4	LR-2N1-6 + LR-1N1-48	(LR2)	M1/2	Inf	G
	Equus	C4	LR-1N1-140	(LR6)	M1/2	Sup	G
Fritsch	Equus	C5a	LR-7N2-2	(LR3)	P3	Sup	G
	Equus	C5a	LR-1N2-31	(LR4)	P3/4	Inf	D
	Equus	C6	LR-1N2-18	(LR5)	P3/4	Inf	G
	Equus	C6	LR75-1N2-77	(LR7)	P4	Sup	D
Pincevent	Equus	P-IV0	M101-13		M2 + 3	Sup	D
	Equus	P-IV0	M101-12		M2 + 3	Sup	D
	Equus	P-IV0	Z125-533		M2 + 3	Sup	D
	Equus	P-IV0	Z124-41		M2	Sup	D
	Equus	P-IV20	W106-2		P3/4	Inf	G
	Equus	P-IV20	L116-23		nd	Inf	Nd

Corpus badegoulien (abri Fritsch)

Pour le corpus badegoulien, nous avons présélectionné les dents de rennes et de chevaux au musée Argentomagus sur deux sessions d'emprunt entre septembre 2019 et septembre 2020. Les vestiges archéologiques étant rangés dans des caisses en vrac à l'époque, il a fallu une étude archéozoologique au préalable pour prélever les dents provenant des niveaux badegouliens du site. Les spécimens échantillonnés proviennent de différentes couches. En 2019, nous avons tout d'abord échantillonné et prétraité les dents de chevaux provenant des couches 4, 5a, 6 (tableau 17). Le contexte de pandémie en France nous a ensuite retardé dans le processus d'acquisition des données sur le renne. Cependant, nous avons pu reprendre efficacement nos

analyses dès juillet 2020 en échantillonnant quatre individus rennes provenant des couches 5a, 5b et 5c (tableau 16).

On note ici que toutes les couches badegouliennes dont nous avons fait l'analyse archéozoologique (partie II) ne sont pas représentées. En effet, les critères de sélection des spécimens à échantillonner étant très stricts, nous avons dû écarter certains vestiges détériorés de cette analyse. Cependant, toutes les dents analysées ont livré un signal isotopique exploitable et on peut envisager, à l'avenir, de procéder à de nouvelles analyses isotopiques sur des vestiges dentaires moins bien conservés pour compléter le spectre faunique d'une couche à l'autre.

Corpus Magdalénien (Pincevent)

Dans le corpus magdalénien, les individus rennes et chevaux ont été présélectionnés sur le site de Pincevent même lieux de conservation de ces vestiges. Les spécimens échantillonnés proviennent des deux niveaux les plus étudiés et les plus fouillés à Pincevent. Entre août 2017 et juin 2018, nous avons échantillonné et prétraité l'email dentaire de quatre individus rennes et quatre individus chevaux provenant du niveau IV0 (tableau 16 et 17). Puis en août 2019, nous avons pu échantillonner et prétraiter les spécimens du niveau IV20 : quatre individus rennes et deux individus chevaux (tableau 17).

Le but d'un échantillonnage sur deux niveaux du site est de pouvoir comparer les résultats des couches entre elles et repérer toute variation des comportements intra-population ou inter-population sur un cycle annuel.

IV.2.2. Résultats et analyse des données isotopiques séquentielles chez les rennes et le cheval.

Dans ce sous-chapitre, nous décrivons et analysons les données issues de l'analyse isotopique séquentielle de la bioapatite des chevaux et des rennes de notre corpus. On cherche à mieux comprendre le comportement des proies préférentiellement chassées par les habitants du Bassin parisien entre le DMG et le Tardiglaciaire, afin d'apporter des informations inédites sur les environnements fréquentés par les chasseurs et par leurs proies de la fin du Paléolithique :

- Pour les rennes, nous avons repéré des variations du comportement alimentaire chez différents écotypes modernes d'une part, pour pouvoir identifier, d'autre part les variables qui sont à l'origine de variations du comportement chez les rennes chassés à la fin du Pléistocène.

- Pour les chevaux, nous avons, d'une part, vérifié la qualité des données couplées de l'oxygène et du carbone pour en apprendre davantage sur le régime alimentaire des chevaux chassés du Solutréen au Magdalénien ; et d'autre part, après avoir vérifié la qualité des données isotopiques, nous avons proposé une reconstitution des paléotempératures à l'aide des données sur l'oxygène pour quelques spécimens chassés à la fin du Pléistocène. Ce type de reconstitution n'est possible qu'avec un seul des deux taxons étudiés, car les chevaux sont dépendants des sources en eau dans leur environnement ce qui n'est pas le cas chez le renne.

IV.2.2.1. Calculs et description des données isotopiques chez les rennes

Signaux isotopiques séquentiels chez les rennes modernes.

Les populations que nous avons échantillonnées proviennent de différents écotypes (forêt, toundra alpine, archipel...) et la connaissance de certaines variables environnementales et écologiques qui impactent sur le régime alimentaire de ces individus nous permettra d'interpréter certains résultats d'analyse au fur et à mesure de la présentation des données (tableau 18).

Tableau 18 : Valeurs isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates issus de l'analyse séquentielle des dents de rennes modernes

Echantillons	N	$\delta^{13}\text{CVPDB_COR}$ (‰)				$\delta^{18}\text{OPDB_COR}$ (‰)			
		Moyenne	Min	Max	Amplitude	Moyenne	Min	Max	Amplitude
Sassen2015_307	18	-14,176	-14,770	-13,760	1,01	-10,342	-11,180	-8,790	2,39
Sassen2015_132	19	-14,049	-14,400	-13,370	1,03	-9,672	-10,740	-8,280	2,46
Sassen2015_250	19	-14,179	-14,600	-13,640	0,96	-10,516	-11,090	-8,900	2,19
Sassen2016_354	19	-15,197	-14,960	-13,960	1,00	-10,726	-11,490	-9,020	2,47
Gron2015_235	21	-14,283	-14,650	-13,680	0,97	-9,858	-11,180	-8,070	3,11
Gron2016_62	21	-13,865	-14,420	-13,310	1,11	-9,487	-10,800	-7,130	3,67
Coles2015_159	22	-14,786	-15,010	-14,590	0,42	-11,377	-12,580	-9,380	3,20
Coles2015_127	19	-14,593	-14,950	-14,230	0,72	-10,274	-10,720	-9,030	1,69
Foro2017_18987	18	-11,231	-12,000	-10,780	1,22	-11,203	-12,560	-9,600	2,96
Foro2017_18806	18	-10,435	-11,270	-9,960	1,31	-10,687	-12,100	-9,200	2,90
Foro2017_18909	18	-10,595	-11,140	-10,160	0,98	-10,969	-11,980	-9,860	2,12
H244124	16	-10,576	-11,410	-9,930	1,48	-10,678	-12,200	-9,550	2,65
H249605	14	-9,769	-10,650	-9,320	1,33	-10,657	-11,370	-10,040	1,33
K246058	18	-10,064	-10,610	-9,700	0,91	-11,735	-12,450	-10,810	1,64
K248459	18	-9,623	-10,480	-9,100	1,38	-12,234	-13,200	-11,000	2,20

Les rennes continentaux

Nous avons analysé quatre spécimens de toundra alpine provenant des plateaux de Knutshø (entre 800 et 1500 mètres d'altitude) et d'Hardangervidda (entre 1 000 et 1500 mètres d'altitude ; Skogland, 1989).

Knutshø

L'individu K-248459 présente des valeurs du carbone qui varient entre -9,1 et -10,4 ‰ (1,3 d'amplitude des valeurs M2 et M3 comprises) et l'individu K-246058 présente des valeurs qui varient entre -9,7 et -10,6 ‰ (0,9 d'amplitude ; tableau 18). Le signal du $\delta^{13}\text{C}$ représente le type de photosynthèse des plantes ingérées par l'animal (C3, C4 ou CAM ; Balasse, 2015). Celles-ci ressemblent à un signal de plantes C4 caractéristique de l'alimentation basée sur l'ingestion

de lichen, comme expliqué par les analyses isotopiques du $\delta^{13}\text{C}$ du collagène élevé chez le renne (Drucker, 2001 ; Britton, 2010).

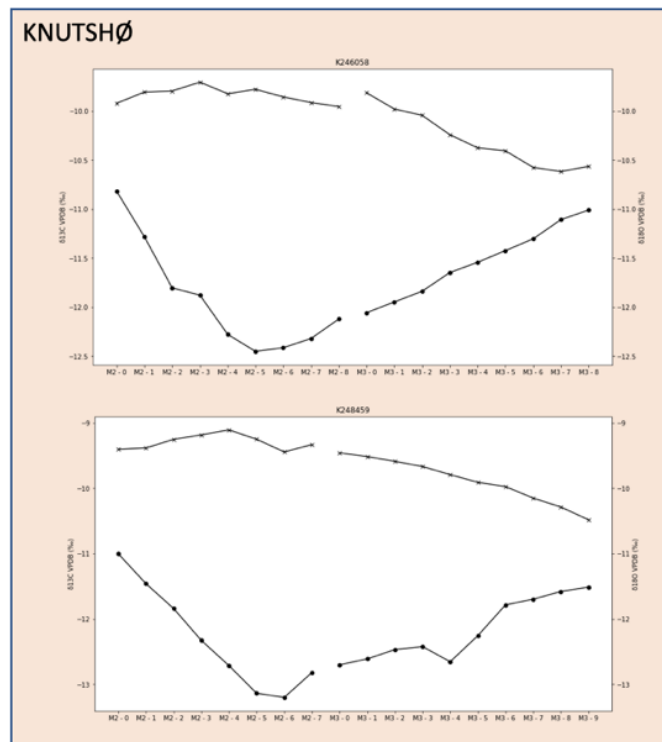


Figure 36 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez deux spécimens de Knutshø

Sur les courbes de représentation du taux de carbone, on observe que les deux individus présentent peu de variations du $\delta^{13}\text{C}$ sur la M2 ($> -10\%$) tandis que la courbe décroît sur la M3 ($< -10\%$; figure 36). Ces tendances indiqueraient un changement dans l'alimentation des deux spécimens, entre le début et la fin de la période de minéralisation de la M3 (de 5-6 mois).

Or, chez le renne de toundra, on sait que : la M2 pousse entre dix et quinze mois et la M3 se minéralise entre quinze et vingt-neuf mois environ (Banfield, 1954 ; Miller, 1972), et que les cycles de naissances commencent à la fin du printemps vers avril (Skogland, 1989).

Nous pouvons donc en déduire des variations du comportement alimentaire chez les deux spécimens :

- une alimentation relativement stable sur la période de minéralisation de la M2 qui correspondrait d'après le cycle biologique de l'animal, à la période froide (hiver-début printemps) ;

- et une alimentation plus diversifiée par la suite lors d'une période plus chaude (de la fin du printemps à l'automne).

L'amplitude des taux isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ varie entre 2,20‰ pour l'individu K248459 (-10,48‰ min et -9,7‰ max) et 1,64‰ pour l'individu K246058 (-12,4‰ min et -10,8‰ max ; tableau 18). De plus, sur les courbes d'oxygène, on observe des tendances inversées par rapport aux courbes du carbone (figure 36). En effet, chez les deux individus on observe des valeurs décroissantes sur la M2 et croissantes sur la fin de la M2 et sur la M3. Ces variations pourraient correspondre à des variations saisonnières du taux de $\delta^{18}\text{O}$ contenu dans les plantes ingérées par les rennes.

Si l'on prend en compte toutes ces observations, on en déduit qu'il existe une corrélation entre le taux de $\delta^{13}\text{C}$ et le taux de $\delta^{18}\text{O}$ pendant la minéralisation des dents chez le renne. Les changements enregistrés dans les deux séquences observées peuvent rendre compte soit des variations saisonnières du taux de carbone et d'oxygène dans les plantes ou à la consommation, chez les rennes de Knutshø, de différents types de végétaux en fonction des saisons (Britton, 2011).

Hardangervidda

Les spécimens provenant du plateau d'Hardangervidda présentent des valeurs isotopiques du carbone relativement similaires en termes d'amplitude du signal intra- dentaire entre -11,41‰ et -9,93‰ pour H-244124 (1,48‰ d'amplitude) et entre -10,65‰ et 9,32‰ (1,33‰ d'amplitude) pour H-249605 (tableau 18). Les deux dents chez H-249605 dessinent des courbes du carbone similaires à celle observées chez les rennes de Knutshø, avec des valeurs isotopiques stables sur la M2 et des valeurs décroissantes sur la M3 (figure 37). Chez H-244224, la M2 présente deux premières valeurs qui semblent être relativement basses par rapport aux tendances observées ci-dessus. Il pourrait s'agir d'une erreur d'échantillonnage (présence de dentine dans l'échantillon par exemple). En effet, il s'agit des premiers individus échantillonnés lors de l'apprentissage de la méthode. On ne prendra pas en compte ces valeurs pour ne pas prendre de risque lors de l'interprétation de nos données.

Comme on l'a rappelé ci-dessus, le taux de carbone chez les herbivores reflète l'alimentation lors des périodes de minéralisation des dents. Si le lichen enrichi l'alimentation du renne en

carbone (Drucker, 2001 ; Britton 2010), on interprète donc les hautes valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ comme représentatives d'une consommation de lichen chez les rennes d'Hardangervidda. Il semblerait, comme à Knutshø que l'alimentation change lors de la phase de minéralisation de la M3. Or, d'après l'analyse de contenus stomacaux de rennes provenant du plateau d'Hardangervidda, on note une variation saisonnière nette entre l'alimentation d'hiver et celle d'été (Skogland, 1984).

En effet, pendant la période où les aires de pâturage sont couvertes de neige, le lichen reste accessible et abondant sur le plateau, d'après le taux de lichen observé dans les rumens (62% ; Skogland, 1984). Les contenus se diversifient ensuite en été (juillet) : herbacées monocotylédones (45%), lichen (16%), arbustes (*Salix*, 11%), champignons et mousses pour compléter. Ces analyses permettent d'interpréter nos données isotopiques plus précisément. On observe bien une variation du régime alimentaire entre la période de minéralisation de la M2 et de la M3. Sur la M3, la bioapatite est moins enrichie en $\delta^{13}\text{C}$ ce qui semble correspondre à une alimentation plus diversifiée et moins riche en lichen : il s'agirait d'une période plus chaude pendant laquelle, l'environnement offre plus de choix pour les prises alimentaire chez le renne.

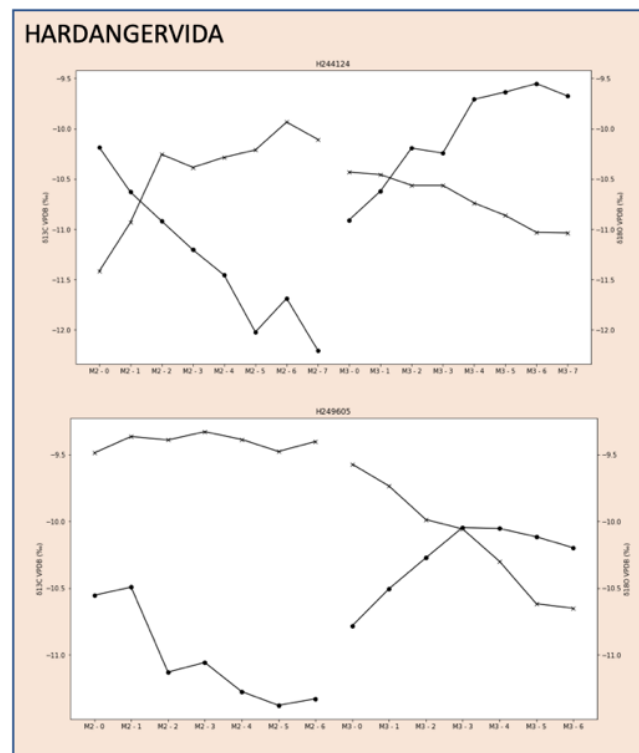


Figure 37 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens d'Hardangervidda

On observe ici aussi des tendances inverses sur les courbes d'oxygène des deux individus. L'amplitude des taux isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ varient entre 2,6‰ pour l'individu H-244124 (-12,2‰ min et -9,5‰ max) et 1,3‰ pour l'individu H-249605 (-11,3‰ min et -10‰ max, tableau 18). Ces variations peuvent correspondre à des variations saisonnières : avec une période plus chaude au début de la minéralisation de la M2 et en fin de minéralisation de la M3 ; et une période plus froide sur la deuxième moitié de la M2 et la première moitié de la M3. Grâce aux analyses de contenus stomacaux chez les spécimens de cette population, notre hypothèse se confirme ici. En effet, lorsque le taux de carbone décroît, cela correspondrait à une diversification du régime alimentaire pendant la période « chaude » lors de la minéralisation de la M3 : cela correspond à un enrichissement en $\delta^{18}\text{O}$ dans l'alimentation des spécimens observés.

Les rennes de toundra alpine provenant des plateaux continentaux d'Hardangervidda et de Knutshø présentent donc des variations des profils isotopiques séquentiels du carbone et de l'oxygène à l'échelle individuelle. On retrouve des tendances similaires en termes d'alimentation chez les quatre rennes de plateau de toundra alpine. Vérifie-t-on ces mêmes tendances chez des rennes continentaux de forêt ?

Forrollhogna

Nous avons analysé trois spécimens provenant d'une autre population continentale qui se caractérise par la fréquentation d'un biotope différent : la forêt. Il s'agit des rennes de Forrollhogna (tués en 2017 ; entre 700 et 1300 mètres d'altitude, comparable à l'altitude de Knutshø).

Les spécimens présentent des valeurs isotopiques du carbone relativement similaires en termes d'amplitude du signal intra-dentaire entre -12‰ et -10,7‰ pour F-18987 (1,2‰ d'amplitude), entre -11,2‰ et 9,9‰ (1,3‰ d'amplitude) pour F-18806 et entre -11,1‰ et 10,1‰ (0,98‰ d'amplitude) pour F-18909 (tableau 18). Les valeurs isotopiques du carbone dessinent des courbes similaires chez les trois spécimens avec des valeurs isotopiques croissantes sur la M2 et des valeurs décroissantes sur la M3 (figure 38). Ces variations pourraient correspondre à l'alimentation des rennes sur un cycle annuel, comme on a pu l'observer chez les autres rennes continentaux de notre corpus moderne.

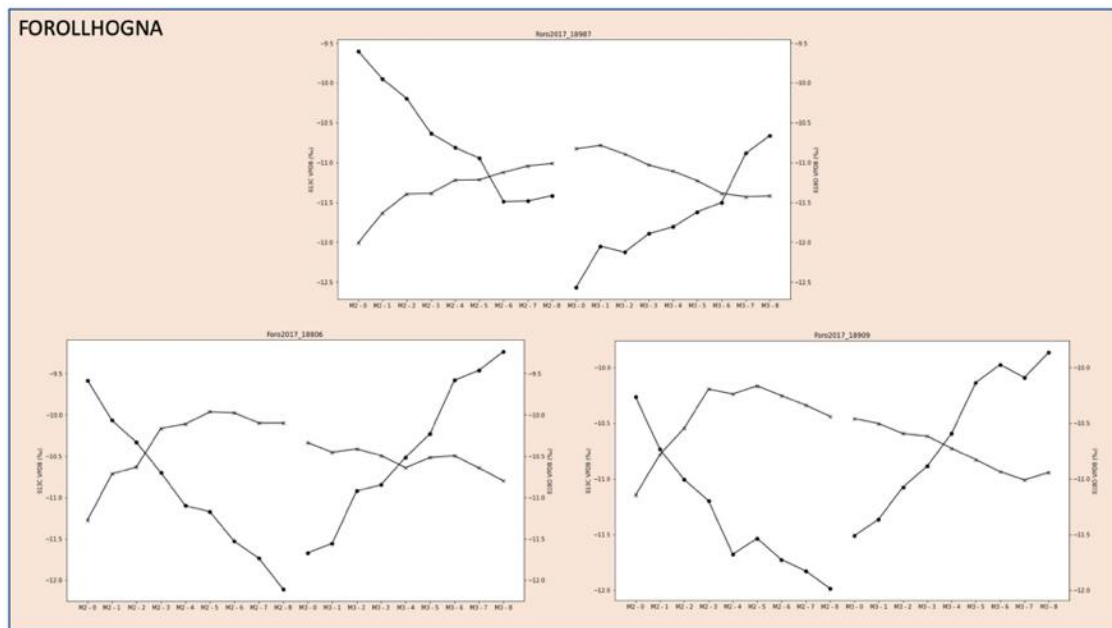


Figure 38 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens de Forollhogna

De même, les courbes des valeurs isotopiques de l'oxygène présentent des tendances inverses à celles observées pour le carbone (figure 38). Comme chez tous les spécimens modernes continentaux analysés, on retrouve donc une corrélation entre les taux isotopiques $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$. Sur les courbes on observe des valeurs décroissantes sur la M2 et des valeurs croissantes sur la M3. On remarque ici aussi une amplitude plus marquée chez deux spécimens : 2,9 d'amplitude notée pour les individus F-18987 et F-18806.

Conclusion sur les tendances observées chez les rennes continentaux :

Présupposant que les données isotopiques du carbone sont corrélées aux valeurs isotopiques en oxygène (Britton, 2010), on retrouverait donc systématiquement deux saisons en suivant les courbes de l'oxygène et du carbone sur la M2 et sur la M3 :

- Une saison au cours de laquelle l'alimentation est riche en lichen (taux élevé de $\delta^{13}\text{C}$) ; saison froide qui correspond à un taux plus bas en $\delta^{18}\text{O}$.
- Une saison au cours de laquelle l'alimentation est plus diversifiée (taux moins élevé de $\delta^{13}\text{C}$; saison plus chaude qui correspond à un taux plus élevé en $\delta^{18}\text{O}$.

Les rennes de tundra alpine continentaux présentent donc des variations des profils isotopiques séquentiels du $\delta^{13}\text{C}$ et du $\delta^{18}\text{O}$ relativement similaires d'une population à l'autre.

Avant de s'intéresser aux rennes préhistoriques, on s'intéresse à une autre sous-espèce de renne qui peut présenter des comportements plus diversifiés que les rennes continentaux et donc apporter des informations supplémentaires pour interpréter les données archéologiques. Observe-t'on la même tendance dans l'alimentation des rennes insulaires de l'archipel du Svalbard ?

Les rennes insulaires

Nous avons analysé les profils isotopiques de rennes qui proviennent de trois vallées du Svalbard, très proches géographiquement (Sassendalen, Grøndalen, Colesdalen ; figure 39). Ces populations de rennes étant insulaires elles présentent des caractéristiques anatomiques différentes, nous les évoquons en annexe (annexe 6).



Figure 39 : Régions de collecte de rennes de Svalbard (*R. t. platyrhynchus*)

conservés par le muséum d'histoire naturelle d'Oslo et le Norwegian Polar Institute (in Bignon-Lau *et al.*, 2020)

Sassendalen

Trois spécimens présentent des valeurs isotopiques du carbone similaires (autour de -14 ‰ de moyenne), tandis que l'individu S-354 se différencie par une moyenne plus basse de -15‰. Cependant, sur les courbes du carbone, on observe la même tendance chez tous les individus en termes d'amplitude du signal entre -14,7 et -13,7‰ pour S-307, entre -14,4 et -13,3‰ pour S-132, entre -14,6 et -13,6‰ pour S-250 et entre -14,9 et -13,9‰ pour S-354 (figure 40). Les courbes isotopiques sont relativement décroissantes sur la M2 et croissantes sur la M3. Chez les rennes insulaires, les tendances sont inversées sur le carbone par rapport aux courbes

observées chez les rennes continentaux. L'alimentation des rennes provenant de cette population insulaire serait donc plus diversifiée annuellement si l'on compare aux courbes du carbone interprétées ci-dessus. Ici les variations entre période estivale et hivernale sont donc moins nettes, comme on le voit chez l'individu S-132 qui présente des variations sur la M2 seule (valeurs décroissantes suivis de valeurs croissantes).

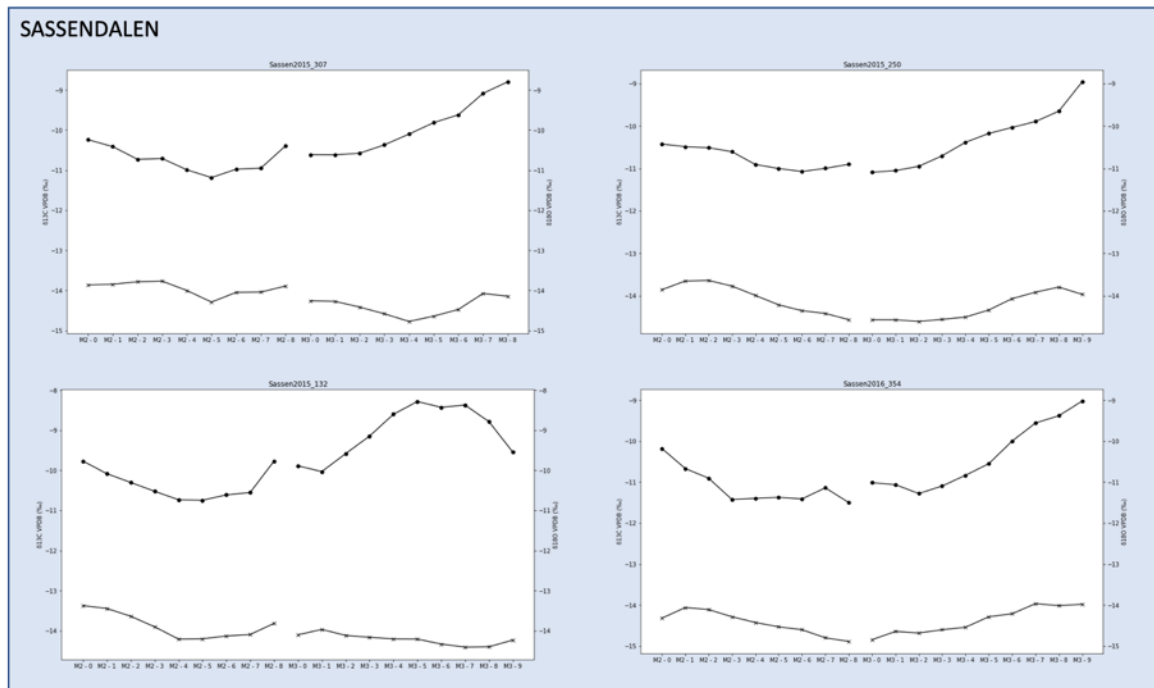


Figure 40 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens de Sassendalen, Svalbard

Les courbes des valeurs isotopiques de l'oxygène suivent des tendances similaires à celles observées chez les premiers spécimens analysés : valeurs décroissantes sur la M2 et valeurs croissantes sur la M3. L'amplitude des taux isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ varie entre 2,1 et 2,4 ; pour des moyennes qui varient entre -9,6 et -10,7‰. Les variations observées sur les courbes du taux d'oxygène correspondent à des variations saisonnières de l'oxygène enregistrées par l'alimentation des rennes.

Si l'on compare les moyennes du $\delta^{18}\text{O}$ chez les spécimens insulaires aux résultats obtenus chez les rennes continentaux, les valeurs sont plus hautes. Ce résultat signifierait que le taux en oxygène des plantes ingérées par les rennes insulaires varie saisonnièrement. L'alimentation serait plus diversifiée tout au long d'une année chez les rennes insulaires de Sassendalen.

Grøndalen

Les deux spécimens de Grøndalen analysés ici présentent des valeurs isotopiques du carbone similaires (autour de -14 ‰ de moyenne). Les profils isotopiques sont aussi similaires en termes d'amplitude du signal entre -14,6 et -13,6 ‰ pour G-235, entre -14,4 et -13,3 ‰ pour G-62 (figure 41). Les valeurs dessinent des courbes stables sur la M2 et croissantes sur la M3. Comme on a pu l'observer aussi à Sassendalen, les tendances sont inversées sur le carbone par rapport aux rennes continentaux. Les rennes provenant de cette population insulaire ne semblent pas avoir basé principalement leur alimentation sur l'ingestion de lichen (qui enrichit habituellement le signal en carbone). Ici, l'alimentation semble donc être plus diversifiée dans l'ensemble au cours d'un cycle annuel.

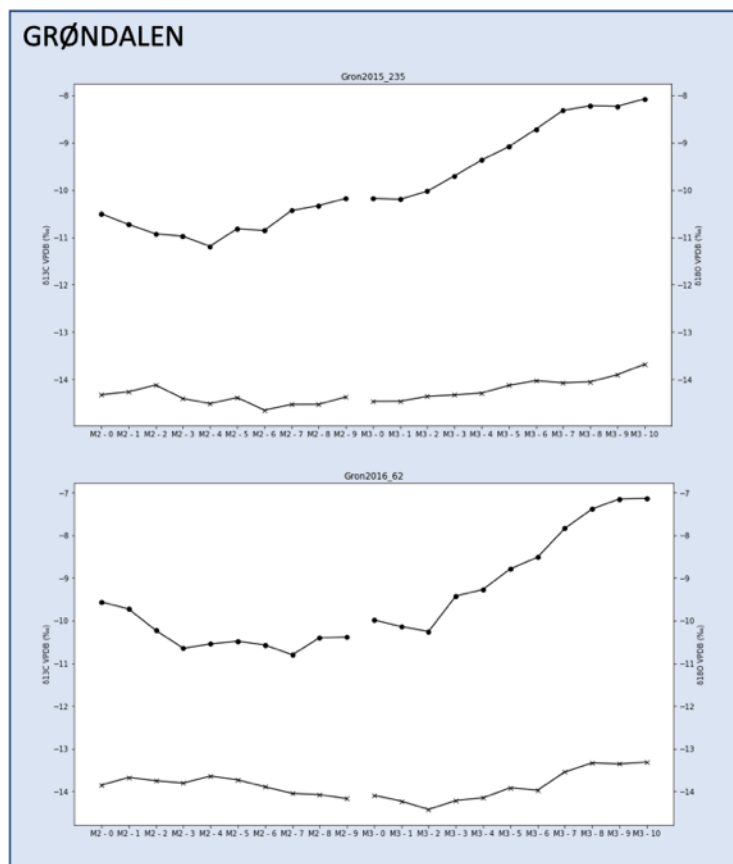


Figure 41 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens de Grøndalen, Svalbard

Comme chez tous les spécimens modernes analysés jusqu'ici, les courbes des valeurs isotopiques de l'oxygène suivent des tendances saisonnières : valeurs décroissantes sur la M2 et valeurs croissantes sur la M3 (figure 41). L'amplitude des taux isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ varie entre 2,1 et 2,4 ; pour des moyennes qui varient entre -9,6 et -10,7 ‰ (tableau 18). Les variations

observées sur les courbes du taux d'oxygène correspondent à des variations saisonnières de l'oxygène enregistré par l'alimentation des rennes. Si l'on compare les moyennes du $\delta^{18}\text{O}$ chez les spécimens insulaires aux résultats obtenus chez les rennes continentaux, les valeurs sont plus hautes. Ce résultat signifierait que le taux en oxygène des plantes ingérées par les rennes insulaires varie saisonnièrement.

Comme chez les rennes insulaires de Sassendalen, à Grøndalen l'alimentation des rennes serait plus diversifiée tout au long d'un cycle annuel.

Colesdalen

Les deux spécimens de Colesdalen analysés ici présentent des valeurs isotopiques du carbone similaires (autour de -14,5 ‰ de moyenne, tableau 18). Les profils isotopiques sont similaires en termes d'amplitude du signal entre -15 et -14,5‰ pour C-159 et entre -14,9 et -14,2‰ pour C-127 : très faible amplitude (inférieure à 1). Les valeurs dessinent des courbes relativement stables sur la M2 et la M3 (figure 42). Comme on a pu l'observer chez les autres rennes insulaires, les tendances sont inversées sur le carbone par rapport aux rennes continentaux.

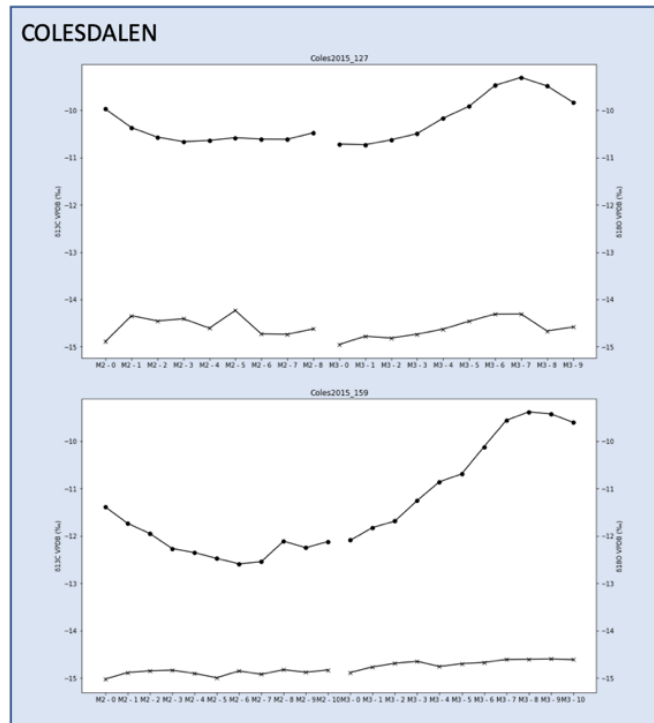


Figure 42 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens de Colesdalen, Svalbard

Comme pour tous les spécimens modernes, on retrouve des courbes des valeurs isotopiques de l'oxygène qui suivent des tendances saisonnières : valeurs décroissantes sur la M2 et valeurs croissantes sur la M3 (figure 42). L'amplitude des taux isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ varient entre 3,2 (C-159) et 1,6 (C-127) ; pour des moyennes qui varient entre -11,3 et -10,2‰ (respectivement C-159 et C-127). Les variations observées sur les courbes du taux d'oxygène correspondent à des variations saisonnières de l'oxygène enregistré par l'alimentation des rennes.

Si l'on compare les valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ chez les spécimens insulaires aux valeurs obtenues chez les rennes continentaux, elles sont en moyennes plus hautes. Ce résultat signifierait que les variations du taux en oxygène contenu dans les plantes sont plus marquées sur l'archipel du Svalbard. On s'interroge sur les facteurs qui peuvent impacter cette hausse des valeurs isotopiques de l'oxygène : on sait notamment que l'altitude et la latitude ont peut-être un rôle à jouer dans l'apport en oxygène à la surface du globe. On note aussi que l'alimentation enregistrée chez toutes les populations de rennes insulaires serait plus diversifiée tout au long d'un cycle annuel.

Conclusion sur l'observation des données isotopiques chez les rennes modernes

L'observation des données sur les rennes modernes nous a permis d'identifier des différences marquées des valeurs isotopiques du carbone et de l'oxygène chez différentes populations de rennes (tableau 19) :

- Chez les rennes continentaux (*Rangifer t. tarandus*), les profils isotopiques séquentiels du carbone et du l'oxygène sont corrélés et présentent des tendances inversées, qui caractériserait une alimentation riche en lichen l'hiver (saison froide) et plus diversifiée l'été (saison plus chaude). Ces données concordent avec celles décrites dans la littérature sur l'alimentation des rennes continentaux de Norvège (Skogland, 1984a, 1984b, 1989 ; Drucker, 2001 ; Britton, 2010).
- Chez les rennes insulaires (*Rangifer t. platyrhynchus*), les profils isotopiques du carbone sont plus stables. Les courbes du carbone présentent des valeurs moins élevées que chez les rennes continentaux, tandis que les variations observées sur les courbes de l'oxygène rappellent un signal saisonnier. Cette variation du taux d'oxygène peut correspondre à la variabilité de la composition en plantes des pâturages en fonction des saisons : enrichissement ou appauvrissement de la composition isotopique dans les plantes (Skogland, 1989).

- Concernant les variations du taux de carbone chez les rennes insulaires, ils semblent consommer très peu de lichen pendant la période hivernale. Les données écologiques collectées sur l'archipel du Svalbard confirment, en effet, une très faible présence de lichen dans l'environnement dans cette zone géographique (Pedersen *et al.*, 2021 ; Hansen *et al.*, 2007) :

« Large tidewater glaciers and open fjords isolate the peninsulas from each other. Plants are short-growing and dominated by mosses, dwarf willow *Salix polaris*, purple saxifrage *Saxifraga oppositifolia*, and graminoids, while lichens are scarce due to past grazing and trampling (Hansen *et al.* 2007) » (p.3; Pedersen *et al.*, 2021)

Tableau 19 : Synthèse des données isotopiques séquentielles acquises sur les rennes modernes

Population	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		Hypothèses sur l'alimentation
KNUTSHØ	2	~ -10	A ~ 1	~ -11	A ~ 1,8	Valeurs hautes $\delta^{13}\text{C}$ = consommation de lichen (Drucker, 2001) A $\delta^{13}\text{C}$ + tendances inversées du $\delta^{18}\text{O}$ Saisonnalité = marquée par consommation de lichen pendant période froide (Britton, 2010)
HARDANGERVIDDA	2		A ~ 1,2	~ -10,6	A ~ 2	
FOROLLHOGNA	3	~ -10,5	A ~ 1,3	~ -11	2,1 < A < 2,9	
SASSESALEN	4	-15 < ~ < -14	A ~ 1	-9 < ~ < -10	A ~ 2,2	Valeurs basses + faible amplitude du $\delta^{13}\text{C}$ = alimentation plus diversifiée Tendances similaires du $\delta^{13}\text{C}$ et du $\delta^{18}\text{O}$ = alimentation marquée par saisonnalité et par taux carbone et oxygène contenu dans plantes ingérées
GRØNDALEN	2	~ -14	A ~ 1	~ -9,5	A ~ 2,3	
COLESDALEN	2	~ -14,5	A < 1	~ -10,6	1,6 < A < 3,2	

On propose d'interpréter ces variations observées comme étant le résultat d'une plasticité alimentaire chez le renne. Les spécimens sélectionnent leurs prises alimentaires en fonction de différents facteurs que nos analyses mettent en évidence par la suite. On reconnaît déjà les saisons via la variation du taux d'oxygène. On rappelle, ici aussi, que certains écotypes sont connus pour être migrateurs (Kuntz, 2011). En effet, la migration est une variable qui peut jouer ici aussi sur la plasticité du signal alimentaire. Il serait intéressant, à l'avenir, de coupler nos analyses isotopiques des carbonates à des analyses isotopiques du strontium pour tenter d'évaluer l'amplitude des déplacements voire des migrations entreprises par les rennes insulaires comparée à celles des rennes continentaux (Britton, 2020 ; Gigueux *et al.*, 2019 ; Le Corre *et al.*, 2020). Les rennes insulaires sont moins mobiles car cantonnés à des vallées dans l'archipel du Spitzberg tandis que les rennes continentaux ont des niches écologiques plus étendues à parcourir (Pedersen *et al.*, 2021 ; Skogland, 1984).

Signaux isotopiques séquentiels chez les rennes du Solutréen au Magdalénien

Ayant observé différents comportements alimentaires chez les rennes modernes qui semblent être liés à des facteurs géographiques et écologiques, on s'interroge sur la variabilité des comportements dans le temps long. Ici, à l'aide du calcul isotopique séquentiel sur des vestiges archéologiques (tableau 20), on analyse les comportements alimentaires du renne tout au long d'une période qui présente des variations climatiques du Dernier Maximum Glaciaire (Solutréen) au Tardiglaciaire (Magdalénien). Pour rappel, nos rennes proviennent du Bassin parisien et en particulier des sites de Pincevent, de la grotte Rochefort et de l'abri Fritsch.

Tableau 20 : Valeurs isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates issus de l'analyse séquentielle des dents de rennes archéologiques

Echantillons	N	$\delta^{13}\text{CVPDB_COR}$ (‰)				$\delta^{18}\text{OPDB_COR}$ (‰)			
		Moyenne	Min	Max	Amplitude	Moyenne	Min	Max	Amplitude
R_2477_M3	11	-9,408	-9,760	-8,860	0,90	-4,020	-5,740	-2,850	2,89
R_2821_M1/2	9	-10,079	-10,240	-9,750	0,49	-4,876	-5,390	-4,090	1,3
R-5443_M3	9	-9,889	-10,050	-9,520	0,53	-3,668	-4,160	-3,130	1,03
LR_Rt_c9_3	12	-9,709	-10,240	-9,320	0,92	-5,119	-6,280	-4,260	2,02
LR_Rt_c9_12	13	-10,574	-11,110	-10,090	1,02	-5,394	-7,300	-3,750	3,55
LR_Rt_c5a_14	14	-9,466	-10,250	-8,310	1,94	-5,632	-8,090	-3,680	4,41
LR_Rt_c5a_21	13	-9,192	-10,570	-7,870	2,70	-5,952	-7,060	-5,030	2,03
LR_Rt_c5b_10	20	-8,988	-9,570	-8,300	1,27	-6,844	-8,370	-4,660	3,71
PIV20_S108.627	18	-10,739	-11,140	-10,310	0,83	-6,052	-7,120	-4,750	2,37
PIV20_S112.123	18	-10,967	-11,310	-10,660	0,65	-7,468	-8,510	-6,100	2,41
PIV20_O90.4	16	-10,437	-10,770	-10,120	0,65	-6,933	-8,220	-4,550	3,67
PIV20_S107.104	21	-10,320	-11,020	-9,790	1,23	-6,046	-8,020	-4,060	3,96
PIVO_G108-80	21	-10,637	-11,030	-9,900	1,13	-6,204	-7,140	-4,981	2,159
PIVO_E10823	21	-10,562	-11,280	-9,540	1,74	-6,132	-7,050	-4,810	2,24
PIVO_G11073	18	-10,796	-11,252	-9,988	1,26	-5,446	-7,857	-3,487	4,37
PIVO_G110151	24	-10,353	-11,083	-8,496	2,59	-5,825	-6,741	-4,346	2,395

Solutréen : grotte Rochefort (Mayenne) et couche 9 de l'abri Fritsch (Indre)

À la grotte Rochefort, les trois dents échantillonnées ont livré des rapports isotopiques du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) qui sont décrits ci-dessous (tableau 20, figure 43).

- L'individu R-2821 présente un profil isotopique séquentiel du carbone qui oscille entre -10,2 et -9,7 ‰. Si l'on considère que la dent échantillonnée est une M2 inférieure, en reliant les points sur un graphique, le profil devrait présenter une courbe similaire à celle observée

chez les rennes continentaux modernes. Or ce profil présente une courbe non linéaire. Il peut s'agir d'une M1 qui s'est minéralisée alors que l'animal se nourrissait encore de lait maternel (voir explication du phénomène en PIV Chapitre 1). Nous resterons donc très prudentes lorsque nous tenterons d'interpréter les signaux isotopiques de cette dent.

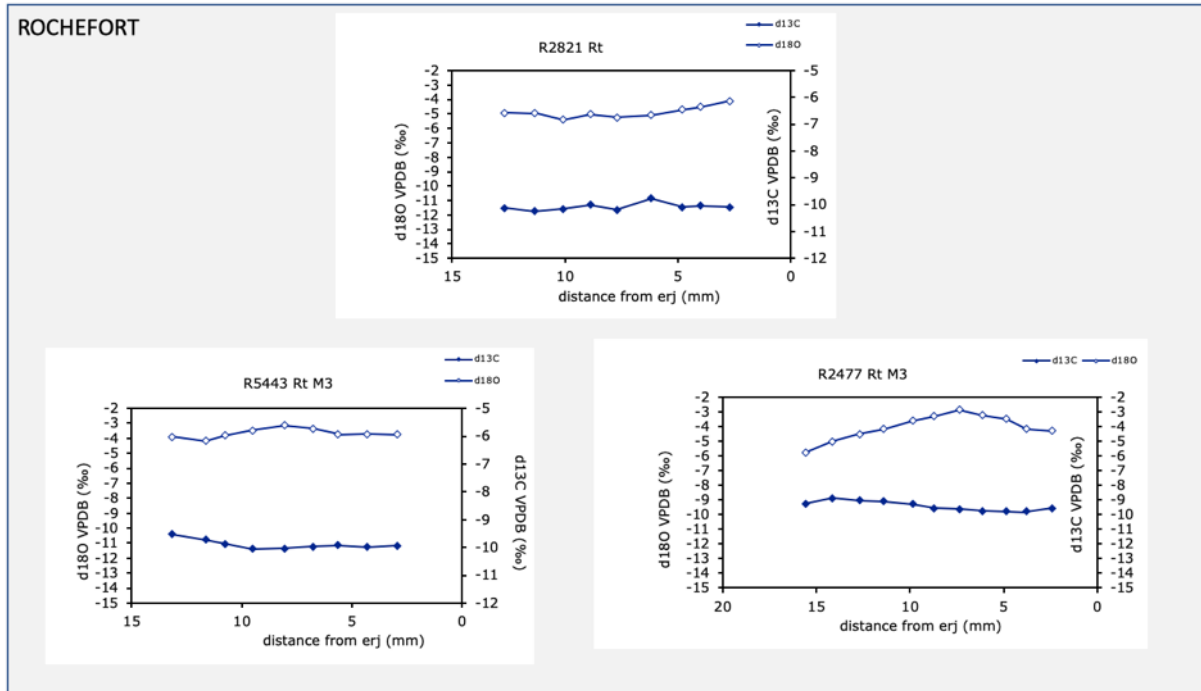


Figure 43 : profils isotopiques du carbone et de l'oxygène chez les spécimens de la grotte Rochefort (Solutréen)

- Les deux autres individus présentent des valeurs de carbone légèrement plus hautes entre -9,7 et -8,8 ‰ pour R-2477 ; -10,05 et -9,5 ‰ pour R-5443 (tableau 20). Le carbone présent dans la bioapatite apporte des informations sur le régime alimentaire de l'animal. Le signal $\delta^{13}\text{C}$ représente le type de photosynthèse des plantes ingérées par l'animal (Balasse, 2015). Ici, les valeurs élevées en $\delta^{13}\text{C}$ comprises entre -10,5 et -8,5‰ peuvent être interprétées comme une consommation importante de lichen (Drucker *et al.*, 2001 ; Britton, 2010). On observe aussi une très faible amplitude du signal (>1‰ ; tableau 20) sur les quelques mois que représentent la minéralisation des M3 et M1/2 ici analysées. On retrouve cette faible amplitude du signal chez certains rennes continentaux (K246058 et F-18909 par exemple) et insulaires (les deux individus de Colesdalen par exemple ; tableau 18). Ce résultat, nous l'avons interprété comme une stabilité du comportement alimentaire tout au long d'un cycle annuel. N'ayant qu'une partie du signal annuel avec une seule dent par spécimen (la M3 et une M1/2), nous n'irons pas plus loin dans l'observation de ces résultats avant d'avoir décrit le signal isotopique de l'oxygène.

- La M1/2 (R-2821) présente un profil isotopique séquentiel de l'oxygène qui oscille entre -5,3 et -4 ‰ alors que les deux autres individus présentent des valeurs plus hautes entre -5,7 et -2,8 ‰ pour R-2477 et -4,1 et -3,1 ‰ pour R-5443 (tableau 20). Les individus R-2821 (M1/2) et R-5443 se démarquent par une amplitude très faible des valeurs isotopiques de l'oxygène d'environ 1 ‰ (figure 43). Parmi les spécimens moderne, ces valeurs rappellent celles des individus H-249605 et K-246058, rennes continentaux qui fréquentent les plateaux alpins d'Hardangervidda et Knutshø. A Rochefort, on retrouve un relief qui associe des plateaux et une vallée encaissée où coule l'Erve (rivière) mais l'altitude et la superficie n'ont rien à voir.

À l'abri Fritsch, les M2 et la M3 de plusieurs rennes ont été analysées, voici la description des résultats obtenus pour les spécimens de la couche 9 qui correspondrait à une occupation Solutrénienne (Bayle, 2000).

- Ces échantillons ont aussi livré des signaux isotopiques (tableau 20, figure 44). D'après les valeurs des deux spécimens, on observe de faibles amplitudes parmi les valeurs isotopiques du carbone d'environ 1 ‰ : entre -10,2 ‰ et -9,3 ‰ pour LR_Rt_c9_3 et entre -11,1 ‰ et -10 ‰ chez LR_Rt_c9_12.
- En comparant ces données du carbone avec celles observées à Rochefort, on constate une consommation de lichen chez les deux populations (Drucker, 2001).

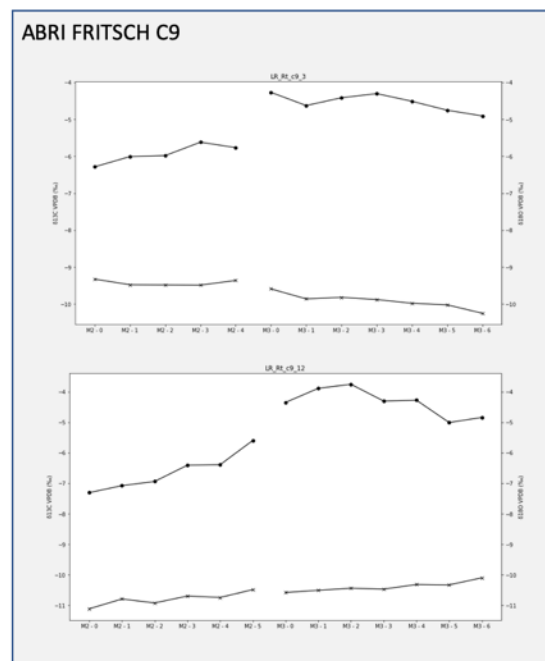


Figure 44 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens de la couche 9 à l'abri Fritsch (Solutrénien)

Cependant, les valeurs en carbone semblent être moins élevées à l'abri Fritsch. Sachant que ces deux sites sont contemporains d'un point de vue culturel (culture solutréenne), rien ne nous permet de dire qu'ils ont été occupés pendant les mêmes décennies voire mêmes siècles car la culture solutréenne semble avoir perduré longtemps. Mais on constate qu'ils présentent des conditions d'occupations similaires en termes de reliefs (topographie du paysage) : un cours d'eau en contrebas de l'occupation, l'Erve à Rochefort et la Creuse à Fritsch, et l'aspect vallonné du paysage (plateaux et vallée). Les solutréens semblent occuper des sites qui présentent des situations topographiques similaires. Cependant, les variations du taux de carbone dans l'alimentation du renne ne proviennent pas du relief relativement similaire entre les sites. Ces différences proviennent donc probablement des variations climatiques. Le climat aurait-il été plus propice à Fritsch qu'à Rochefort pour les rennes ?

Les différences observées sur les taux de carbone ($\delta^{13}\text{C}$) dans l'alimentation des rennes solutréens peuvent être interprétées comme étant des variations des conditions climatiques ici. On complètera cette réflexion avec les résultats obtenus chez les chevaux du corpus ainsi que ceux obtenus via l'analyse de texture des micro-usures dentaires sur les mêmes individus.

D'après les courbes de $\delta^{18}\text{O}$ des spécimens de la couche 9 de l'abri Fritsch, on peut observer des variations du rapport de l'oxygène d'une amplitude qui oscille entre -6,2 et -4,2 ‰ chez LR_Rt_c9_3 (2 ‰ d'amplitude du signal) et -7,3 et -3,7 ‰ chez LR_Rt_c9_12 (3,5 d'amplitude du signal). Les valeurs isotopiques de l'oxygène ne dessinent pas les mêmes tendances lorsqu'on compare avec les courbes des rennes modernes. En effet, les valeurs croissantes sur le M2 semblent décroître sur la M3 ce qui correspond à l'inverse des tendances observées jusqu'ici. On peut interpréter cette différence, par le fait que nous n'avons pu échantillonner qu'une partie du signal annuel sur chacune des dents car les individus sont plus âgés et la couronne est usée (dents brachyodontes). Le signal peut être décalé car la période de minéralisation de M2 et de la M3 chez cet individu ne correspondent pas aux périodes de minéralisation habituellement observées. Ceci pourrait marquer un stress chez l'individu lié à des variations saisonnières décalées. Les saisons sont marquées mais le cycle biologique de l'individu en question est différent et l'enregistrement des données isotopiques décalé.

D'après les données sur les rennes modernes, on peut identifier, une saison plutôt froide en début de minéralisation de la M2 suivie d'une saison chaude entre la M2 et la M3 pour revenir à une saison froide en fin de minéralisation de la M3. Tout en restant très précautionneux

lorsqu'on évoque l'oxygène chez le renne qui ne dépend pas des sources d'eau météorologiques comme nous l'avons rappelé avant de présenter nos données.

Badegoulien : couche 5 de l'abri Fritsch (Indre)

Nous avons analysé trois spécimens provenant de la couche 5 de l'abri Fritsch. Cette couche a été caractérisée comme étant un ensemble de plusieurs niveaux d'occupation badegoulienne. Les dents de rennes (M2 et M3) ont livré un signal isotopique pour le carbone et pour l'oxygène. Voici l'observation des résultats obtenus sur ces échantillons (tableau 20, figure 45).

Les trois spécimens de la couche 5 proviennent de deux sous-couches : c5a et c5b. Les deux individus de c5a (LR_Rt_c5a_14 et 21) présentent des valeurs du carbone plus basses en moyenne (-9,4 et -9,1 de moyennes respectivement) que celle de l'individu de la couche c5b : LR_Rt_c5b_10 (8,9 de moyenne). Ces valeurs isotopiques semblent être caractéristiques d'une consommation de lichen comme on a pu le déterminer chez les rennes modernes continentaux. L'individu de la couche C5b présente même la moyenne la plus haute observée jusqu'ici pour les valeurs isotopiques en carbone. On observe aussi des différences d'amplitude des signaux isotopiques ici. Elle est plus importante chez les rennes en c5a entre 1,9 et 2,7 (respectivement) ; tandis que l'amplitude est plus faible chez le renne en c5b (1,2‰). Malgré cette amplitude faible, les courbes varient entre la M2 et la M3 chez ce dernier : les valeurs sont croissantes sur le M2 et décroissantes sur la M3. Attendons d'observer les valeurs d'oxygène pour vérifier si l'on retrouve un schéma saisonnier comme chez les rennes modernes. Pour ce qui est des individus de c5a, deux schémas sont décrits : les valeurs décroissent sur le M2 et sur la M3 chez l'individu 14 et sont relativement croissantes sur le M2 et décroissantes dans la première partie de la M3 pour remonter sur la fin de la minéralisation de la M3. Ces schémas très différents sont à comparer avec les taux isotopiques séquentiels de l'oxygène.

Comme pour les spécimens modernes, on retrouve des courbes des valeurs isotopiques de l'oxygène qui suivent des tendances saisonnières chez l'individu de la sous-couche 5b : des valeurs décroissantes sur la M2 et des valeurs croissantes sur la M3. On ne retrouve pas cette tendance sur c5a.

Le spécimen LR_Rt_c5a_14 présente des valeurs croissantes sur le M2 et relativement stables sur le M3. Le spécimen LR_Rt_c5a_21 présente des valeurs croissantes sur le M2 et décroissantes sur le M3. L'amplitude des taux isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ varie entre 4,4 (c5a_14)

et 2 (c5a_21). Pour l'individu c5a_14, l'amplitude rappelle une variation du taux isotopique de l'oxygène déjà observée dans l'alimentation des rennes modernes : seulement, il manquerait une portion de la M2 qui correspondrait à des valeurs décroissantes, ici aussi on peut proposer l'hypothèse d'un cycle biologique décalé chez ce spécimen. Ce décalage peut être lié à une mobilité accrue ou réduite qui permettrait d'interpréter ce taux d'oxygène différent (comme on a pu l'observer chez les autres rennes de l'abri Fritsch couche 9).

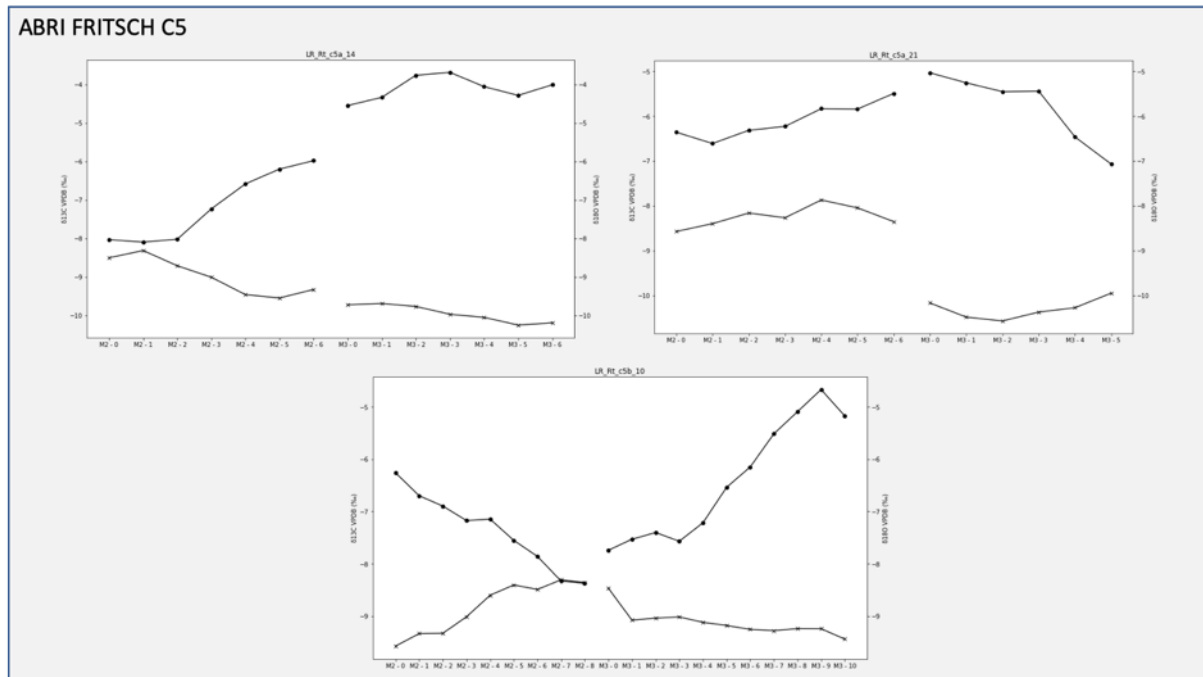


Figure 45 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens de la couche 5 à l'abri Fritsch (badegoulien)

Les variations observées sur les courbes du taux d'oxygène correspondent à des variations saisonnières de l'oxygène enregistré par l'alimentation des rennes. Si l'on compare les moyennes du $\delta^{18}\text{O}$ chez les spécimens de l'abri Fritsch et de Rochefort aux résultats obtenus chez les rennes modernes, les valeurs sont plus hautes d'environ 4‰ en moyenne. Ce résultat signifierait que le taux en oxygène des plantes ingérées par les rennes insulaires diffère nettement entre le DMG (rennes archéologiques) et l'Holocène (rennes modernes). Qu'est-ce que cela signifie en conséquence sur le plan écologique et climatique ? Qu'en est-il au Tardiglaciaire ?

Magdalénien : niveaux IV0 et IV20 de Pincevent

Niveau IV20 de Pincevent

Les spécimens du niveau IV20 : PIV20_S108.627, PIV20_S112.123, PIV20_O90.4, PIV20_S107.104 présentent des valeurs du carbone relativement similaires en termes d'amplitude (proche de 1 entre 1,2 > A > 0,6) et graphiquement (tableau 20, figure 46). En effet, les courbes présentent les mêmes tendances de valeurs croissances sur le M2 et décroissantes sur la M3, avec quelques valeurs croissantes en fin de minéralisation de la M3 pour les trois individus suivants : PIV20_S107.104, PIV20_O90.4, PIV20_S112.123. De plus, les moyennes autour de 10,5‰ semblent être caractéristiques d'une consommation de lichen comme on a pu le découvrir chez les rennes modernes continentaux. La très faible amplitude des valeurs observée permet d'émettre l'hypothèse d'un régime alimentaire stable en terme d'apport en carbone dans les plantes ingérées par les rennes du niveau IV20. Nous observons les valeurs d'oxygène pour vérifier si les tendances détectées sur les courbes représentent un schéma saisonnier comme chez les rennes modernes.

On observe les tendances inverses pour les valeurs $\delta^{18}\text{O}$ pour l'individu PIV20_S107.104 qui rappellent des valeurs isotopiques hivernales entre la fin de minéralisation de la M2 et le début de la M3 et des valeurs plus hautes, au début de la M2 et fin de la M3, qui correspondraient à la saison d'été (figure 46). Pour ce spécimen, on observe une corrélation entre variation du carbone et variation du taux d'oxygène saisonnièrement (amplitude de 3,9‰) comme on a pu l'observer chez les rennes continentaux. Chez les trois autres spécimens observés, les résultats sont similaires avec des valeurs croissantes de la M2 à la M3 qui redescendent en fin de minéralisation de la M3 comme chez PIV20_S107.104.

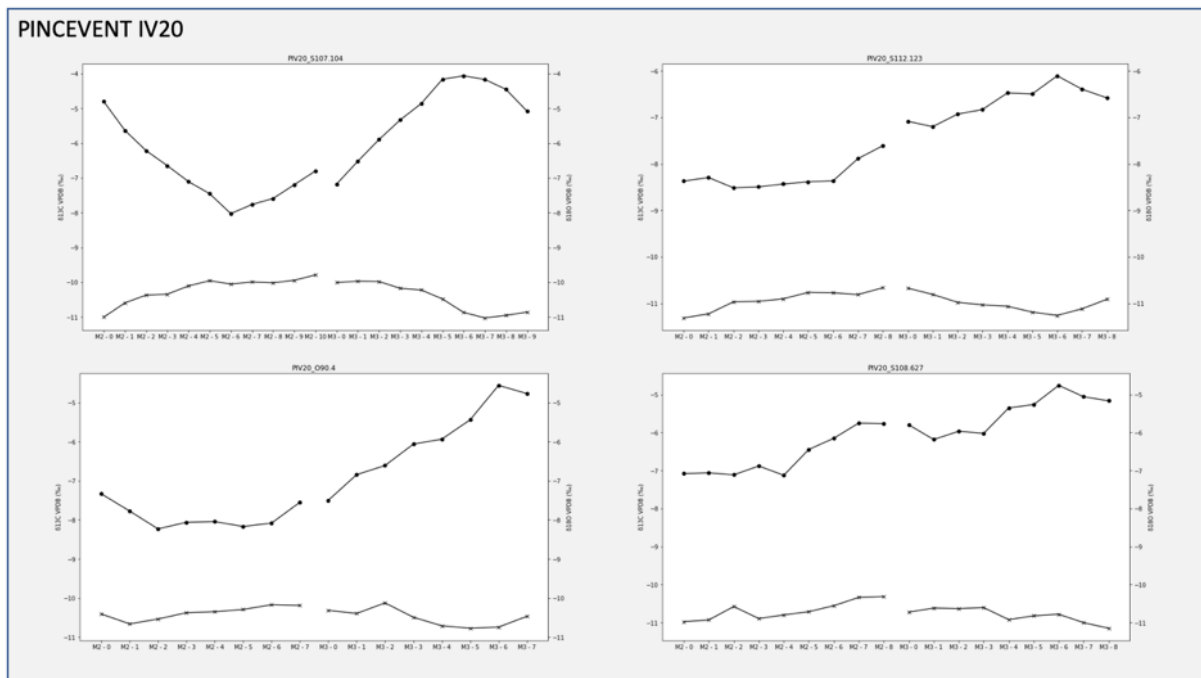


Figure 46 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens du niveau IV20 de Pincevent

On observe donc des variations du taux d'oxygène chez les individus du niveau IV20 malgré une stabilité de l'apport en carbone dans l'alimentation au cours d'un cycle annuel. Ce phénomène que l'on a observé chez plusieurs populations de rennes modernes continentaux peut être associé au comportement migratoire des rennes.

Niveau IV0 de Pincevent

Avant de s'intéresser à l'analyse des valeurs isotopiques qu'ont livrés les spécimens du niveau IV0, nous devons rappeler que l'échantillonnage et l'analyse de ces individus furent plus délicats que pour les autres vestiges archéologiques. En effet, lors de l'observation des premiers résultats, nous avons identifié des valeurs aberrantes parmi nos données. Sur les conseils de notre tutrice Marie Balasse, les échantillons qui présentaient ces valeurs aberrantes (et dont la liste se trouve en annexe 4) ont été traités une seconde fois avant d'être réanalysés au spectromètre de masse. Il semblerait que lors de l'étape d'échantillonnage, nous avons prélevé de la dentine dans les échantillons. Cela pourrait aussi être lié à la qualité de conservation médiocre des vestiges archéologiques sur le niveau IV0 (taphonomie : consulter le chapitre 2 de la Partie III). Graphiquement, on observera encore des pics aberrants sur les courbes mais nous ferons des observations seulement sur les valeurs isotopiques qui nous semblent être

correctes ici (tendances et amplitudes corrigées lorsqu'un pic est observé ; tableau 20 ; figure 47).

Les spécimens du niveau IV0 présentent des valeurs isotopiques du carbone similaires à celles observées sur le niveau IV20, autour de 10,5‰ de moyenne : valeur caractéristique d'une consommation de lichen d'après la comparaison avec les valeurs des rennes modernes continentaux. Comme sur le niveau IV0, on observe une faible amplitude chez les spécimens du niveau IV0 : autour de 1-1,2‰ (en retirant les valeurs aberrantes). Cette amplitude peut correspondre à la stabilité du régime alimentaire au cours d'un cycle annuel (période de minéralisation de la M2 puis de la M3 chez le renne). Cependant, les courbes du carbone présentent des variations du signal sans que l'on puisse évoquer les schémas identifiés chez d'autres rennes du corpus. En restant prudente, on peut seulement évoquer des valeurs croissantes sur le M2 et décroissantes sur la M3) sans en conclure quoique ce soit ici.

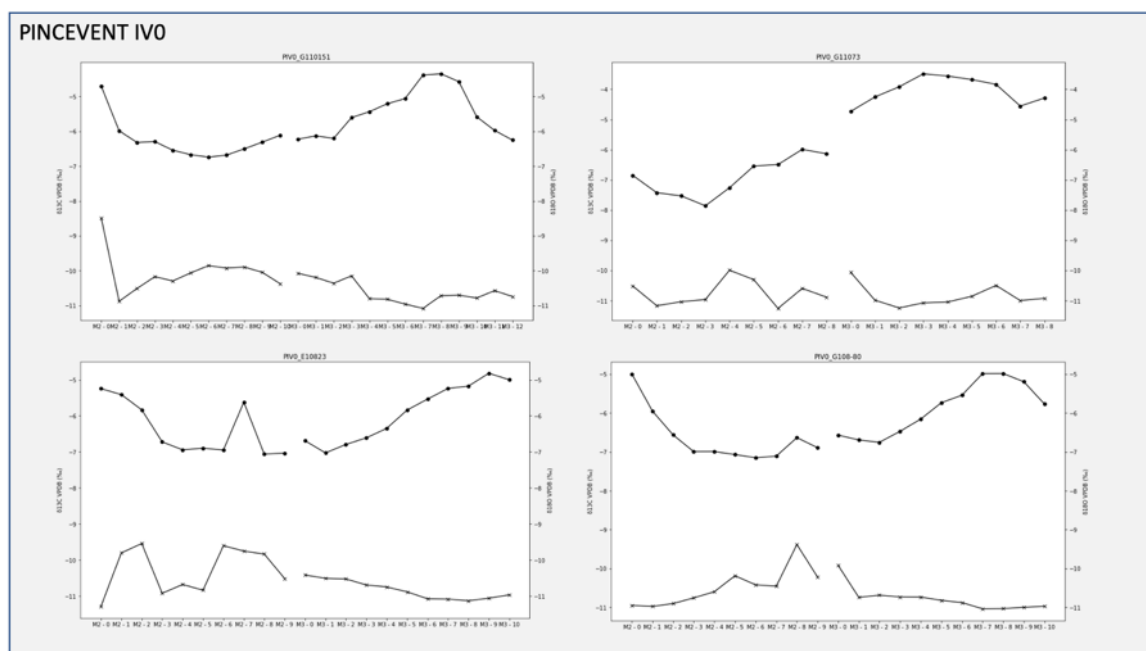


Figure 47 : profils isotopiques du carbone (ronds) et de l'oxygène (croix) chez les spécimens du niveau IV0 de Pinceven

Nous observons les valeurs d'oxygène pour vérifier si les tendances détectées sur les courbes représentent un schéma saisonnier comme chez les rennes du niveau IV20. Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ semblent dessiner des variations nettement découpées par les saisons. Les courbes rappellent les tendances observées chez les rennes continentaux : les valeurs forment un U entre

le début de la M2 et le milieu de la M3 environ, avant de décroître à nouveau sur les derniers échantillons de la M3. On identifierait donc à nouveau la corrélation entre les variations du taux d'oxygène contenu dans les plantes ingérées par les rennes au fil des saisons. Comme chez les rennes du niveau IV20 et chez les rennes continentaux à Forollhogna, l'amplitude est élevée voire très élevée (entre 2,1 et 4,3 ‰) ce qui résulterait d'un net changement dans le cycle biologique des plantes (cycle saisonnier).

Comparaison niveau IV0 – IV20 :

On observe donc des variations du taux d'oxygène entre les individus du niveau IV20 et du niveau IV0, malgré une stabilité de l'apport en carbone dans l'alimentation au cours d'un cycle annuel. Ce phénomène, que l'on observe chez plusieurs populations de rennes modernes continentaux peut être associé au comportement migratoire des rennes.

L'analyse isotopique du strontium, en collaboration avec Kate Britton et Olivier Bignon-Lau, nous apporte quelques indices pour expliquer ce phénomène. Les valeurs isotopiques du strontium contenus dans nos échantillons présentés ci-dessus ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$; Britton *et al.*, 2009 ; Britton *et al.*, 2011), font ressortir des variations de la composition lithographique du sol où les rennes se sont nourris. Ces données permettent de mettre en évidence des comportements migratoires sur la période de minéralisation de la M2 et de la M3 (environ un cycle annuel). A cela, s'ajoute les résultats d'une récente étude menée par Maël Le Corre et K. Britton (avec qui nous avons collaboré) qui replace les rennes de Pincevent (niveaux IV0 et IV20) dans la carte géologique du Bassin parisien. Les variations des taux isotopiques $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ et ^{18}O entre ces deux niveaux, sont interprétées comme étant le résultat de déplacements plus importants chez les rennes provenant du niveau IV20 :

*“For reindeers from IV20, $\delta^{18}\text{O}$ and $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ profiles seem more variable particularly on the M3, suggesting a greater mobility or a more diverse range of seasonal movements” (Le Corre *et al.*, en cours).*

Conclusion sur l'observation des données isotopiques chez les rennes

Les données isotopiques acquises sur l'alimentation des rennes modernes et ceux archéologiques nous ont permis d'identifier une certaine plasticité du comportement alimentaire chez le renne.

- Chez les rennes continentaux (modernes et archéologiques confondus), le signal isotopique séquentiel $\delta^{13}\text{C}$ est négativement corrélé au signal isotopique séquentiel $\delta^{18}\text{O}$. On interprète cette relation comme l'enregistrement du taux d'oxygène et de carbone en fonction des saisons et plantes ingérées (figure 48). L'ingestion de lichen pendant une période de l'année (période froide) semble ressortir systématiquement ici avec des valeurs élevées du $\delta^{13}\text{C}$.
- Les valeurs du $\delta^{13}\text{C}$ chez les rennes continentaux et les rennes insulaires révèlent des différences significatives du comportement alimentaire (tableau 19 et 21) : les valeurs en carbone sont plus élevées chez les rennes continentaux (archéologiques et modernes confondus) que chez les rennes insulaires.

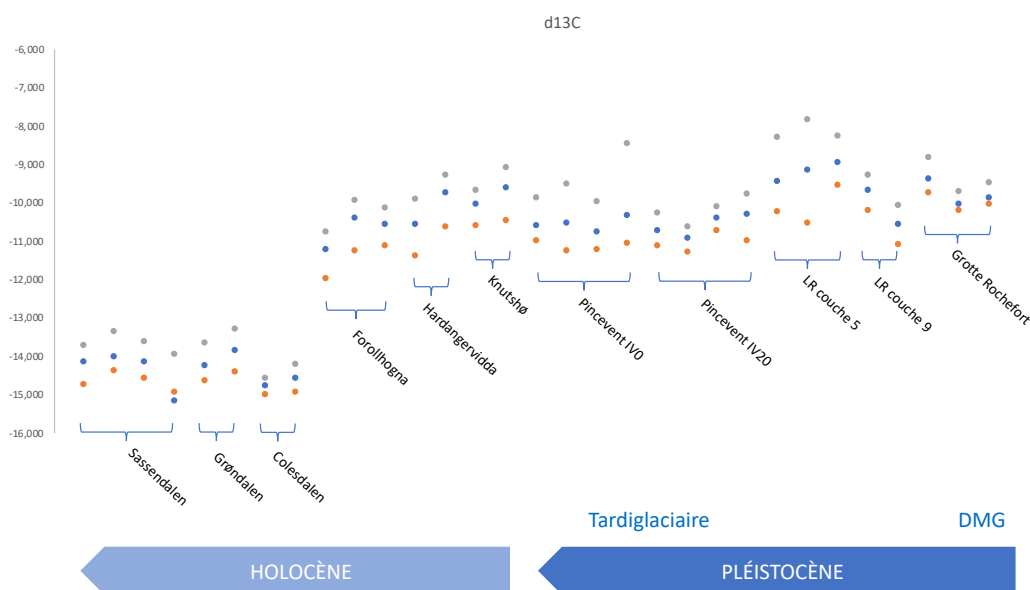


Figure 48 : représentation graphique des données isotopiques du $\delta^{13}\text{C}$ sur les rennes du corpus moderne et archéologique par individu : moyenne (bleu), valeur minimale (orange) et valeur maximale (gris).

On peut donc conclure ici que les rennes insulaires n'ont pas le même régime alimentaire que les rennes continentaux. Cette variation comportementale peut s'expliquer par la représentation de deux sous-espèces différentes ici. Les résultats obtenus via l'analyse des rennes du Svalbard nous permettent de préciser certains facteurs qui impactent le comportement alimentaire du renne. En effet, les rennes insulaires, espèce endémique, non impactés par la prédation, ne sont pas migrateurs. En mesurant l'impact du dérèglement climatique sur l'évolution des niches écologiques du renne, certains chercheurs norvégiens nous livrent des clés d'interprétation pour nos données. On notera notamment que le dérèglement du climat impacte la durée des saisons et de fait l'écologie des communautés végétales et animales : avec des étés plus longs et des hivers plus courts (Pedersen *et al.*, 2021 ; Hansen *et*

al., 2019). Les hivers sont plus courts mais plus rudes pour les rennes qui se voient limités dans l'accès aux ressources végétales par exemple : l'alternance entre de nombreuses périodes de gel et de dégel tout au long de l'hiver crée une couche de glace très solide (Hansen *et al.*, 2019).

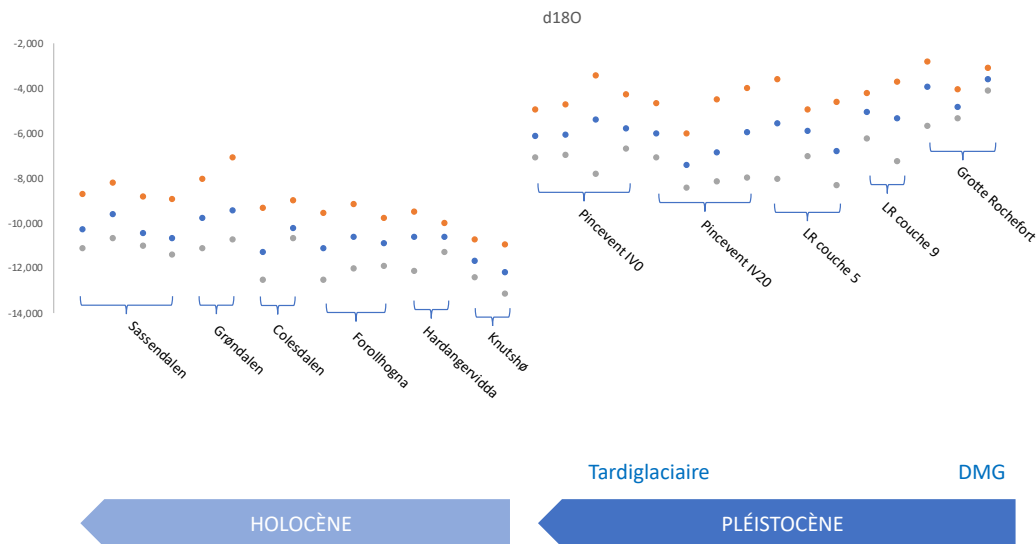


Figure 49 : représentation graphique des données isotopiques du d18O sur les rennes du corpus moderne et archéologique par individu : moyenne (bleu), valeur minimale (orange) et valeur maximale (gris).

On a pu mettre en évidence une corrélation négative entre les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ et de $\delta^{13}\text{C}$ chez les rennes continentaux (modernes et archéologiques, figure 49). D'après les travaux de K. Britton, ces tendances sont caractéristiques des rennes dont l'alimentation est rythmée par les saisons.

On a, aussi, pu observer un décalage des valeurs du $\delta^{18}\text{O}$ entre les rennes modernes et les rennes archéologiques (figure 49, tableau 21). Ces valeurs sont systématiquement plus élevées chez les rennes archéologiques et on observe aucun recouvrement des valeurs isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ entre les deux périodes étudiées (Holocène vs Pléistocène). Comment expliquer ce décalage ?

Tableau 21 : Synthèse des données isotopiques séquentielles acquises sur les rennes archéologiques

Période	Site	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		Hypothèses sur l'alimentation
SOLUTREEN	GROTTE ROCHEFORT	3	~-9,5	A < 1	~-3	A ~1	Valeurs hautes $\delta^{13}\text{C}$ = consommation de lichen (Drucker, 2001) Valeurs très hautes du $\delta^{18}\text{O}$ (mais seulement une dent donc moitié du signal)
	ABRI FRITSCH C9	2	~-10,5	A ~ 1	-7,3 < ~ < 4,2	2 < A < 3,5	Valeurs hautes $\delta^{13}\text{C}$ = consommation de lichen (Drucker, 2001) Valeurs très hautes + inversement courbes du $\delta^{18}\text{O}$ (par rapport à tous les autres individus du corpus)
BADEGOU LIEN	ABRI FRITSCH C5	4	~-9,3 (c5a)	1,9 < A < 2,7	~-5,8	2 < A < 4,4	Valeurs hautes $\delta^{13}\text{C}$ = consommation de lichen (Drucker, 2001) Valeurs hautes $\delta^{18}\text{O}$
			~-8,9 (c5b)	A ~1,2	~- 6,8	A ~3,7	
MAGDALENIEN	PINCEVENT IV0	4	~-10,5	1 < A < 1,2	~-5,8	2,1 < A < 4,2	A + tendances inversées du $\delta^{18}\text{O}$ = alimentation stable + saisonnalité (Britton, 2010) Valeurs hautes $\delta^{13}\text{C}$ = consommation de lichen (Drucker, 2001) 1 individu (S107.104) = tendances inversées du $\delta^{18}\text{O}$ Variation saisonnière – valeurs moyennes hautes Saisonnalité (valeurs moyennes) pour les 3 autres spécimens
	PINCEVENT IV20	4	~-10,5	0,6 < A < 1,2	-7,4 < ~ < -6	2,3 < A < 3,9	

Les recherches dans le domaine de l'isotopie sur le renne, ne permettent pas d'interpréter, à ce jour, les signaux isotopiques de l'oxygène aussi simplement que les signaux isotopiques du carbone. Certains auteurs évoquent un lien entre la variation des valeurs $\delta^{18}\text{O}$ des précipitations et celle des températures en Europe continentale (Rozanski *et al.*, 1993). Les valeurs isotopiques les plus basses sont associées aux basses températures des saisons froides (hiver) et les plus hautes valeurs à celles de la saison chaude (été). Hormis un taux d'humidité transmis par les plantes ingérées qui permettent d'interpréter les variations des taux d'oxygène comme étant des variations d'humidité présente dans l'environnement, les pistes sont ténues (Drucker, 2001).

L'acquisition de données isotopiques séquentielles permettent donc de révéler une certaine plasticité du comportement alimentaire chez le renne. Cette plasticité lui aurait permis de faire varier ses besoins alimentaires aux variations environnementales et climatiques, et ce depuis plus de 20 000 ans (DMG). D'autres indicateurs environnementaux corroborent nos hypothèses : notamment les données issues d'analyses de texture des micro-usures dentaires entre le DMG et le Tardiglaciaire (Catz, 2015 ; 2016 ; Bignon-Lau *et al.*, 2018 ; Partie IV Chapitre 3).

IV.2.2.2. Calcul et analyse des données isotopiques chez les chevaux

Nous avons échantillonné des dents de chevaux provenant des sites mêmes archéologiques qui ont déjà fourni les dents de rennes (cf. analyses ci-dessus). Nous n'avons pas constitué de référentiel pour les dents de chevaux modernes car la littérature scientifique fournit de nombreuses données sur les équidés ce qui nous permet de les comparer aux données archéologiques. En effet, de nombreux travaux ont été entrepris, ces dernières années, sur l'analyse des profils isotopiques provenant des carbonates et de l'émail chez le cheval. Il s'agit d'un herbivore généraliste qui dépend des sources en eau (*obligate drinkers* en anglais) car son système digestif ne lui permet pas d'en faire des réserves contrairement aux rennes : « la présence de cours d'eau ou point d'eau est un facteur critique quant à leur implantation dans le paysage et la sélection des habitats (Grove, 1974 ; Bahloul *et al.*, 2001) » (Bignon, 2007 ; p.224). De ce fait, les valeurs isotopiques de l'oxygène contenues dans l'émail dentaire des chevaux sont des marqueurs environnementaux plus fidèles que chez le renne pour retracer les variations météorologiques voire climatiques à l'échelle de la vie de l'animal et d'une population.

Nous décrivons ci-dessous, les valeurs isotopiques obtenues sur les dents de chevaux de notre corpus (tableau 22) et proposerons une reconstitution des paléotempératures à partir de nos données sur l'oxygène.

Tableau 22 : Valeurs isotopiques du $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates issus de l'analyse séquentielle des dents de chevaux

Echantillons	N	$\delta^{13}\text{CVPDB_COR}$ (‰)				$\delta^{18}\text{OPDB_COR}$ (‰)			
		Moyenne	Min	Max	Amplitude	Moyenne	Min	Max	Amplitude
R-6822_M1/2 2		-10,924	-11,223	-10,546	0,68	-4,701	-5,922	-3,799	2,12
R-7734_M3 3		-11,006	-11,329	-10,745	0,58	-4,640	-5,397	-3,772	1,63
R_6292_M1/2 4		-10,928	-11,346	-10,604	0,74	-4,492	-5,541	-3,673	1,87
R_5378_P3/4 4		-10,770	-11,068	-10,332	0,74	-4,580	-5,726	-3,391	2,34
R_2367_M1/2 3		-10,708	-11,044	-10,345	0,70	-3,507	-4,646	-2,296	2,35
Fritsch_LRB_equus 5		-10,510	-11,005	-10,142	0,86	-5,596	-6,765	-4,682	2,08
Fritsch_LR7_c6_eq 3		-11,384	-11,618	-11,133	0,48	-5,225	-6,956	-3,823	3,13
Fritsch_LRS_eq 5		-11,004	-11,357	-10,730	0,63	-4,957	-5,657	-4,339	1,32
Fritsch_LR3_c5a_eq 5		-10,688	-10,942	-10,230	0,71	-5,415	-5,945	-4,510	1,44
Fritsch_LR4_eq 5		-10,888	-11,255	-10,321	0,93	-5,684	-6,266	-4,737	1,53
Fritsch_LR6_c4_eq 6		-11,137	-11,360	-10,966	0,39	-5,695	-7,038	-4,605	2,43
Fritsch_LR1_c4_eq 7		-10,891	-11,344	-10,384	0,96	-5,053	-6,483	-3,751	2,73
Fritsch_LR2_c4_eq 6		-11,179	-11,589	-10,854	0,73	-5,544	-6,414	-4,721	1,69
P_IV0_M101.12_M2 4		-12,059	-12,412	-11,637	0,78	-6,604	-7,483	-5,678	1,81
P_IV0_M101-13_M2 7		-11,244	-11,675	-9,266	2,41	-6,717	-7,654	-5,986	1,67
PIV0_Z125.533_M2 4		-11,824	-14,155	-9,867	4,29	-6,592	-7,714	-5,465	2,25
PIV0_Z124-41_M2 2		-11,733	-12,464	-10,950	1,51	-6,463	-7,165	-5,435	1,73
PIV20_Eq_L111 5		-11,240	-11,674	-10,771	0,90	-6,500	-7,599	-5,888	1,71
PIV20_Eq_W106 10		-11,081	-11,306	-10,806	0,50	-7,468	-8,590	-5,857	2,73

Solutréen : grotte Rochefort et abri Fritsch

En observant les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ obtenues sur les cinq spécimens de la grotte Rochefort, on constate une très faible amplitude entre les valeurs minimales et maximales sur chacune des séquences isotopiques (tableau 22). Ayant interprété, chez les rennes, un signal du carbone de faible amplitude comme étant le résultat d'une alimentation relativement stable au cours d'un cycle annuel, on interprétera ici le signal alimentaire de la même façon chez le cheval. De plus, les valeurs issues des carbonates sont relativement similaires à l'échelle interindividuelle car les moyennes sont très proches d'un individu à l'autre : -11‰ (R-7734), -10,9‰ (pour R-6822 et R-6292) et -10,7‰ (pour R-5378 et R-2367). Ces résultats sont cohérents avec les données archéologiques : les individus proviennent d'une seule et même occupation solutréenne à la

grotte Rochefort, leur régime alimentaire semble être similaire, ils pourraient donc provenir d'une même population car chassés sur une courte période.

À l'abri Fritsch, le spécimen provenant de couche 7a (occupation solutréenne) présente une faible amplitude des valeurs isotopiques du carbone et des valeurs légèrement supérieures, situées autour de -10,5 ‰ de moyenne (tableau 22).

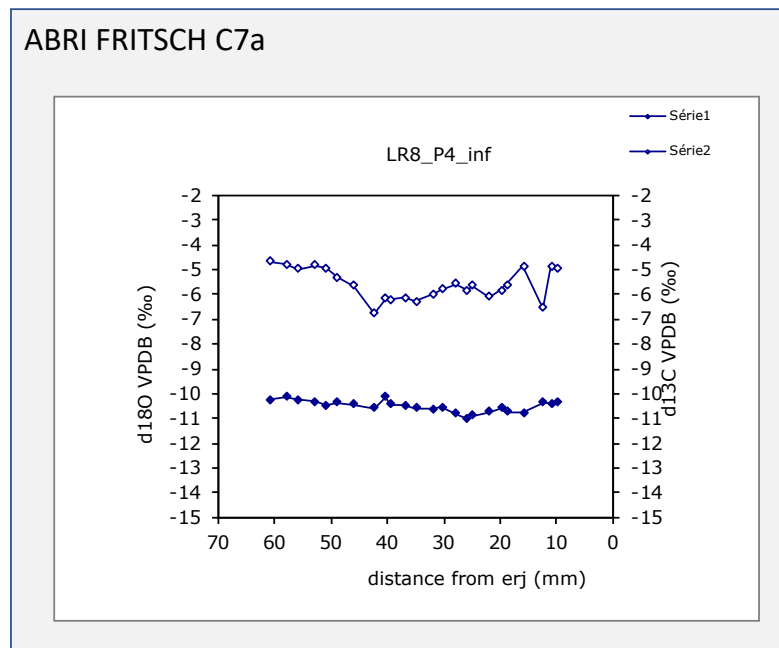


Figure 50 : profils isotopiques du carbone et de l'oxygène chez les spécimens de la couche 7a à l'abri Fritsch

On retrouverait donc une certaine stabilité du comportement alimentaire chez le cheval au Solutréen.

Les valeurs de l'oxygène dessinent des courbes sinusoïdales à l'abri Fritsch et à la grotte Rochefort : les valeurs les plus élevées décroissent pour atteindre les valeurs les plus basses qui remontent pour atteindre les valeurs les plus élevées (figure 50). On observait des tendances similaires chez les rennes étudiés qui présentent des variations de $\delta^{18}\text{O}$ selon un cycle annuel. Or les chevaux sont hypsodontes et les couronnes sont hautes et représentent de plus grandes séquences de minéralisation des dents (plusieurs cycles annuels parfois). Chez les chevaux, les variations de l'oxygène enregistrées dans la bioapatite de l'émail dentaire reflètent les variations de l'oxygène de l'eau météorologique consommée par les chevaux (Bryant *et al.*, 1887 ; Pryor *et al.*, 2014). La source d'eau qui se situe actuellement à proximité de la grotte Rochefort est une rivière : l'Erve. Elle coule en contrebas des parois rocheuses qui abritent

l'occupation solutréenne et traverse le « canyon » de Saulges (Mayenne) où se trouvent de nombreuses occupations du Paléolithique. Or, si l'on revient aux données isotopiques de l'oxygène, on constate que l'amplitude du signal $\delta^{18}\text{O}$ varie d'un individu à l'autre entre 1,6‰ et 2,3‰. Cette faible amplitude peut marquer des valeurs en oxygène qui sont lissées. En effet, le signal peut être affaibli par une source en eau courante et non stagnante : plusieurs sources d'eau peuvent se mélanger dans une rivière comme l'Erve ; par exemple l'eau des ruisseaux qui s'y jettent, l'eau de pluie, l'eau de la neige qui y fond (Britton *et al.*, 2023 ; Ecker *et al.*, 2013).

Les chevaux semblent donc avoir une alimentation stable malgré des saisons qui sont relativement marquées. Ces faibles variations du taux de carbone reflètent probablement les variations du taux de carbone des plantes selon les saisons, dans la vallée de l'Erve et dans la vallée de la Creuse. Le cheval n'étant pas un animal entreprenant de très grandes migrations, on peut penser qu'il trouve localement de quoi se nourrir, le taux de carbone reflète la teneur en carbone dans les plantes au cours d'un cycle annuel.

Enfin, chez les chevaux chassés au Solutrén, les valeurs moyennes de $\delta^{13}\text{C}$ sont relativement proches de celles observées chez les rennes continentaux et certains rennes archéologiques. En effet, en moyenne, les valeurs se situent vers -11‰. Ici les chevaux rappellent les valeurs moyennes d'un renne de Forollhogna (F-18987) et d'un renne du niveau IV20 de Pincevent (PIV20-S112-123). Ces valeurs élevées sont interprétées chez le renne comme la signature isotopique du lichen. Or les rennes étant les seuls à pouvoir consommer du lichen, on s'interroge sur les végétaux ingérés par les chevaux qui ont consommé autre d'autres plantes riches en ^{13}C . On peut émettre l'hypothèse suivante : les chevaux peuvent avoir ingéré des branchages ou brindilles sur lesquelles il y avait du lichen. Des valeurs élevées en $\delta^{13}\text{C}$ peuvent refléter des paramètres environnementaux que l'on n'a pas encore identifié. Serait-ce une consommation de graminées qui marque ici ? On essaiera de répondre à cette question dans le prochain chapitre afin de mieux cerner le régime alimentaire des chevaux chassés au Solutrén.

Badegoulien : abri Fritsch

À l'abri Fritsch, nous avons pu échantillonner d'autres spécimens qui proviennent, cette fois des couches 4, 5 et 6 ; caractérisées comme étant des occupations badegouliennes. Pour rappel, nous avons échantillonné plusieurs spécimens par couche :

- Sur la couche 4, trois spécimens : LR1 et LR2 et LR6 (figure 51)

- Sur la couche 5a, deux spécimens : LR3 et LR4 (figure 52)
- Sur la couche 6, deux spécimens : LR5 et LR7 (figure 53)

Comme au Solutrén, les chevaux chassés par les badegouliens des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de très faible amplitude (entre les valeurs minimales et maximales). Les chevaux semblent avoir eu un comportement alimentaire stable.

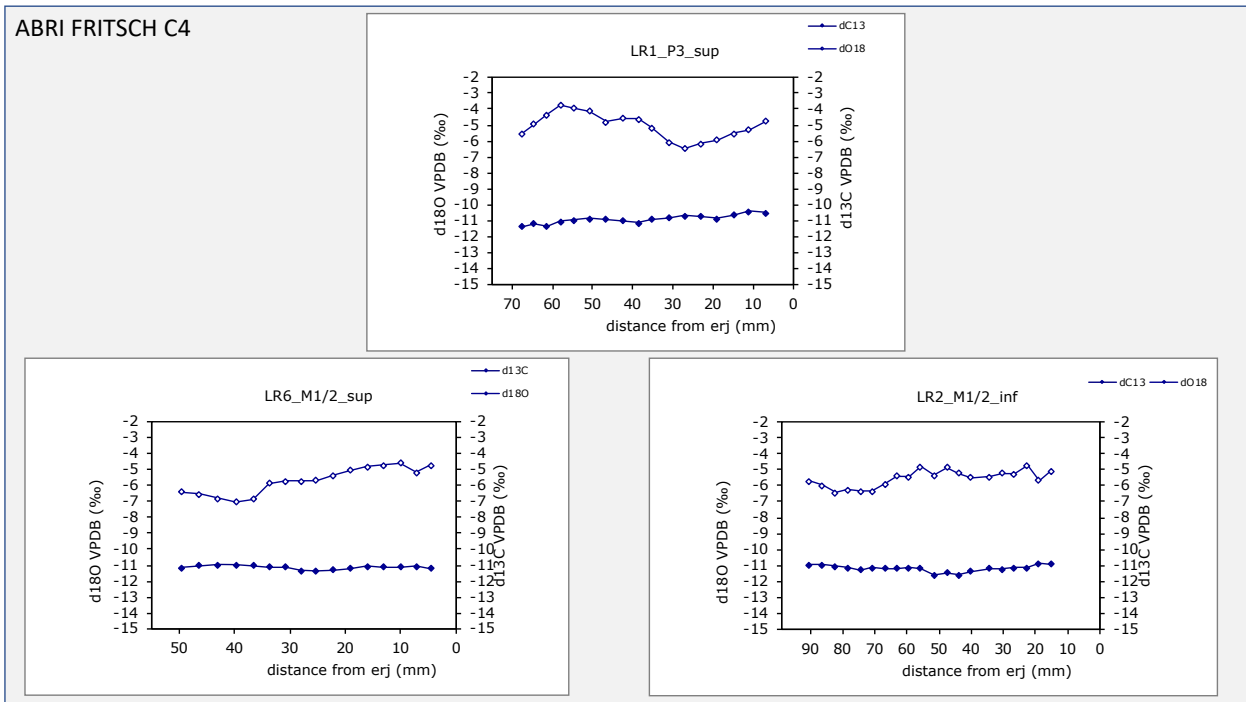


Figure 51 : profils isotopiques du carbone et de l'oxygène chez les spécimens de la couche 4 à l'abri Fritsch

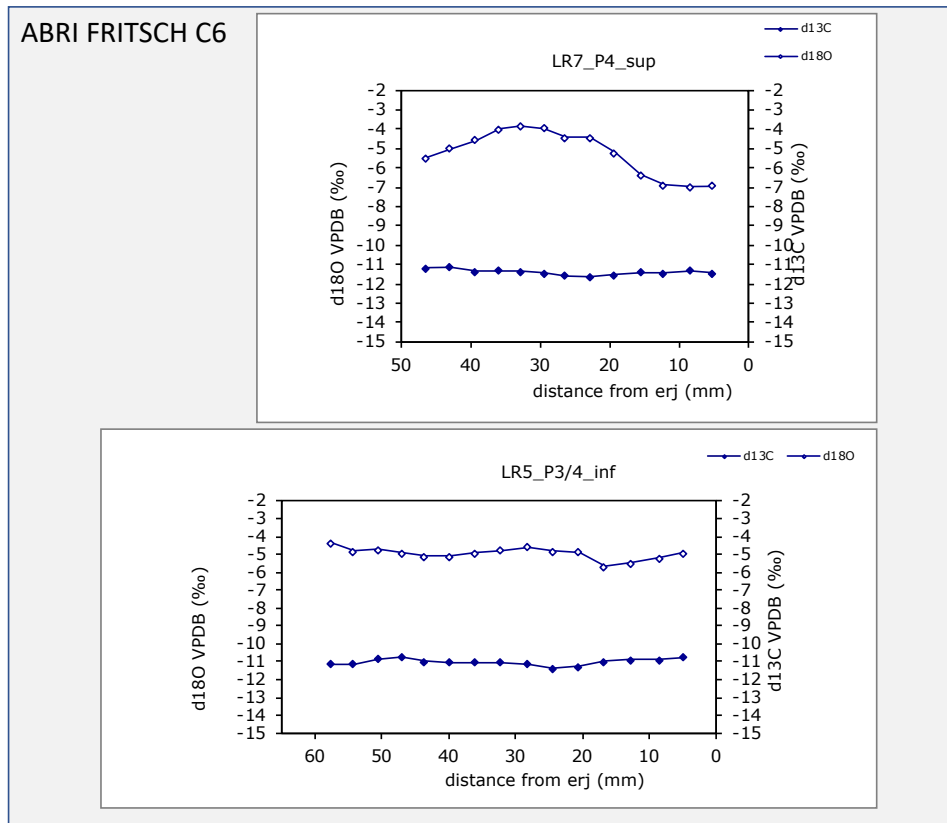


Figure 52 : profils isotopiques du carbone et de l'oxygène chez les spécimens de la couche 6 à l'abri Fritsch

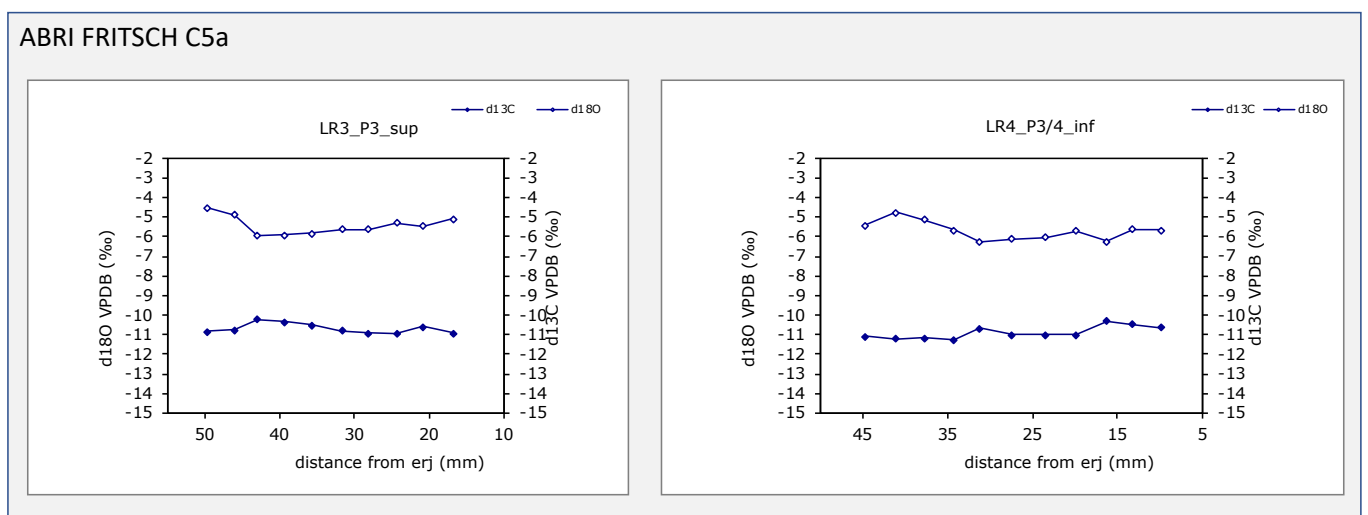


Figure 53 : profils isotopiques du carbone et de l'oxygène chez les spécimens de la couche 5a à l'abri Fritsch

Les courbes de $\delta^{18}\text{O}$ dessinent aussi des sinusoïdales et permettent d'identifier des variations du rapport de l'oxygène en fonction des saisons. Ici le rapport d'oxygène plus élevé correspondrait à la consommation en eau pendant la saison « chaude » (été - maximum -3,7‰) et les valeurs les plus basses pendant la saison « froide » (hiver - jusqu'à -7‰ ; tableau 22).

A l'abri Fritsch, les séquences isotopiques ne semblent pas se différencier les unes des autres que ce soit d'un individu à l'autre ou d'une couche à l'autre (couche solutréenne incluse). Ce résultat reflète des conditions environnementales stables tout au long de la période d'occupation des niveaux de l'abri par les solutréens puis badegouliens. En effet, dans la stratigraphie, les couches représentées ici par nos échantillons se suivent chronologiquement (Partie II - Chap.2).

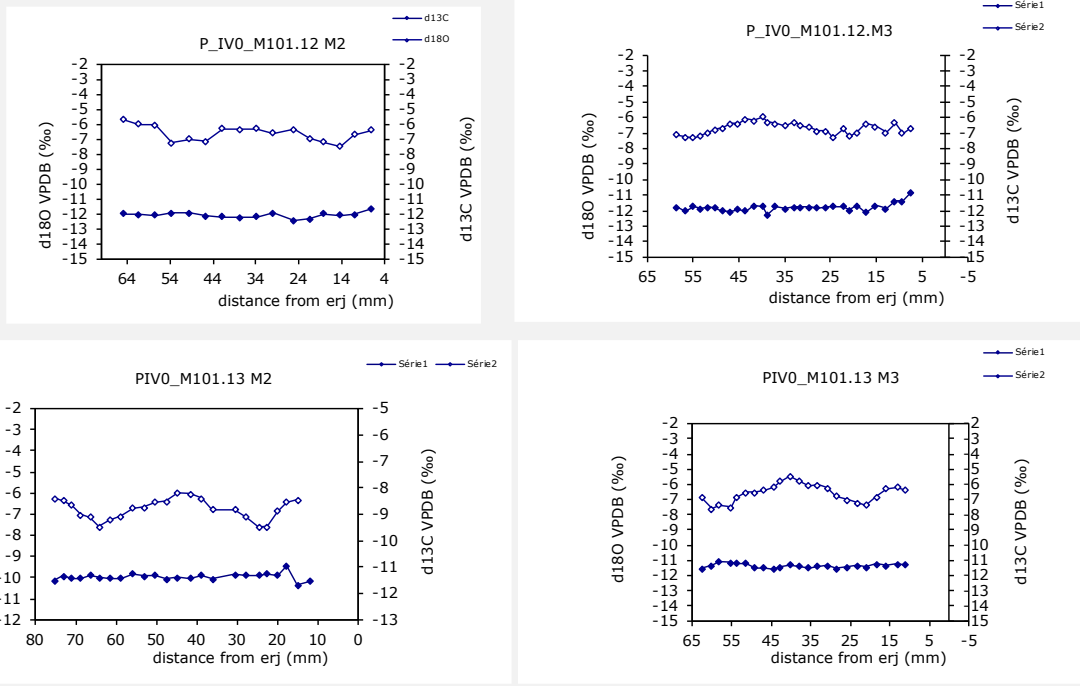
Si l'on compare les valeurs moyennes du $\delta^{18}\text{O}$ d'un site à l'autre, on observe un décalage d'1‰ des valeurs moyennes au Badegoulien par rapport au Solutréen : 4,34‰ à Rochefort contre 5,3‰ à l'abri Fritsch.

Magdalénien : Pincevent niveaux IV0 et IV20

À Pincevent tous les profils isotopiques présentent des valeurs de $\delta^{13}\text{C}$ de très faible amplitude. Ces résultats reflètent un comportement alimentaire stable chez l'herbivore généraliste qu'est le cheval.

D'après les courbes de $\delta^{18}\text{O}$, on peut observer des variations du rapport de l'oxygène au cours de l'année avec un rapport d'oxygène plus élevé en été (maximum -5,4‰) et plus bas l'hiver (jusqu'à -8,5 ‰ ; tableau 22 ; figure 54 et figure 55). Les valeurs d'un niveau à l'autre ne semblent pas non plus varier ce qui peut être interprété comme des conditions environnementales stables tout au long de la période d'occupation du site par les magdaléniens.

PINCEVENT IVO



PINCEVENT IVO

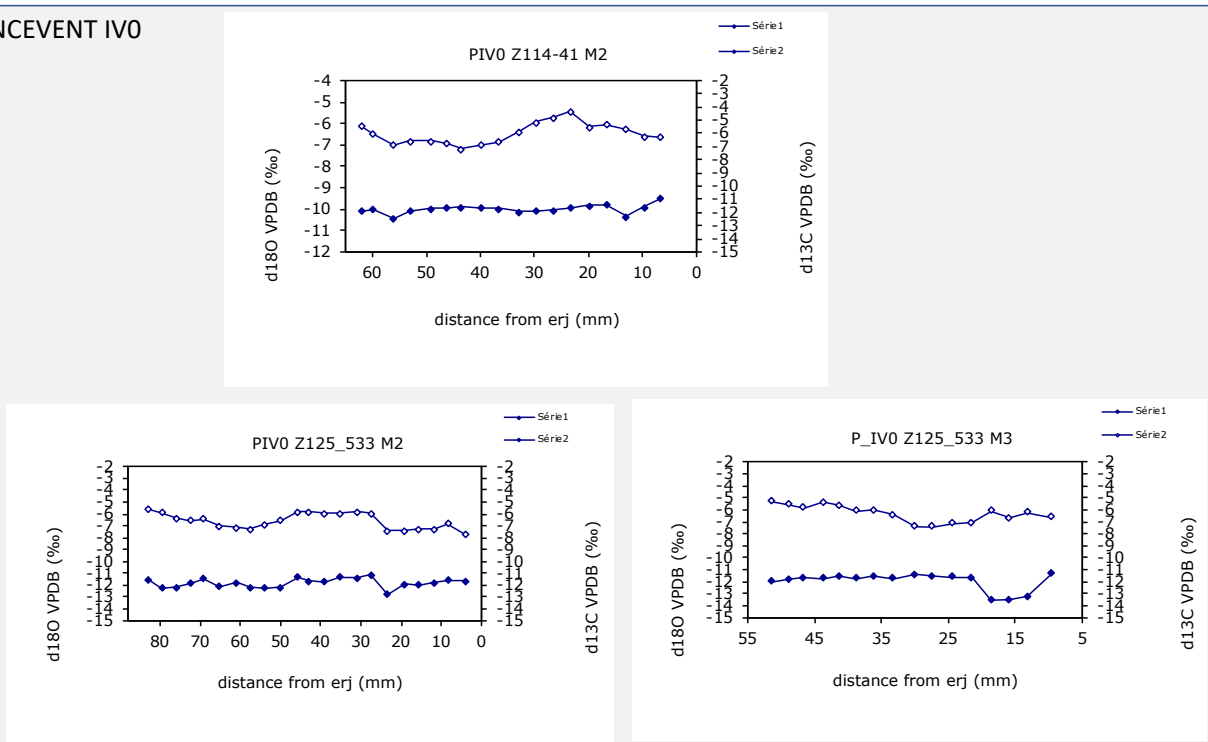


Figure 54 : profils isotopiques du carbone et de l'oxygène chez les spécimens du niveau IV0 de Pincevent

En comparant les valeurs moyennes du $\delta^{18}\text{O}$ d'une période à l'autre sur les sites du corpus, on observe un décalage d'environ 1‰ des valeurs moyennes au Magdalénien (6,6‰) par rapport à Fritsch (5,3‰) et de 2‰ par rapport au Solutréen de la grotte Rochefort (4,3‰).

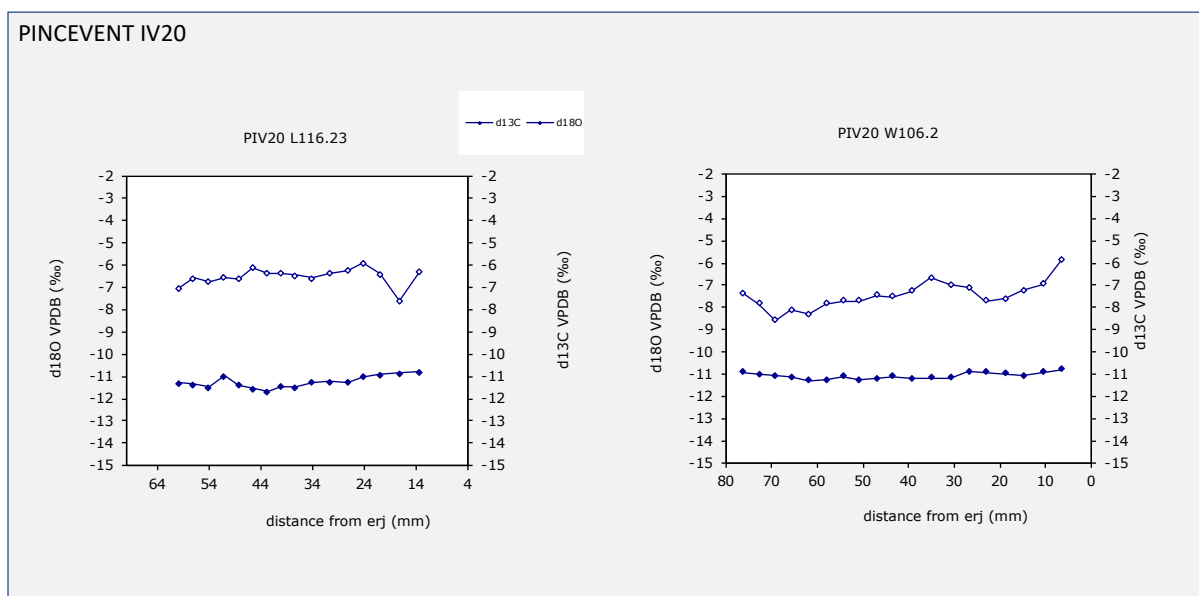


Figure 55 : profils isotopiques du carbone et de l'oxygène chez les spécimens du niveau IV20 de Pincevent

Pour conclure sur l'observation des valeurs isotopiques acquises lors de l'analyse séquentielle des dents de chevaux, on rappelle quelques constats qui nous permettent d'avancer certaines hypothèses (tableau 23). On constate :

- Que les dents des chevaux provenant des trois sites archéologiques présentent une bonne conservation des carbonates de l'émail. Les bonnes conditions de conservation ont permis la préservation de séquences isotopiques couplées du $\delta^{18}\text{O}$ et du $\delta^{13}\text{C}$.
- Que ces séquences présentent une stabilité constante du $\delta^{13}\text{C}$ (Catz, Bignon-Lau, Leduc, 2020). Ces taux isotopiques stables représentent la teneur en carbone dans les prises alimentaires des chevaux à travers 8 000 ans d'occupations humaines dans le Bassin parisien et ce, malgré les variations saisonnières (d'après les valeurs issues de nos analyses) et climatiques (d'après la littérature scientifique) enregistrées par les courbes du $\delta^{18}\text{O}$.
- Des décalages des valeurs moyennes du $\delta^{18}\text{O}$ d'un site à l'autre (1‰ entre grotte Rochefort et abri Fritsch puis entre abri Fritsch et Pincevent (c'est-à-dire 2‰ entre le Solutréen et le Magdalénien), sachant que les individus proviennent à chaque fois d'occupations qui se succèdent dans le temps (culturellement parlant). Alors, comment interpréter ces décalages dans le temps des teneurs en $\delta^{18}\text{O}$ dans l'alimentation des chevaux ?

Pour répondre à cette dernière question, on propose d'explorer la piste des variations climatiques de la fin du Pléistocène qui pourraient être à l'origine de décalage. Les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ directement liées aux précipitations ont été enregistrées ici à l'échelle de cycles annuels et archivées dans les dents de chevaux qui dépendent des sources directes en eau dans leur environnement. Sachant donc que l'émail a livré des signaux isotopiques de l'oxygène qui semblent être bien conservés, nous avons entrepris, avec beaucoup de prudence, une reconstitution des paléotempératures à partir des données de $\delta^{18}\text{O}$ acquises ici.

Tableau 23 : Synthèse des données isotopiques séquentielles acquises sur les chevaux archéologiques

PERIODE	SITE	N	$\delta^{13}\text{C}$ (‰)		$\delta^{18}\text{O}$ (‰)		Hypothèses alimentation
SOLUTREEN	GROTTE ROCHEFORT	3	-11 < ~ < -10,7	A < 1	-4,7 < ~ < -3,5	1,6 < A < 2,3	Peu de variations du $\delta^{13}\text{C}$ + valeurs hautes = stabilité régime alimentaire (généraliste) - browser ? Tendances du $\delta^{18}\text{O}$ = alimentation stable marquée par les variations de saisonnalité et du taux d'oxygène contenu dans l'eau météorologique
	ABRI FRITSCH C7a	2	~ -10,5 (c7a)		~-5,5	A ~ 2	
BADEGOULIEN	ABRI FRITSCH C4 à 6	4	-11,3 < ~ < -10,6		-5,6 < ~ < -4,9	1,3 < A < 3,1	Différences entre Rochefort et Pincevent = pas de recoupement des valeurs (cf. courbes)
MAGDALENIEN	PINCEVENT IVO	4	-12 < ~ < -11,2	0,7 < A < 4	~ 6,55	1,6 < A < 2,2	
	PINCEVENT IV20	4	~ -11,1	A < 1	-7,5 < ~ < -6,5	1,7 < A < 2,7	

IV.2.2.3. Modélisation des données isotopiques

Essai sur la concaténation des données des valeurs isotopiques séquentielles de la M2 et de la M3 chez le renne.

D'après les études sur la composition des dents chez le renne (*Rangifer tarandus*), la M2 et la M3 se minéralisent sur une période allant de six à huit mois (Hillson, 2005). De plus, la M3 sort un peu avant que la M2 ne termine sa minéralisation ce qui peut livrer des données redondantes sur la période de chevauchement. Sachant que les échanges avec l'environnement sont enregistrés au fur et à mesure que la dent se minéralise, en analysant la M2 et la M3 chez tout individu renne, l'isotopie séquentielle nous permet de couvrir environ un cycle annuel sur les données paléoenvironnementales. On peut modéliser les données isotopiques issues des deux dents pour couvrir un cycle annuel en associant les données de la M2 et de la M3 sur un sinus de période allant de douze à dix-huit mois. La modélisation des données sur le renne à l'échelle d'un cycle annuel résulte d'un algorithme développé par A. Messenger (2023).

Nous avons émis quatre hypothèses concernant les données sur la minéralisation observées des dents chez les deux espèces :

1. il y a une corrélation entre la saisonnalité et la concentration en oxygène dans l'émail dentaire;
2. les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ suivent une tendance sinusoïdale d'une période d'un an environ;
3. la M2 et la M3 ont des périodes de minéralisation qui se superposent avec la M2 qui commence sa croissance quelques mois avant la M3 ;
4. les dents se minéralisent à un taux similaire de croissance.

Partant de ces postulats, nous avons utilisé des outils numériques pour modéliser nos données (oxygène). Dans un premier temps, les données de la M2 et de la M3 de chaque individu sont associées sur un même graphique. On appelle cette étape la concaténation : cela correspond à apposer les données des deux dents sur une seule courbe comme s'il s'agissait d'une seule dent (*concatenate* en anglais, étapes 1 et 2 ; figure 56). La M3 commence sa minéralisation quelques mois après la M2, on propose donc de modéliser ce retard par un décalage nommé « δx ». On part du principe que les deux dents ont le même taux de croissance. La période de recoupement des données δx correspond à la période de fin de minéralisation de la M2 et de début de minéralisation de la M3 (étape 3, figure 56). La dernière étape consiste à initier un décalage des données de la M3 sur les données de la M2 correspondantes (étape 4, figure 56). Cela nous permet d'introduire la longueur « $T2$ » et « $T3$ » dans les paramètres de modélisation (chaque paramètre mesurant le taux de croissance sur un an). On nomme x la distance de la base de la dent et y la température estimée, les paramètres A , k , T_i , φ and δx permettent de minimiser les ordres de grandeur :

$$E = \sum_{i \in M2} \frac{\sqrt{-\frac{A}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_2} x_i - \varphi\right) + k - y_i}}{y_i} + \sum_{i \in M3} \frac{\sqrt{-\frac{A}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{T_3} (x_i + \delta x) - \varphi\right) + k - y_i}}{y_i}$$

où A est l'intervalle de température, k la température moyenne, φ est la phase sinusoïdale et où $T2$ et $T3$ représentent la croissance sur un cycle annuel. On transforme les données graphiquement pour qu'une période dure douze mois et que la température maximum soit atteinte en août (huitième mois).

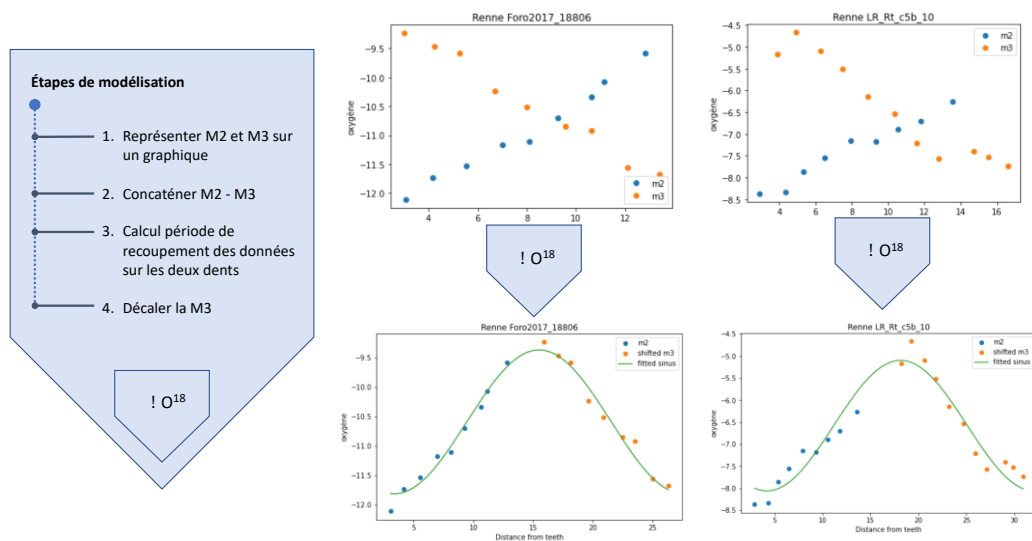


Figure 56 : Protocole de modélisation des données isotopiques étapes par étape – exemples de modélisation d’un renne actuel (Foro2017_18806) et d’un individu de la couche 5b (LR_Rt_c5b_10)

Une fois la modélisation des données théorisée, il a fallu passer au développement d’un algorithme afin d’automatiser le processus pour chaque individu de notre corpus qui présente des données sur la M2 et la M3 (cheval et renne compris). Antoine Messenger (Docteur en mathématiques appliquées de l’université de Brighton) en est l’auteur. Mais avant cela, il a fallu définir les limites de la méthode.

L’utilisation d’un modèle sinusoïdal implique que les valeurs recueillies lors de l’analyse isotopique séquentielle se répartissent cycliquement pendant l’année et que cette répartition des données soit prévisible. C’est le cas des données qui résultent de l’apport en oxygène chez l’animal car le taux d’oxygène varie annuellement en fonction des températures. L’apport en carbone, lui, est moins prévisible car les sources d’approvisionnement chez les herbivores varient tout au long de l’année ou peuvent rester très homogènes sans faire varier le taux isotopique dans la bioapatite. Ainsi les données ne sont pas toujours calquées sur les variations saisonnières en carbone dans l’environnement. Si nous n’avons aucun contrôle saisonnier des prises alimentaires de l’animal qui semble avoir un régime alimentaire très plastique tout au long de l’année, il est trop risqué de tenter de modéliser les données en carbone. C’est pour cette raison que l’on s’intéresse ici seulement aux données d’oxygène. Le code et les données sont disponibles et consultables sur internet (https://github.com/antoinemessenger/isotope_temperature).

Chez le cheval, ce travail de modélisation des données est moins pertinent car la période de minéralisation de la M2 et de la M3 sont beaucoup plus longues, étant un animal hypsodonte. L'échantillonnage d'une seule dent, si la hauteur de couronne est encore haute, offre un signal environnemental annuel à minima (Hillson, 2005). Nous avons appliqué l'algorithme sur les M2 et M3 de trois individus qui présentaient deux dents consécutives.

Reconstruction et modélisation des données de paléotempératures chez les chevaux

D'après les courbes de $\delta^{18}\text{O}$ chez les chevaux chassés au Paléolithique supérieur, on peut observer des variations des valeurs de l'oxygène au cours de l'année avec un rapport plus élevé en été (valeurs maximales) et plus bas l'hiver (valeurs minimales). Les valeurs moyennes du $\delta^{13}\text{C}$ ne varient pas d'un niveau d'occupation à un autre, à l'abri Fritsch ou à Pincevent. Cela reflèterait des conditions environnementales stables tout au long de la période d'occupation des sites du Bassin parisien entre le DMG et le Tardiglaciaire (Catz, Bignon-Lau et Leduc, 2020). Cela représente un résultat majeur par rapport aux données environnementales par rapport aux résultats attendus de variations plus marquées entre les deux périodes climatiques. Cela impliquerait notamment que les périodes d'occupation de sites au DMG sont moins froides et que certaines phases du Bølling sont moins chaudes. Cela impliquerait que pour les chevaux l'environnement fréquenté leur offrirait à chaque saison, des conditions idéales pour répondre à leurs besoins alimentaires. En effet, les valeurs du carbone ne varient pas plus d'1‰ d'un individu à l'autre et selon les niveaux à Pincevent comme à l'abri Fritsch ce qui permettrait d'émettre une seconde hypothèse : les chevaux auraient un régime alimentaire stable tout au long de l'année. Soit parce qu'ils ont sélectionné partout où ils allaient, les mêmes ressources en se déplaçant d'une niche écologique à une autre (Bignon-Lau *et al.*, 2019), soit les ressources étaient partout les mêmes dans l'environnement.

Afin de savoir si l'on peut réfuter nos hypothèses, nous avons tenté de reconstituer les données de paléotempératures enregistrées dans l'émail dentaire des chevaux de notre corpus. La bioapatite livre un signal couplé oxygène-carbone contrairement aux phosphates qui livrent un signal sur l'apport en oxygène uniquement. Les phosphates sont plus fidèles à l'apport initial en oxygène car ils se conservent mieux que les carbonates lors du processus de diagenèse (Hoppe *et al.*, 2004). Ainsi, les données isotopiques en oxygène livrées par nos analyses séquentielles ne sont pas fidèles aux données d'oxygènes piégées initialement dans l'émail. Pour pouvoir retrouver les températures du passé à partir de nos données, il nous faut

retrouver le taux en oxygène dans l'eau ($\delta^{18}\text{O}$) consommée par les chevaux étudiés. Plusieurs conversions sont donc nécessaires pour retrouver ces valeurs (figure 57 :

Première étape de conversion : V-PDB en V-SMOW

Les rapports isotopiques sur les carbonates sont donnés en unité « Vienna-PeeDeeBelemnite » (abréviation V-PDB) qui n'est pas une référence universelle. Nos données issues des analyses isotopiques séquentielles doivent donc être converties aux valeurs du standard international V-SMOW (*Vienna-Standard Mean of Ocean Water*, Coplen *et al.*, 1983) selon le calcul suivant :

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} = (1.03091 \times \delta^{18}\text{O}_{\text{V-PDB}}) + 30.91 \text{ ‰}$$

Avec $\delta^{18}\text{O}$ qui représente le rapport (delta) entre les isotopes O^{18} et O^{16} dans l'échantillon. Et V-SMOW l'unité de conversion recherché à partir des valeurs brutes données en V-PDB .

Seconde étape de conversion : carbonate en phosphate

Les valeurs isotopiques en oxygène proviennent de l'analyse des carbonates de l'émail dentaire. Il est nécessaire de convertir ces données en valeurs du phosphate car les rapports chimiques aux paléotempératures sont bien connus sur le phosphate pour les chevaux. La conversion des données isotopiques de l'oxygène des carbonates en phosphate se fait à l'aide des formules suivantes (Bryant *et al.*, 1996) :

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{P}} = 0,98 * \delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} - 8,5$$

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{P}} = 0,963 * \delta^{18}\text{O}_{\text{V-SMOW}} - 7,5$$

Le rapport isotopique noté $\delta^{18}\text{O}_{\text{P}}$ représente le rapport (delta) entre les isotopes O^{18} et O^{16} des carbonates de l'échantillon convertis en valeurs de phosphate.

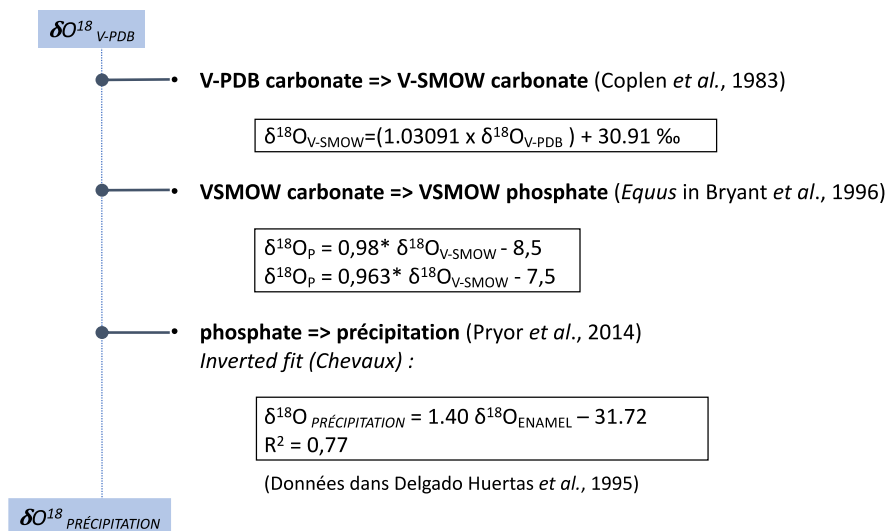


Figure 57 : Étapes de conversion des données brutes en paléotempératures

Troisième étape de conversion : phosphate en valeurs d'oxygène des précipitations.

La troisième étape de conversion doit être interprétée avec beaucoup de précautions car à chaque étape de conversion les calculs livrent des données avec des marges d'erreurs de plus en plus grandes. Cette étape consiste à convertir les valeurs de phosphate en valeurs d'oxygène des précipitations. Cela nous permettra de proposer à l'avenir des valeurs de températures annuelles à partir de cette dernière conversion. Le calcul des valeurs d'oxygène des précipitations provient de données sur le cheval dans Bryant *et al.*, 1996 et est le suivant :

$$\delta^{18}\text{O}_{\text{PRÉCIPITATION}} = 1.40 \delta^{18}\text{O}_{\text{ENAMEL}} - 31.72$$

$$R^2 = 0,77 \text{ (data in Delgado Huertas } et al., 1995)$$

Premier essai de modélisation par Antoine Messenger

Pour les chevaux, les travaux de conversion des données isotopiques en paléotempératures et les travaux de modélisation des données d'oxygène nous ont permis de mieux visualiser les variations du signal d'oxygène d'une couche à l'autre site. La figure 58 illustre nos résultats. Nous pouvons faire plusieurs observations en ce qui concerne l'interprétation des données. Premièrement, le modèle sinusoïdal semble bien s'adapter aux températures estimées. Ceci souligne l'importance d'utiliser des isotopes pour la modélisation des températures (1). De plus, un décalage des données de la M3 le long de l'axe des abscisses

permet la modélisation des données de la M2 et de la M3 sur une même sinus. Cela suggère que les deux dents présentent les mêmes tendances.

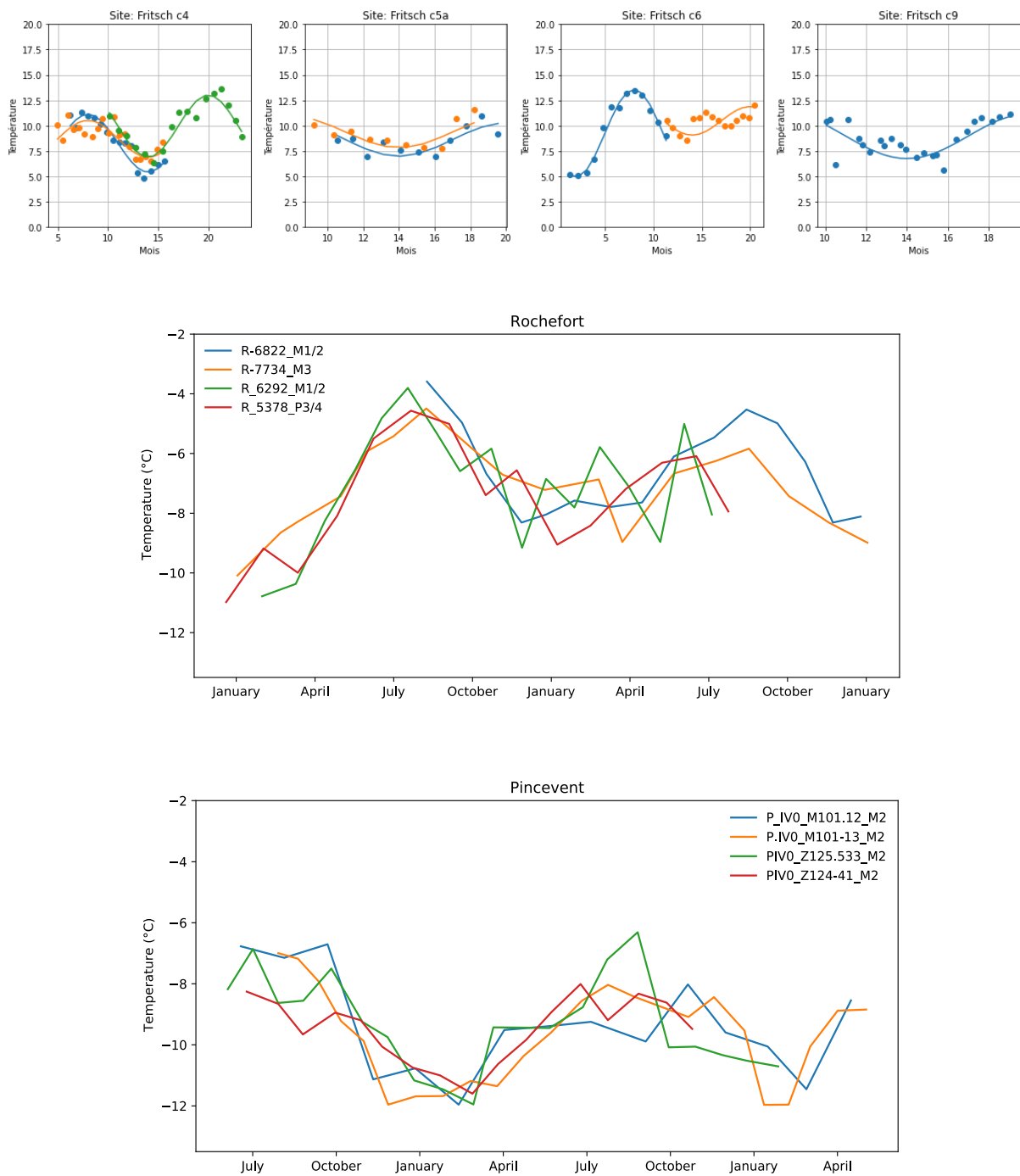


Figure 58 : Reconstitution et modélisations des paléotempératures à partir des profils isotopiques de l'oxygène chez les chevaux de l'abri Fritsch, de Rochefort et de Pincevent.

Enfin, les modélisations sinusoïdales individuelles et associées aux données isotopiques sont assez similaires les unes des autres ce qui permet de montrer que les variations de températures d'un profil à l'autre varient peu (quelques ‰). Pour conclure, comme le soulignent certains

chercheurs (Pryor *et. al*, 2014), il faut prendre en compte l'irréductibilité des incertitudes qui résultent de la conversion des données isotopiques en températures. Et étant donné le coût important pour chaque dent analysée, nos résultats permettent de justifier l'analyse d'une seule dent d'équidé pour l'estimation des températures sur un site à l'avenir.

D'après K. Britton, les paléotempératures proposées ci-dessus (graphique 1) ne sont pas exploitables en l'état. L'approche ne prend pas en compte une étape qui incorpore des erreurs dans nos calculs. Nous avons demandé de l'aide à Sarah Pederzani qui développait ses recherches sur le sujet à l'université d'Aberdeen pour mieux comprendre la modélisation.

Deuxième essai de modélisation, par Sarah Pederzani

Pour des estimations de paléotempératures plus fiables, nous avons fait appel à Sarah Pederzani, sur les conseils de K. Britton, pour qu'elle les modélise. Voici le protocole proposé par S. Pederzani:

*“As the majority of oxygen isotope data generated were from carbonate oxygen isotope analysis, these intra-tooth data were selected for palaeotemperature estimations. However, as the majority of modern calibration data and conversion equations rely on phosphate data, it was first necessary to convert carbonate oxygen isotope data to predicted phosphate $\delta^{18}O$ data. This was achieved using the equation $\delta^{18}O_{phos} = -7.5 + 0.95 \times \delta^{18}O_{carb}$, which was made from a combination of previously published calibration data (using the citations from Pederzani *et al.* 2023) and the paired phosphate-carbonate data generated in this study.*

*Following the methods described in Pederzani *et al.* 2023, the predicted phosphate data were then corrected for amplitude damping effects of enamel mineralization and sampling by application of an inverse model (Passey *et al.* 2005) using the code published in Pederzani *et al.* 2023 in order to obtain estimated peak summer and winter trough values of $\delta^{18}O$ inputs ingested by the animal (i.e. seasonal maxima and minima predicted input values). Seasonal (summer and winter) palaeotemperature and mean annual temperature (MAT) estimates were then made following the methods described in Pryor *et al.* 2014. MAT values were calculated directly from unmodeled means (as described in Pederzani *et al.* 2021). However, for summer and winter temperatures, the modelled values (estimated inputs, as described above) were used. In each instance, estimates of drinking water ($d_{18}O_{dw}$; required for the temperature models) were made using the equation $\delta^{18}O_{enamel-phosphate} = d_{18}O_{dw} * 0.62 + 22.14$, which is based on equids,*

as described in Pederzani et al. 2021. Temperature conversion uses GNIP data from Eurasian stations with a different equation for summer, winter, and mean annual data with the following equations: $MAT = \delta^{18}O_{dw} * 0.52 - 13.87$, $T_{winter} = \delta^{18}O_{dw} * 0.53 - 11.50$, $T_{summer} = \delta^{18}O_{dw} * 0.46 - 15.72$, as described in Pederzani et al. 2024.”

(pas de numéro de page encore car publication à venir - Catz et al., monographie du niveau IV0 de Pincevent)

Nous ne pouvons présenter ici que les données obtenues à ce jour. Il s’agit des données sur Pincevent. Elles sont présentées rapidement ici car les données seront publiées dans la prochaine monographie du niveau IV0 de Pincevent :

- Le calcul des valeurs d’oxygène du phosphate $\delta^{18}O_{phos}$ a permis de vérifier la fiabilité des valeurs issues de l’analyse des carbonates. Les données en oxygènes issues de notre étude ont donc été utilisées afin de proposer une estimation des températures moyennes annuelles (*MAT* ici en anglais signifie : *mean annual temperature*).

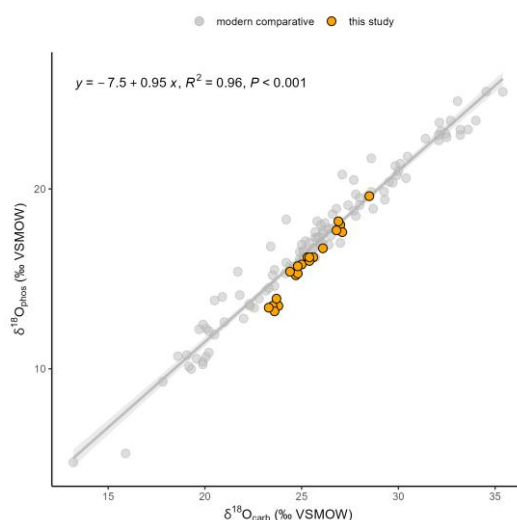


Figure 59 : comparaison des valeurs du phosphate et valeurs du carbonate issues de notre étude avec celles d’un référentiel moderne.

- Si on note une légère variation des valeurs entre les deux niveaux à Pincevent (environ 1°C de moins sur le niveau IV20 ($IV20 = 4.7 \pm 2.5^\circ C$; $IV0 = 3.7 \pm 3.3^\circ C$), les résultats indiquent que les MAT sont relativement similaires (Figure 59, 60, 61)

- Le nombre d'individus étudiés reste faible mais d'un niveau à l'autre on observe des valeurs similaires avec des températures par saisons : qui sont plus basses aussi sur le niveau IV20 avec des été plus frais (IV20 = $10.4 \pm 4.5^\circ\text{C}$; IV0 = $12.4 \pm 3.3^\circ\text{C}$) et des hiver plus froids (IV20 = $-3.2 \pm 3.3^\circ\text{C}$; IV0 = $-0.7 \pm 2.8^\circ\text{C}$) si l'on compare à la région aujourd'hui.

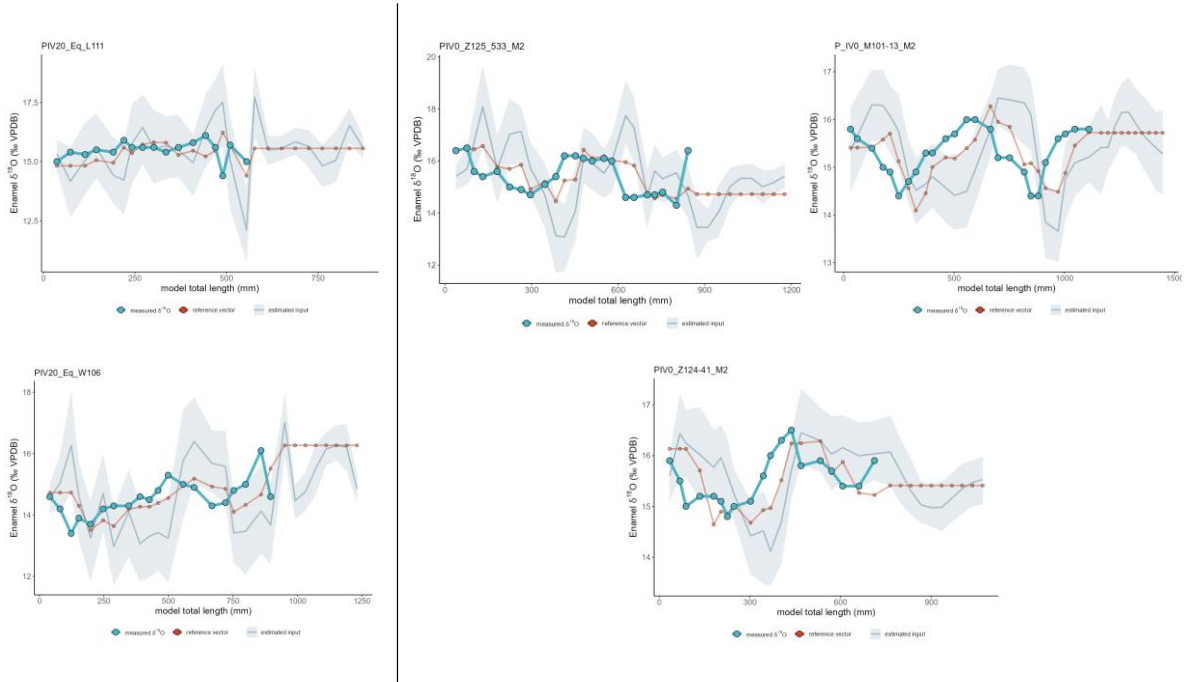


Figure 60 : Modèles générés selon la méthode de l' « inverse model » de Passey *et al.* 2005, par S. Pederzani pour comparer les profils isotopiques chez les chevaux de deux niveaux de Pincevent.

Sur les deux niveaux, on retrouve une amplitude des températures plus basse qu'aujourd'hui (entre 12°C and 13°C).

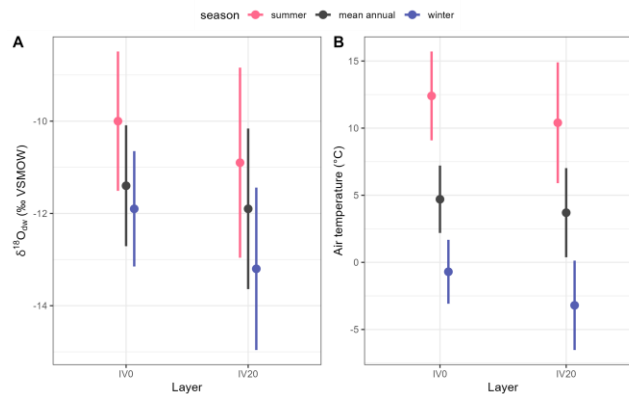


Figure 61 : MAT pour les niveaux IV0 et IV20.

CONCLUSION : sur les analyses isotopiques

L'analyse isotopiques séquentielle de l'oxygène et du carbone et la modélisation des données sur l'oxygène ont apporté des résultats qui nous permettent de s'interroger sur le comportement alimentaire des rennes et des chevaux du Paléolithique supérieur à aujourd'hui.

Chez les rennes

- On a pu mettre en évidence une saisonnalité du comportement chez les rennes continentaux (modernes et archéologiques) en identifiant une corrélation négative entre les valeurs de $\delta^{18}\text{O}$ et de $\delta^{13}\text{C}$. D'après les travaux de K. Britton, ces tendances sont caractéristiques chez les rennes dont l'alimentation est rythmée par les saisons.
- On a constaté que les valeurs du carbone diffèrent nettement d'une sous-espèce à l'autre : les valeurs en carbone sont plus élevées dans l'alimentation des rennes continentaux (archéologiques et modernes confondus) que chez les rennes insulaires. Ces derniers ne marquent pas un signal élevé en carbone ce qui nous laisse penser qu'ils ne consomment pas de lichen pendant la période hivernale. Les données écologiques collectées sur l'archipel du Svalbard confirment une très faible présence du lichen dans l'environnement dans cette zone géographique (Pedersen *et al.*, 2021 ; Hansen *et al.*, 2007)

Comment expliquer cette différence du signal de carbone contenu dans l'alimentation des rennes du corpus ?

- Les résultats et les graphiques issus de modélisation mettent bien en valeur la variabilité du signal de $\delta^{18}\text{O}$ observée sur un cycle annuel.
- On observe une nette différence entre les séquences de $\delta^{18}\text{O}$ des rennes modernes par rapport à celles des rennes archéologiques : les valeurs sont plus élevées chez les rennes archéologiques et ne se recoupent pas avec celles des rennes modernes.

On peut émettre l'hypothèse suivante pour expliquer la différence du taux d'oxygène contenue dans l'alimentation des rennes dans le temps : les variations environnementales sont liées à des facteurs météorologiques (températures, précipitations et humidité) qui influent sur la quantité d'oxygène contenue dans les plantes.

Chez les chevaux

- On a pu mettre en évidence une stabilité du régime alimentaire chez les chevaux du Paléolithique supérieur (stabilité des valeurs en $\delta^{13}\text{C}$).
- On a aussi remarqué des valeurs isotopiques du carbone similaires chez les rennes continentaux et les chevaux du Paléolithique.

Comment expliquer ces similarités observées dans l'alimentation des rennes et des chevaux ?

- Les résultats et les graphiques issus de modélisation mettent bien en valeur la variabilité du signal de $\delta^{18}\text{O}$ observée sur un cycle annuel ou plus.
- Les signaux du $\delta^{18}\text{O}$ issus des carbonates de l'émail dentaire chez les chevaux étant bien conservés, nous avons pu essayer, avec prudence, de reconstituer les paléotempératures.

Ce qui amène à se poser la question suivante, les résultats obtenus sont-ils en accord avec les données paléoenvironnementales de la période étudiée ?

Nous poursuivrons l'exploration de ces résultats et des hypothèses proposées à la lumière des analyses de texture des micro-usures dentaires qui suivent dans le prochain chapitre (Partie IV, chapitre 3), puis la confrontation des résultats avec les données archéologiques et paléoenvironnementales vont nous permettre d'apporter des réponses à ces questionnements (conclusion).

CHAPITRE 3 – Tribologie - Analyses de texture des micro-usures dentaires

À travers une analyse de textures des micro-usures dentaires (ATMUD), nous venons apporter ici, des précisions sur le comportement alimentaire des chevaux et des rennes paléolithiques. Nous avons déjà pu reconstituer certains comportements via des analyses isotopiques qui ont permis :

- de mettre en évidence la plasticité du comportement alimentaire des rennes paléolithiques et modernes de notre corpus ;
- de proposer une reconstitution des paléotempératures au Paléolithique supérieur à partir des données d'oxygène chez le cheval.

Les données issues de l'analyse isotopique combinées aux données issues de l'analyse de texture des micro-usures dentaires nous permettront de préciser les régimes et les comportements alimentaires (et spatiaux ; Catz, 2015 ; Catz *et al.*, 2019). Car l'ATMUD, nous fournit des informations d'ordre paléoenvironnemental et paléoécologique. Elle consiste à caractériser la texture des traces laissées par les aliments mastiqués lors des derniers jours de la vie de l'animal en combinant une haute résolution en 3D et l'utilisation d'algorithmes pour calculer des variables texturales. Le principe biologique exploité ici est le suivant : les aliments mastiqués (feuilles, graminées, etc.) par l'organisme possèdent des défenses physiques qui marquent l'émail dentaire et laissent des micro-usures visibles au microscope. Ces micro-usures sont rapidement oblitérées par de nouvelles, mais à la mort de l'animal elles informent des prises alimentaires (une quinzaine de jours ; figure méthodo). La précision du signal retranscrit par l'ATMUD permet de distinguer :

- les variations du régime alimentaire entre individus au sein d'une même population (selon les classes d'âges, le genre ; Merceron *et al.*, 2010)
- la saisonnalité dans les comportements alimentaires au sein d'une population ou chez une espèce (Merceron *et al.*, 2010 ; Merceron *et al.*, 2014 ; Berlioz *et al.*, 2017)
- les variations du régime alimentaire interspécifiques (Teaford & Walker, 1984 ; Ungar, Merceron & Scott, 2007 ; Calandra Göhlich et Merceron, 2008 ; Calandra & Merceron, 2016).

L'interprétation des observations archéologiques se fait grâce à des référentiels (Scott, 2012 ; Bignon-Lau *et al.*, 2017). Il s'agit alors d'appliquer la méthode utilisée sur des spécimens modernes dont on connaît la saison d'abattage, l'âge et les habitudes alimentaires en fonction de l'environnement fréquenté pour comparer les données acquises sur les spécimens archéologiques dont on ne connaît pas ces variables.

Pour conduire une ATMUD, nous avons suivi le protocole développé par G. Merceron et ses collaborateurs (Merceron *et al.*, 2016 ; Ramdarshan *et al.*, 2017 ; Berlioz *et al.*, 2021 ;

annexe 4). Les individus ont été sélectionnés minutieusement pour constituer le corpus d'étude (voir ci-dessous). Le type d'analyse appliqué ici demande une grande qualité de conservation de la surface occlusale de la dent. Les dents trop abimées sont écartées, car des accidents taphonomiques tels que le gel, peuvent dégrader l'émail dentaire (lecture difficile des traces d'usures). Après sélection des dents, place au nettoyage et au moulage des surfaces occlusales. Par la suite, à Poitiers, au laboratoire Palevoprim (UMR 7262), nous avons scanné les surfaces à l'aide d'un microscope confocal (microscope confocal Leica DCN8) et calculé les variables texturales (voir-ci-dessous ; Catz, 2015 ; 2016). Le protocole d'analyse est détaillé en annexe (cf. annexe 4).

IV.3.1. Présentation des corpus d'étude

Le corpus d'étude est issu des mêmes populations échantillonnées pour l'isotopie. Pour l'ATMUD, les corpus sont plus fournis car le coût et le temps d'échantillonnage par individu sont moindres (comparés aux coûts des analyses isotopiques) : nous ne présentons dans un premier temps que les corpus qui ont été constitués pendant notre thèse en collaboration avec Olivier Bignon-Lau ; et utiliserons des données acquises auparavant et déjà publiées pour la plupart avant ou au début de la thèse. En effet, certaines données ont déjà été publiées sur des corpus archéologiques (Catz *et al.*, 2020 ; Bignon-Lau *et al.*, 2021) et certaines données sur les rennes modernes (Bignon-Lau *et al.*, 2017 ; Merceron *et al.*, en cours). Nous utiliserons ces données pour alimenter nos réflexions sur le régime alimentaire des rennes et chevaux du Paléolithique.

IV.3.1.1. Corpus de référence

Rennes modernes

Pour renforcer la méthode d'ATMUD nous avons participé, depuis 2015, au développement d'un référentiel sur des populations de rennes modernes provenant de la péninsule de Svalbard. Il s'agit des mêmes populations norvégiennes de rennes présentées ci-dessus. Un premier référentiel sur les populations de rennes continentaux d'Hardangervidda et de Knutshø est paru en 2017 (Bignon-Lau *et al.*, 2017) et la population de rennes de forêt de Forollhogna a été échantillonnée aussi. Parmi les spécimens modernes de Norvège, ils ont tous été chassés pendant la période qui s'étend d'août à septembre ; sauf une partie de la population d'Hardangervidda. L'avantage d'avoir des échantillons de différentes populations, c'est qu'ils peuvent illustrer la plasticité du régime alimentaire chez une même espèce :

- les rennes de toundra alpine continentaux (n = 102 ; Bignon-Lau *et al.*, 2017) provenant des régions d'Hardangervidda et Knutshø situées au sud de la Norvège nous a permis d'émettre une hypothèse sur l'ajustement du régime alimentaire par rapport à la disponibilité des ressources dans le paysage et la densité de population au sein d'une même région.
- Les rennes de forêt provenant d'une région continentale (Forollhogna, n = 55) nous permettent d'affiner nos observations sur la plasticité du régime alimentaire chez le renne de forêt.
- Les rennes de toundra provenant de trois vallées de l'archipel du Svalbard (Colesdalen, n = 420 ; Sassendalen n = 503 ; Grøndalen, n = 79)

Chevaux modernes

D'après la littérature sur le régime alimentaire du cheval il est généraliste, bien que systématiquement une forte consommation de graminées soit observée (Duncan, 1992 ; Bignon, 2008). Le système digestif à *caecum* des équidés conduit d'ailleurs plus particulièrement ces animaux à privilégier les végétaux aux défenses physiques importantes (graminées, joncs, roseaux, etc.). En conséquence, ils doivent s'abreuver souvent car les plantes ingérées n'ont pas une forte teneur en eau comme on a pu le rappeler dans le chapitre précédent (sur l'isotopie).

Les données sur des chevaux actuels sont empruntées et proviennent d'une base de données constituée par O. Bignon-Lau. Les collections ostéologiques de différents musées d'Europe ont été exploitées pour constituer ce référentiel :

- des chevaux provenant d'Exmoor et d'Islande (Musée de Zoologie, Copenhague) ;
- des chevaux de Prjevalski (chassé dans le désert de Gobi au début du 20^{ème} siècle ; Bignon-Lau *et al.*, 2019) ;
- des chevaux de Mongolie (rapportés par Antoine Zazzo) ;
- des chevaux du Groenland (Musée de Zoologie, Copenhague).

IV.3.1.2. Corpus archéologique (Solutrén, Badegoulien)

Corpus badegoulien (Abri Fritsch, Chézy-sur-Marne)

Le corpus badegoulien comprend des dents de rennes et de chevaux qui proviennent du site archéologique de l'abri Fritsch (tableau 24). Nous avons sélectionné les dents qui présentent des surfaces occlusales en bon état dans les différentes sous-couches. Nous avons pu observer

que les spectres fauniques diffèrent d'une couche badegoulienne à l'autre, ce qui explique le nombre de dents de chevaux plus important provenant de la couche 4 et le nombre plus important de rennes sur la couche 5 par (voir chapitre 2 Partie II). Nous avons échantillonné les spécimens dans la réserve des collections du musée Argentomagus avec O. Bignon-Lau en 2015 (Rapport PCR).

Tableau 24 : Corpus archéologique des niveaux badegouliens de l'abri Fritsch, individus rennes et chevaux.

Badegoulien			
	Couches/niveaux	Rangifer	Equus
Abri Fritsch	c4	4	49
	c5a	15	11
	c5b	30	13
	c5c	1	-
	c5d	14	1
	csc	-	1
	c6	2	-

Corpus solutréen (Abri Fritsch et Grotte Rochefort)

Le corpus solutréen comprend des spécimens qui proviennent de deux sites archéologiques (tableau 25). À la Grotte Rochefort nous avons sélectionné 25 spécimens rennes et 41 spécimens chevaux. Pour la plupart des individus rennes, les dents représentées sont des dents isolées et ne présentaient pas toutes des surfaces occlusales bien conservées.

À l'abri Fritsch, nous avons sélectionné 14 dents de rennes seulement car aucune dent de cheval n'a été déterminé à ce jour dans les niveaux solutréens (Bayle, 2000).

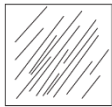
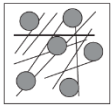
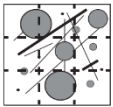

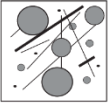
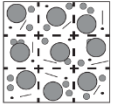
Tableau 25 : Corpus archéologique solutréen de rennes et chevaux de l'Abri Fritsch et de la grotte Rochefort

Solutréen			
	Couches/niveaux	Rangifer	Equus
	c7	1	-
	c7b	3	-
	c7c	1	-
Abri Fritsch	c8	5	-
	c8b	2	-
	c8e	1	-
	c9	6	-
Rochefort	Niv.4/	25	41

IV.3.2. Résultats et analyse des données

On notera, ici, que quatre variables texturales nous renseignent principalement sur le régime alimentaire des herbivores : la complexité (*Asfc* : *Area-scale fractal complexity*), l'anisotropie (*epLsar* : *exact proportion of Length-scale anisotropy*), l'hétérogénéité (*HAsfc* : *Heterogeneity of area-scale fractal complexity*) et le volume textural de remplissage (*Tfv*). Nous observons surtout les deux premiers qui permettent de projeter les valeurs moyennes et écarts-types sur un graphique afin de les comparer aux données de référentiel sur les ruminants (Scott *et al.*, 2006 ; tableau 26).

Tableau 26 : Régimes alimentaires et variables texturales en fonction des aliments ingérés.

Régimes alimentaires	Texture des micro-usures dentaires			Aliments principaux
	Anisotropie (<i>epl_{sar}</i>)	Complexité (<i>Asfc</i>)	Hétérogénéité de la complexité (<i>HAsfc</i>)	
Paisseurs				Graminées
Intermédiaires	+ ↑ ↓ -	- ↑ ↓ +	- ↑ ↓ +	Graminées, feuilles, mousses, écorces
Folivores				Feuilles, mousses, fruits jeunes pousses herbacées

IV.3.2.1. Description des données chez les rennes

Les rennes modernes

D'après l'observation des variables texturales, on remarque des différences de comportement alimentaire chez les rennes de Norvège :

- les rennes de toundra alpine continentaux (*Rangifer t. tarandus*) se rapprochent dans le spectre alimentaire des ruminants, des mangeurs mixtes
- les rennes de toundra alpine de l'archipel du Svalbard (*Rangifer t. platyrhynchus*) – toutes provenances confondues - sont des paisseurs bien prononcés (figure 62)
- tandis que les rennes de forêt (Forollhogna, *Rangifer t. tarandus*) se situent entre les folivores et les herbivores généralistes.

Ces différences, nous les avons déjà observées dans le précédent chapitre à l'échelle d'un cycle annuel chez le renne. Ce qui nous intéresse ici, c'est que le signal est plus court que celui obtenu par l'analyse isotopique. En effet, avec l'ATMUD, on peut interpréter le régime alimentaire à un instant précis de l'année : au moment de la mort de l'animal. Les rennes modernes échantillonnés pour cette étude ont été tués pendant la période août-septembre, donc lors de la même saison. Ceci met en évidence un large spectre alimentaire au sein d'une même espèce sur une période précise de l'année (2 mois). Si les populations se différencient, ici, par les environnements qu'elles fréquentent, on peut interpréter les données de l'ATMUD plus

précisément : les rennes continentaux consomment moins de graminées que les rennes insulaires (figure 62). L'anisotropie serait-elle un marqueur de contraintes alimentaires plus importantes chez les rennes insulaires ? On rappelle que les données environnementales sur l'archipel du Svalbard nous informent sur les prises alimentaires des rennes qui ont à disposition des graminées plutôt que du lichen (Pedersen *et al.*, 2021). Les rennes continentaux présentent une alimentation plus diversifiée (plus forte complexité de texture des micro-usures dentaires chez les rennes continentaux). La complexité de texture des micro-usures dentaires souligne cette hypothèse d'un régime alimentaire peu diversifié chez les rennes de l'archipel du Svalbard. Cette région située au-delà du cercle polaire présente des conditions climatiques plus contrastées que sur le continent Norvégien et ces conditions n'offrent pas les mêmes ressources végétales aux rennes qui fréquentent des environnements moins couverts et moins riches qu'à de plus basses latitudes (végétation au ras du sol type saules nains, peu d'ensoleillement, longues saisons hivernales, couverture neigeuse plus importante). Il semble donc que l'environnement et le climat restent des facteurs d'influence sur le comportement des rennes norvégiens qui présentent différents comportements alimentaires selon leur région de provenance.

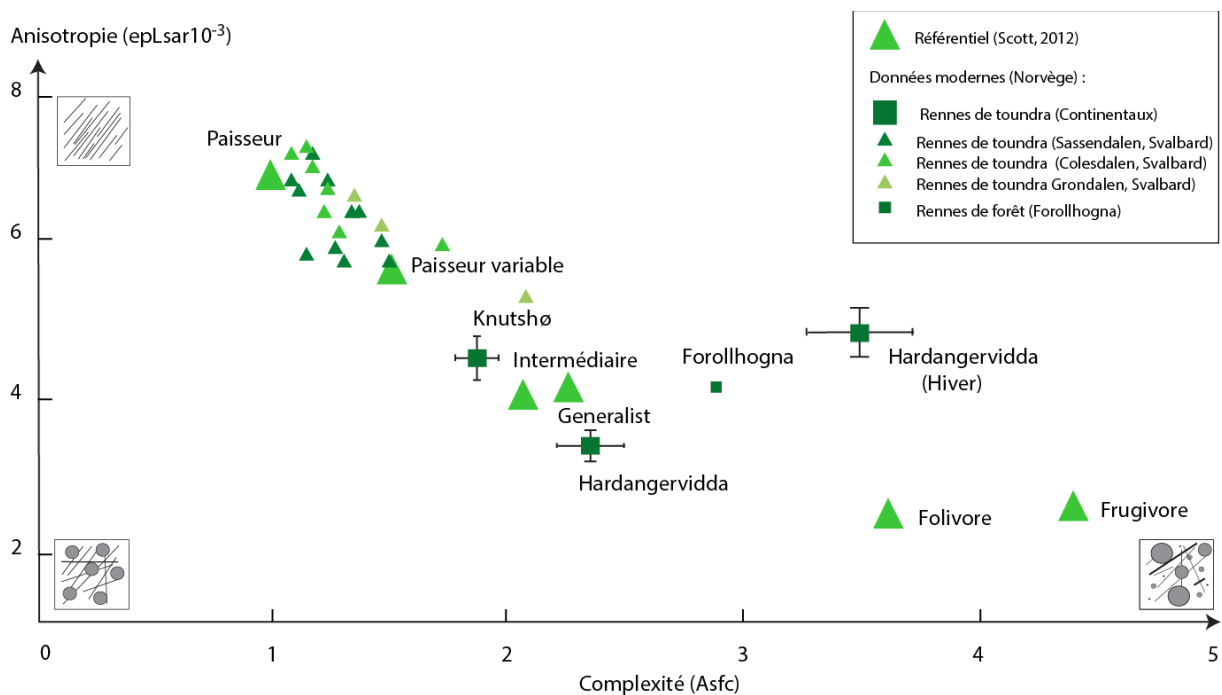


Figure 62 : Signal alimentaire des rennes de Svalbard (Norvège) d'après le référentiel en cours de publication dans Merceron et collaborateurs, comparé aux référentiels existants sur les rennes de toundra alpine (Bignon-Lau et al., 2017) et le spectre des ruminants modernes (Scott, 2012).

Cette plasticité du régime alimentaire que l'on peut observer ici chez les rennes norvégiens se reflète aussi dans les résultats d'analyses isotopiques sur les variations du taux de carbone dans l'émail dentaire des rennes. Qu'en est-il des rennes archéologiques ?

Les rennes solutréens et badegouliens

D'après les analyses de texture des micro-usures dentaires, les rennes de la grotte Rochefort présentent en moyenne une forte anisotropie (5,1) et une complexité relativement faible (1,07 ; tableau 27). Il semble qu'ils aient été pisseurs stricts lors des derniers jours de leur vie. On notera que cependant, la variabilité interindividuelle du comportement alimentaire qui paraît assez forte à la grotte Rochefort.

Tableau 27 : valeurs moyennes, écart-type et écart à la moyenne pour les variables texturales de la complexité (Asfc) et de l'anisotropie (epLsar x100) chez les rennes archéologiques.

Site	Couche	N	Asfc			epLsar x100		
			moyenne	écart-type	écart à la moyenne	moyenne	écart-type	écart à la moyenne
Abri Fritsch	Badegoulien	65	1,076	0,474	0,059	4,493	2,427	0,301
	C4	4	1,099	0,434	0,217	6,687	1,222	0,611
	C5a	15	1,184	0,551	0,142	4,370	3,226	0,833
	C5b	30	1,073	0,513	0,094	4,253	2,167	0,396
	C5c	1	0,626	-	-	8,151	-	-
	C5d	14	0,964	0,337	0,090	4,222	1,978	0,529
	C6	2	1,013	0,365	0,258	6,668	3,175	2,245
	Solutréen	20	0,919	0,393	0,088	4,446	2,463	0,551
	C7	1	1,101	-	-	3,378	-	-
	C7b	3	0,805	0,216	0,124	2,556	1,887	1,089
	C7c	1	1,107	-	-	5,290	-	-
	C8	6	0,887	0,411	0,168	5,509	2,826	1,154
	C8b	2	0,903	0,140	0,099	2,043	0,086	0,061
	C8c	1	1,831	-	-	4,946	-	-
	C9	6	0,799	0,434	0,177	5,084	2,631	1,074
Rochefort	Solutréen	25	1,078	0,499	0,099	5,174	2,557	0,511

A l'abri Fritsch, nous présentons les données obtenues par couches et sous-couches solutréennes puis badegouliennes, afin de pouvoir comparer les données solutréennes entre elles. Sur les couches 9, 8 et 7c, les rennes présentent en moyenne une anisotropie entre 5 et 5,5, comme à Rochefort (tableau 27). La complexité en moyenne est proche de 1 comme pour les couches 7, 7b et 8b. C'est l'anisotropie qui diffère chez les rennes de ces dernières couches, avec des valeurs moyennes qui les rapprochent des folivores par l'anisotropie mais pas par la complexité ($2,5 < epLsar < 3,3$). Un individu se démarque et représente la sous-couche 8c, les valeurs d'anisotropie et de complexité permettent de rapprocher ce spécimen à la fois des pisseurs variables de Svalbard et des mangeurs mixtes de Knutshø par exemple.

Sur la couche 4 et 6, les rennes présentent des valeurs d'anisotropie assez élevées en moyenne autour de 6,6 associées à des valeurs de complexité faibles ($1,01 < Asfc < 1,09$) ce qui rappelle un profil de paisseurs stricts, comme on peut le constater en observant le figure 63. Sur la sous-couche 5c, un individu dépasse les spécimens précédemment observés avec une anisotropie de 8 pour une très faible complexité (0,6). Sachant que les couches ou sous-couches ne fournissent que quelques individus, on observe seulement avant de proposer des hypothèses pour interpréter des différences. Concernant les autres couches, on les couches 5a,5b et 5d autour des mêmes valeurs pour une anisotropie plus faible que chez les premiers spécimens présentés ($4,2 < epLsar < 4,3$) et une complexité similaire ($0,9 < Asfc < 1,1$). Ce qui change d'une couche à l'autre ce sont les valeurs de l'anisotropie et les effectifs, qui sont beaucoup plus importants sur la couche 5 (c5a, b et d).

On observe donc une grande variation des valeurs d'anisotropie selon les couches badegouliennes et solutréennes confondues avec une complexité très faible (la couche 8 mise à part). Ces résultats diffèrent des référentiels actuels où l'on observe une corrélation avec ces deux paramètres, lorsque la complexité augmente, l'anisotropie baisse et vice-versa. Comment expliquer ce phénomène ? On propose plusieurs hypothèses pour répondre à cette question :

- Les rennes mangent tous des aliments plus ou moins riches en phytolithes mais la complexité diffère peu car le nombre d'individus est faible pour certains échantillons (1 spécimen par couche en c5c ; c7c, c8c et 2 spécimens en c6 et c8b ; 3 en c7n et 4 en c4). C'est le nombre d'individus qui peut jouer ici sur la variable de complexité. On s'interroge plutôt sur l'hétérogénéité qui peut jouer ici plutôt que la complexité (voir tableau 27).
- Les comportements alimentaires sont différents d'une population de rennes exploitée à une autre, que ce soit par les Solutréens ou les Badegouliens qui occupent l'abri après eux. Or les comportements alimentaires sont dictés par l'accessibilité aux ressources végétales dans l'environnement. Les variations peuvent donc rendre compte de variations environnementales autour de l'abri Fritsch si les rennes ont été chassés aux mêmes saisons. Sinon, les variations rendent compte des variations du paysage au cours de cycles annuels comme pour les données isotopiques séquentielles obtenues sur certains mêmes spécimens. Nous tenterons d'expliquer ces variations à l'aide des résultats isotopiques en conclusion de cette partie (voir conclusion partie IV).

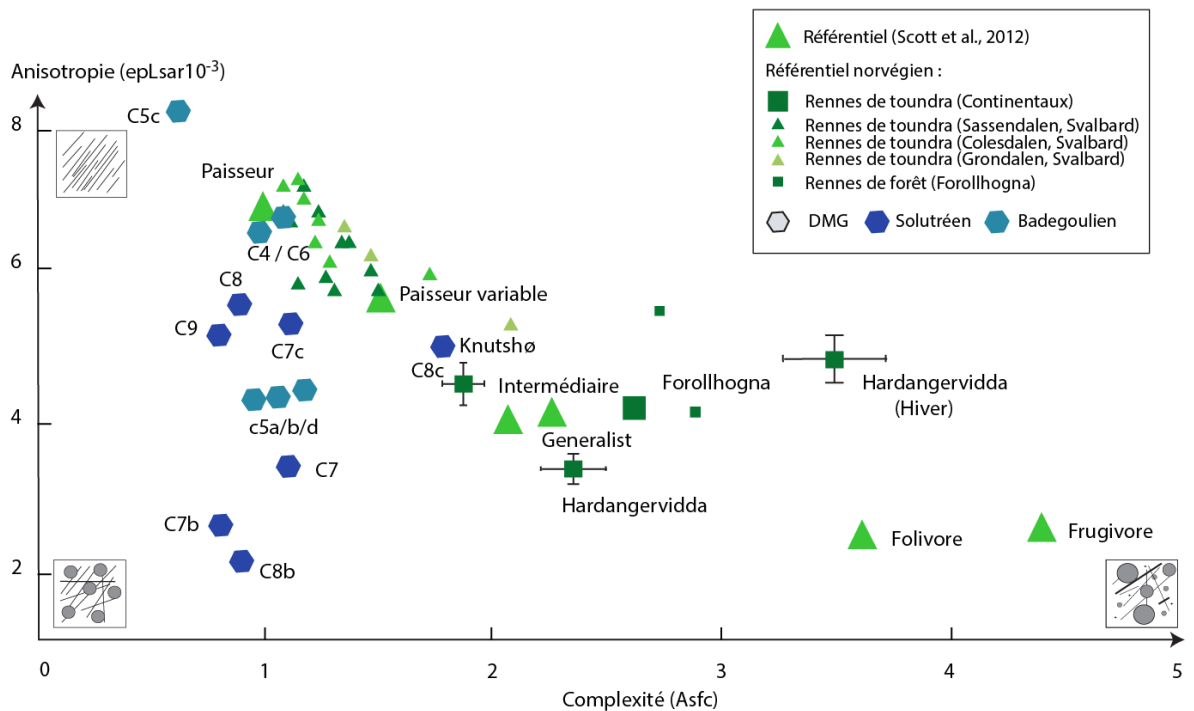


Figure 63 : Signal alimentaire des rennes abattus sur le site de l’abri Fritsch d’après l’article de O. Bignon-Lau et collaborateurs (2019), comparé à celui des référentiels de rennes modernes (Bignon-Lau et al., 2017) et de ruminants modernes (Scott, 2012).

Si l’on compare juste les moyennes obtenues pour chaque période d’occupation, les valeurs moyennes très similaires pour l’anisotropie (4,4 pour les deux populations) se concentrent autour du spectre des paisseurs variables. Même les valeurs moyennes de complexité sont proches entre les deux périodes : $Asfc = 0,9$ pour le Solutréen et $Asfc = 1$ pour le Badegoulien. Les valeurs moyennes tendent à lisser les différences observées entre sous-couches. Donc, par la suite on gardera ces données moyennes lorsque nous comparerons les périodes entre elles et garderons les valeurs plus précises de couches et sous-couches pour comparer aux données isotopiques des mêmes sous-couches et couches (lorsqu’elles sont disponibles via l’analyse précédente).

Comparaison avec les rennes des référentiels moderne et archéologique

La plasticité du régime alimentaire que l’on peut observer chez les rennes modernes et chez les rennes solutréens et badegouliens se reflète aussi dans les résultats obtenus sur d’autres populations archéologiques déjà étudiées et sur des rennes modernes (figure 64).

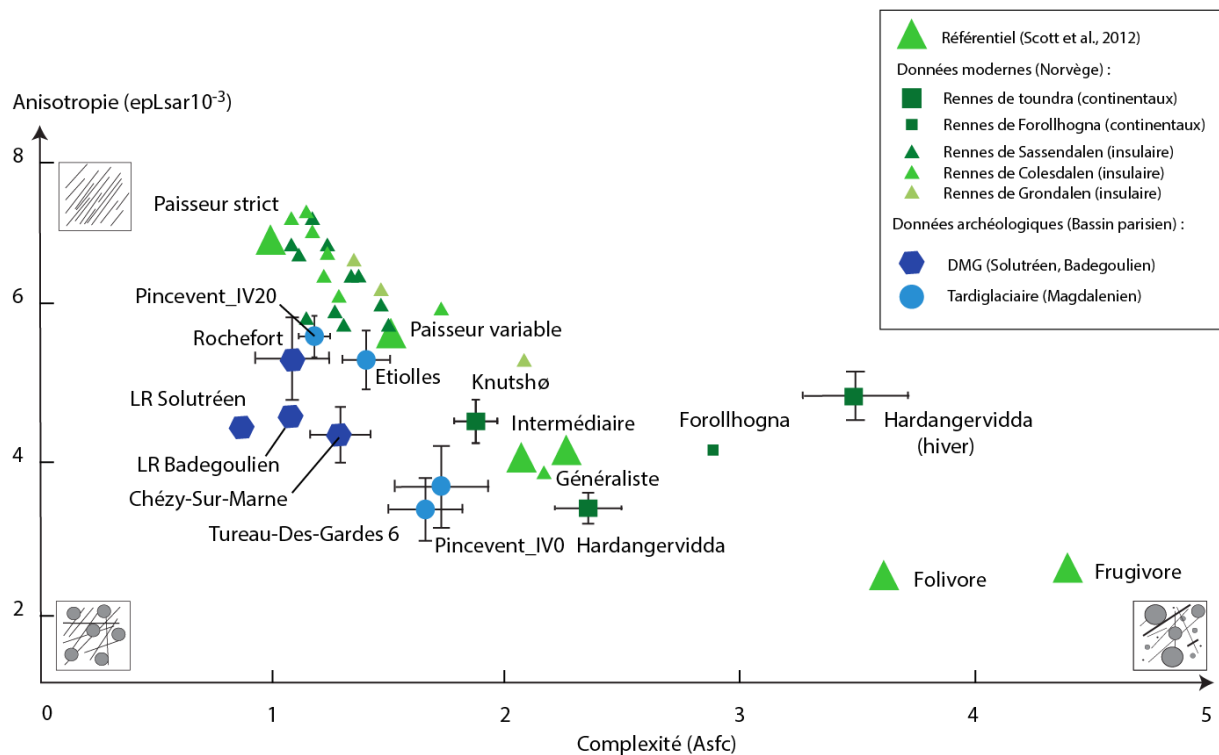


Figure 64 : Signal alimentaire des rennes abattus sur les sites du corpus comparé aux référentiels de rennes modernes (Bignon-Lau et al., 201), de rennes archéologiques (Catz et al., 2019) et de ruminants modernes (Scott, 2012) ; LR : Les Roches, abri Fritsch.

Les rennes provenant de la Grotte Rocheport se rapprochent, par les valeurs qu'ils livrent, des rennes du Tardiglaciaire (Locus 2 d'Étioilles et niveau IV20 de Pincevent) et des rennes de l'archipel du Svalbard. Nous avons déjà pu interpréter les comportements alimentaires de ces populations comme étant celui de pisseurs stricts. En effet, comme chez les rennes insulaires, on peut émettre l'hypothèse d'une alimentation basée sur des plantes abrasives comme des graminées (Catz et al., 2019 ; Merceron et al., en cours).

On observe aussi que les rennes badegouliens de l'abri Fritsch semblent se rapprocher du comportement observé chez les rennes de Chézy autant pour les valeurs d'anisotropie que de complexité. Les valeurs d'anisotropie chez les spécimens de l'abri Fritsch sont très similaires à celles observées chez les rennes continentaux de Knutshø. Cela pourrait signifier qu'ils ont mangé moins diversifié car la complexité est plus grande chez les rennes de plateau de Knutshø. Les rennes badegouliens semblent donc avoir été pisseurs intermédiaires pendant les derniers jours avant d'avoir été abattu. Sachant qu'ils sont moins pisseurs que les rennes précédemment évoqués, on peut proposer l'hypothèse d'un régime alimentaire à base de graminées incluant d'autres végétaux moins abrasifs, ce qui expliquerait aussi la plus faible anisotropie en comparaison aux pisseurs stricts (Svalbard, Pincevent IV20).

Enfin, les rennes solutréens de l’abri Fritsch se rapprochent des rennes badegouliens avec une forte anisotropie et une faible complexité du signal. Dans le spectre alimentaire on peut les replacer, comme pour les rennes badegouliens, chez les pisseurs intermédiaires.

IV.3.2.2. Description des données chez les chevaux

Rappel sur les chevaux du référentiel moderne

- Les valeurs livrées par les chevaux du musée zoologique de Copenhague sont moins nombreuses que celles sur le renne mais ce corpus sera plus étoffé à l’avenir.
- Les valeurs livrées par les chevaux d’Exmoor et d’Islande semblent indiquer une consommation de feuilles comme l’illustre leur emplacement sur le graphique dans le spectre folivore.
- Le contraste avec les valeurs des chevaux de Prewalski (chassé dans le désert de Gobi au début du 20ème siècle) et ceux de Groenland qui gravitent autour des spectres généralistes chez les herbivores.

Les chevaux solutréens et badegouliens

Au solutréen, d’après les analyses de texture des micro-usures dentaires, les chevaux de la grotte Rochefort présentent une anisotropie intermédiaire ($epLsar = 3,7$) et une faible complexité ($Asfc = 1,18$) ce qui permet de les classer comme généralistes ou mangeurs intermédiaires (figure 65 ; tableau 28).

Tableau 28 : valeurs moyennes, écart-type et écart à la moyenne pour les variables texturales de la complexité (Asfc) et de l’anisotropie ($epLsar \times 100$) chez les chevaux archéologiques.

Site	Couche	N	Asfc			epLsar x100		
			moyenne	écart-type	écart à la moyenne	moyenne	écart-type	écart à la moyenne
Rochefort	c4	41	1,186	0,707	0,110	3,776	2,013	0,314
	Total	75	1,422	0,647	0,075	4,879	1,990	0,230
	C4	49	1,532	0,694	0,099	4,800	1,964	0,281
Abri Fritsch	C5a	11	1,071	0,539	0,162	4,413	2,434	0,734
	C5b	12	1,330	0,484	0,140	5,640	1,804	0,521
	C5b/6	1	1,705	-	-	3,635	-	-
	C5d	1	1,026	-	-	4,707	-	-
	C5c	1	1,093	-	-	6,148	-	-

A l’abri Fritsch, les chevaux présentent moins de variabilité entre les couches observées :

- La couche 4 présente le plus de dents car le cheval a été plus chassé sur ce niveau (voir partie II, chapitre 2), les valeurs d'anisotropie et de complexité sont intermédiaires ($epLsar = 4,8$; $Asfc = 1,5$), ce qui rapproche les chevaux de la couche 4 des pisseurs variables par l'anisotropie et des généralistes par la complexité.
- La sous-couche couche 5a, présente des valeurs relativement inférieures que sur la couche 4 pour l'anisotropie et la complexité ($epLsar = 4,4$; $Asfc = 1,07$), ce qui rapproche les chevaux des généralistes et les éloigne des pisseurs par l'anisotropie mais la complexité reste faible comme chez les rennes de l'abri Fritsch.
- Sur la sous-couche 5b, on retrouve des valeurs d'anisotropie plus élevées ($epLsar = 5,6$) et des valeurs de complexité situées entre la couche 4 et la sous-couche 5a ($Asfc = 1,3$), les chevaux peuvent avoir été plutôt pisseurs avant d'avoir été abattus.

Comme chez les rennes d'une couche à l'autre à l'abri Fritsch, l'anisotropie est plus variable que la complexité, mêmes si les variations du spectre alimentaire sont moins importantes chez les chevaux du corpus (tableau 28), car ils sembleraient être plutôt pisseurs variables ou intermédiaires (figure 65). Ces observations résonnent plutôt bien avec le comportement alimentaire généraliste connu du cheval qui peut digérer des plantes riches en phytolithes grâce à son système digestif à *caecum*.

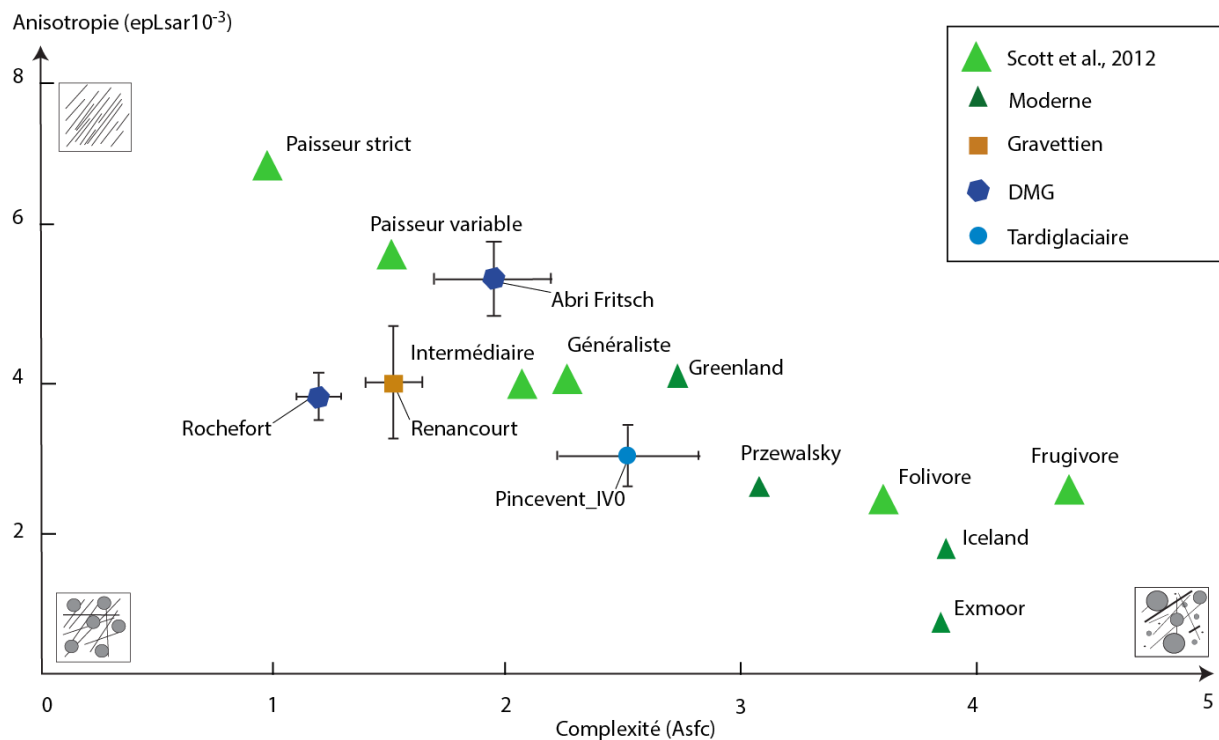


Figure 65 : Signal alimentaire des chevaux abattus sur les sites de l'abri Fritsch et de la grotte Rochefort comparé à ceux des chevaux du référentiel de chevaux modernes et archéologiques et des ruminants modernes (Scott, 2012).

Comparaison avec les référentiels archéologique et modernes chez le cheval

Lorsque nous comparons les valeurs des chevaux du Dernier Maximum Glaciaire avec celles des chevaux du Tardiglaciaire, nous constatons des différences significatives (figure 65). Les chevaux du niveau IV0 de Pincevent présentent des valeurs qui les rapprochent des généralistes, avec une tendance « folivore » (moins marquée que chez les chevaux d'Islande ou de Przewalski). Ce résultat contraste avec le comportement de « paisseur » observé pour les chevaux au DMG.

Les chevaux de Amiens-Renancourt 1, avant le DMG sont plutôt généralistes – similaires à la grotte Rochefort. Les valeurs sont plus concentrées à la grotte Rochefort (en comparaison avec les chevaux d'Amiens pour l'anisotropie ou ceux de l'abri Fritsch pour la complexité). Ce sont cependant les chevaux du niveau IV0 de Pincevent qui offrent le plus haut degré de variabilité inter-individus. Cela peut-être dû au contexte d'abattage des chevaux sur le niveau IV0, la saisonnalité recoupe toutes les saisons, car les chevaux semblent avoir été chassés tout au long d'un cycle annuel (Bignon, 2008 ; Bignon *et al.*, 2006 ; Debout *et al.*, 2012). Il est donc important de s'intéresser aux saisons d'abattage des proies sur chaque site et

de développer pour les populations actuelles des référentiels saisonniers à l'avenir afin de valider ou réfuter cette hypothèse.

IV.3.3. Conclusion sur les analyses de texture des micro-usures dentaires

Via des analyses de texture des micro-usures dentaires nous avons par le passé pu mettre en valeur une corrélation entre le type de spectre et la stratégie de chasse reconstitués par les archéozoologues et le régime alimentaire. A l'échelle intrasite, le régime alimentaire des rennes chassés sur les niveaux IV0 et IV20, présentent des comportements différents (Catz *et al.*, 2019) : sur le niveau IV20, les rennes semblent avoir consommé une grande quantité de graminées pendant les dernières semaines de leur vie (végétaux abrasifs qui marquent l'émail dentaire) ; sur le niveau IV0, les rennes semblent avoir eu un régime alimentaire plus diversifié.

Or nous venons d'observer une certaine plasticité du régime alimentaire chez les rennes du Dernier Maximum Glaciaire au Tardiglaciaire à travers les deux séquences chronologiques de notre corpus. Nous tentons de vérifier ici si l'analyse sur d'autres occupations paléolithiques peut permettre de vérifier cette corrélation, toujours entre le DMG et le Tardiglaciaire. De plus, les deux proies préférentielles sont approchées ici ce qui peut permettre de modéliser les relations intercommunautaires d'un point de vue écologique sachant que ces proies semblent avoir partagé les mêmes environnements (tableau 29).

Tableau 29 : Comparaison des données archéozoologiques avec les données environnementales de notre étude.

Cultures	Sites	Couches/niveaux	Spectre	Saisonnalité chasse				Régime alimentaire
				P	E	A	H	
Solutréen	Grotte Rochefort	C4	Renne & Cheval	<i>Equus</i>		<i>Rangifer</i>		Rennes = pisseurs Chevaux = intermédiaires/généralistes
	Abri Fritsch	C9	Renne & Cheval	<i>Rangifer</i>	<i>Rangifer</i>			Rennes = Pisseurs/Intermédiaires
		C8c	Renne & Cheval	<i>Rangifer</i>		<i>Rangifer</i>	<i>Rangifer</i>	Rennes = Pisseurs
		C7	Renne & Cheval	<i>Rangifer</i>		<i>Rangifer</i>	<i>Rangifer</i>	Rennes = Pisseurs/Intermédiaires
Badegoulien	Abri Fritsch	C6	Renne & Cheval					Rennes = Pisseur/Intermédiaire
		C5	Renne & Cheval					Rennes = Pisseurs/Intermédiaires
	C4	Cheval & Renne	<i>Equus</i> (C4)					Rennes = Pisseur/Intermédiaire
Magdalénien	Chézy-sur-Marne	-	Renne & Cheval	<i>Equus</i>		<i>Rangifer</i>		Rennes = Pisseur/Intermédiaire
	Etiolles	Locus 2	Renne	<i>Rangifer</i>	<i>Rangifer</i>			Rennes = Pisseurs
	Pincevent	IV0	Renne & Cheval			<i>Equus + Rangifer</i>		Rennes = Intermédiaires Chevaux = intermédiaires/folivores
		IV20	Renne			<i>Rangifer</i>		Rennes = Pisseurs
Tureau des Gardes	-	Renne		<i>Rangifer</i>		<i>Rangifer</i>	Renne = Intermédiaire	

À la grotte Rochefort, les rennes présentent un comportement de pisseurs stricts tandis que sur les couches solutréennes de l'abri Fritsch on retrouve des rennes dont le régime alimentaire semble être plus mixte entre les pisseurs (couche 9 et 8c ; rennes insulaires du Svalbard) et les intermédiaires (couche 7 ; rennes continentaux). Il semblerait que les pisseurs ingèrent des plantes qui contiennent plus de phytolithes, c'est le cas des monocotylédones et plus précisément des graminées. Ici les rennes solutréens qui se rapprochent du spectre alimentaire observé chez les rennes du Svalbard peuvent avoir ingéré des graminées avant d'être abattus. Car, le régime alimentaire des rennes norvégiens insulaires est caractérisé par une consommation importante de graminées pendant la période estivale (notamment) d'après le référentiel en cours de publication (Merceron et al., en cours) et d'après la littérature sur l'impact des variations environnementales chez les rennes du Svalbard (Pedersen *et al.*, 2021). Pour les autres comportements alimentaires observés, on peut émettre l'hypothèse d'une consommation plus variée de plantes avant l'abattage des spécimens, comme on peut le voir chez les rennes continentaux de Knutshø ou d'Hardangervidda qui consomment du lichen pendant la période hivernale et estivale (en moins grande quantité). La plasticité alimentaire des rennes est donc observée au Solutrén.

Concernant les chevaux solutréens, on observe une tendance pisseurs chez des individus généralistes à la grotte Rochefort. La moins grande variabilité des comportements alimentaires peut s'expliquer par une plus grande hétérogénéité de variété de plantes ingérées par les chevaux qui sont généralistes.

Les rennes badegouliens de l'Abri Fritsch présentent deux tendances comme au solutrén. D'une couche à l'autre, les comportements alimentaires varient entre les pisseurs variables et les mangeurs mixtes comme on a pu l'observer chez les rennes du site badegoulien de Chézy-sur-Marne auparavant. L'évolution des comportements alimentaires ne semble pas être linéaire d'un point de vue chronologique, comme on a pu l'observer aussi à Pincevent. Les changements d'alimentation ne semblent donc pas évoluer de manière progressive dans le temps. Les variations viennent de choix économiques humains dictés par les variables environnementales et climatiques ?

Enfin, si l'anisotropie semble être très variable d'une couche à l'autre à l'abri Fritsch chez les rennes, la complexité reste faible ce qui pose question. Nous tentons de répondre à nos interrogations à l'aide des données acquises sur l'isotopie dans la conclusion qui suit.

CONCLUSION : utilisation des indicateurs environnementaux pour reconstituer le régime alimentaire des proies du DMG au Tardiglaciaire.

On vient de constater via l'analyse de texture des micro-usures dentaires que l'on retrouve chez les rennes, la même plasticité du comportement alimentaire observée via l'analyse isotopique. En effet, les variations annuelles du taux de carbone sont corrélées négativement aux variations du taux d'oxygène contenu dans l'émail dentaire des rennes du Paléolithique sont observées chez toutes les populations du Bassin parisien. Comme les rennes continentaux, les rennes archéologiques semblent consommer du lichen pendant les périodes hivernales et varier avec d'autres plantes pendant la période estivale. Cette plasticité du régime alimentaire semble donc être calée sur les variations saisonnières du couvert végétal. Les ATMUD permettent d'avoir une information précise de l'alimentation de ces spécimens au moment de l'année où ils ont été abattus. Les données provenant des deux indicateurs environnementaux (isotopie et ATMUD) sont complémentaires lorsqu'on tente de comprendre l'éthologie des proies visées par les chasseurs du Paléolithique. Voici les informations précises que l'on peut obtenir en couplant les données isotopiques (variation annuelle de l'alimentation) et les données issues de l'ATMUD (régime alimentaire précis au moment de la mort de l'individu) aux données archéozoologiques (saison d'abattage).

A l'abri Frisch du Solutréen au Badegoulien...

Les spécimens, de la couche 9 à l'abri Fritsch, semblent avoir été chassés à la fin de l'été ou au début de l'automne (identification d'un juvénile de 2-3 mois par G. Bayle, 2000). Ce qui correspond à une alimentation plus diversifiée et moins riche en lichen pour les rennes d'après les données isotopiques sur le carbone (valeurs plus basses pendant période estivale). Les rennes de la couche 9 présentent des valeurs d'anisotropie qui les rapprochent des paisseurs variables au moment de leur mort. Cela voudrait dire qu'ils ont ingéré des graminées pendant leurs derniers jours.

On peut aussi comparer les données de saisonnalité aux données sur le régime alimentaire des rennes pour la couche 5 de l'abri Fritsch. Les nombreux individus identifiés en c5b semblent avoir été tués sur deux saisons (entre la fin de l'automne et pendant l'hiver puis entre la fin du printemps et le début de l'été, chapitre 2 partie II). Or, d'après l'ATMUD, les rennes en c5b présentent un comportement alimentaire mixte/ mangeurs intermédiaires comme chez les autres rennes de la couche 5 (hormis la sous-couche 5c qui représente un seul individu cependant). D'après les données isotopiques, les individus de la couche 5b consomment du lichen une partie

de l'année (Drucker, 2001) et peuvent donc avoir un régime marqué par la consommation de lichen au moment de leur mort c'est-à-dire plutôt en hiver. S'ils ont été abattu pendant une période où ils consomment plus de lichen, il semblerait donc que le lichen marque moins l'émail que les graminées et donc cela explique le signal d'anisotropie plus faible sur cette couche chez le renne.

À Pincevent au Magdalénien...

Sur le niveau IV20, les rennes auraient été chassés à l'automne d'après les données archéozoologiques. De plus, on sait que les valeurs en carbone oscillent entre une consommation de lichen l'hiver et une alimentation plus diversifiée pendant la période estivale. Or à l'automne, c'est la saison qui correspond à la fin de la période estivale et aux migrations vers les pâturages d'hiver. Les rennes du niveau IV20 semblent bien être migrateurs comme le confirme le signal isotopique du strontium (Le Corre *et al.*, en cours). Le signal isotopique du carbone serait donc plus faible à l'automne car les rennes consomment moins de lichen. D'après les données issues de l'ATMUD, les rennes du niveau IV20 sont paiseurs avant d'être abattus par les magdaléniens de Pincevent. Ils auraient donc commencé à ingérer des graminées lorsqu'ils sont chassés lors de leurs migration automnale.

Enfin, sur le niveau IV0, les rennes semblent avoir été chassé à différents moments de l'année d'après les données de saisonnalité (Bignon *et al.*, 2006). Or les données isotopiques montrent des variations du carbone et donc de l'alimentation chez les rennes abattus tout au long de l'année. Les données isotopiques du strontium permettent d'émettre l'hypothèse d'une présence du renne toute l'année car les individus sont moins mobiles. On se demande s'il s'agit des variations du taux d'oxygène contenu dans les plantes, enregistrées localement car l'amplitude varie plus chez les rennes du niveau IV0 (pas de recouvrement avec les données du niveau IV20). Si les rennes du niveau IV0 sont moins mobiles que les rennes du niveau IV20 (Le Corre *et al.*, en cours) alors ils auraient consommé les ressources végétales locales. On peut penser que l'amplitude faible du signal de l'oxygène contenu dans les plantes ingérées par les rennes du niveau IV20 est dû à un lissage des valeurs car les végétaux consommés proviennent de différents types d'environnements traversés. Cela expliquerait que le signal isotopique de l'oxygène est plus lissé sur le niveau IV20 (moins d'amplitude). Le taux d'oxygène varie donc plus chez les rennes du niveau IV0. Ce qui permettrait de confirmer l'hypothèse selon laquelle les pâturages autour de Pincevent fournissent toute l'année assez de ressources pour les rennes

qui ne migrent pas et ingèrent du lichen l'hiver (comme les rennes du niveau IV20 ; Drucker, 2000).

On note de plus que le spectre de chasse est partagé avec les chevaux sur ce niveau. Or les chevaux semblent avoir un régime alimentaire stable au cours d'un cycle annuel d'après les valeurs isotopiques (autant sur le niveau IV0 que sur le niveau IV20). À partir des variations saisonnières du taux d'oxygène enregistrées chez les chevaux, nous avons pu proposer une reconstitution des paléotempératures sur les deux niveaux. L'hypothèse d'une amélioration des conditions environnementales se confirme pour chevaux. Les rennes et chevaux partageraient le même habitat tout au long de l'année sur le niveau IV0 mais pas sur le niveau IV20 (spectre faunique et saisons d'abattage très différents d'un niveau à l'autre). L'amplitude des valeurs isotopiques du carbone confirment un régime alimentaire basé sur l'ingestion de graminées et d'autres plantes moins riches en phytolithes qui semble affaiblir le signal anisotropique des ATMUD chez le cheval et le renne. On notera cependant que ces hypothèses sont fondées sur des calculs de paléotempératures qui incluent potentiellement des erreurs à chaque étape de conversion utilisées et que les valeurs livrées par l'ATMUD semblent être relativement lissées par les moyennes qui représentent les niveaux.

On constate donc que les variations dans les séquences stratigraphiques se notent aussi bien à Fritsch qu'à Pincevent lorsqu'on veut avoir une précision sur l'éthologie des proies sur des périodes longues, d'où l'intérêt de travailler sur des séquences longues ici.

Comparaison des référentiels modernes et archéologiques

Enfin, nous avons pu observer que les rennes insulaires présentent des valeurs de carbone moins élevées en moyenne que chez les rennes continentaux (archéologiques et modernes). Nous avons émis l'hypothèse d'une différence significative du régime alimentaire chez les rennes insulaires. Les données acquises via l'ATMUD permettent de confirmer cette hypothèse. Les rennes insulaires consomment plus de graminées tout au long de l'année car il y a peu de lichen (voire pas) dans l'environnement sur l'archipel du Svalbard (Pedersen *et al.*, 2021 ; Merceron *et al.*, en cours). On peut donc interpréter les valeurs isotopiques du carbone faibles comme une consommation de graminées tout au long de l'année chez les rennes insulaires grâce aux données livrées par l'ATMUD lors de la saison d'abattage de ces populations à la fin de la période estivale.

En comparant les données isotopiques aux données de micro-usure on constate un écart important des valeurs de l'oxygène entre spécimens modernes et spécimens archéologiques. On retrouve aussi un décalage des valeurs de micro-usures entre spécimens modernes (rennes ou ruminants en général) et spécimens archéologiques. On peut émettre l'hypothèse d'une variation climatique importante liée au réchauffement de l'holocène qui pourrait marquer un décalage des paramètres environnementaux pour les deux indicateurs.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Nos objectifs de recherche étaient :

- de mieux comprendre les liens qu'ont pu développer les chasseurs avec les espèces chassées à travers la reconstitution des comportements cynégétiques (archéozoologie) et de l'éthologie de leurs proies (approche multi-indicateurs)
- afin, d'autre part, de comprendre l'impact des variations climatiques sur ces interactions à la fin du Paléolithique dans le Bassin parisien.

Dans un premier temps nous avons pu identifier avec succès des variations de comportements chez les chasseurs d'une culture à l'autre à la fin du Paléolithique en étudiant les collections fauniques de deux sites stratifiés du Bassin parisien.

La séquence de **l'abri Fritsch** nous a offert un cadre précieux : pour mettre en valeur les variations de comportements cynégétiques des badegouliens dans un premier temps, et pour appliquer des analyses paléoenvironnementales et paléoécologiques intra-sites sur les dents de rennes et chevaux du site, dans un second temps. Malgré des contraintes inhérentes à une collection ancienne (manipulations répétées, sur-fragmentation post-fouille, marquage lacunaire, écarts entre inventaires de terrain, publication ancienne des niveaux et récolement actuel), nous avons pu évaluer un état de conservation de la faune suffisamment bon nous pour développer des analyses taphonomiques et archéozoologiques sur les couches badegouliennes inférieures de l'Abri Fritsch (6, 5b–5d, 4). Nous avons pu établir une origine anthropique de l'accumulation faunique sur les occupations badegouliennes étudiées puis nous avons pu caractériser des continuités et des variations dans les comportements observés chez les badegouliens d'une couche à l'autre du site. Nous avons pu mettre en valeur des variations dans les stratégies cynégétiques entre des spectres dominés par le renne sur la couche 6 et les sous-couches 5b et 5d tandis que le spectre est dominé par le cheval sur la couche 4. Tandis qu'une certaine continuité des comportements sur site est observée : les occupations livrent de la faune chauffée qui nous laisse penser à une utilisation probable des os comme combustibles. De plus, les carcasses semblent avoir été importées entières ou en grands segments et traitées sur place (découpe, extraction de la moelle, probable valorisation du spongieux comme combustible, recyclage technique des déchets osseux).

Les Badegouliens de l'Abri Fritsch ont donc pratiqué des chasses récurrentes et pluri-saisonniers, ciblant prioritairement le renne (couches 6 et 5) puis, plus tard, le cheval (couche 4), avec une économie de transport flexible (carcasses entières vs grands segments), un traitement systématique des carcasses (découpe, moelle, probable rendu de graisse spongieuse/usage combustible) jusqu'au « recyclage technique » des déchets osseux et une production d'industrie osseuse fondée surtout sur la collecte de bois de chute

La séquence de **Pincevent** offre un cadre stratigraphique encore plus exceptionnel car nous avons pu confirmer une variation des comportements cynégétiques et économique des magdaléniens dans un premier temps. L'étude archéozoologique des niveaux IV30 et IV40 nous a permis confirmer des variations de comportements humains intra-sites mais nous n'avons pas pu obtenir de vestiges dentaires sur ces niveaux d'occupation. Nous avons donc développé nos analyses paléoenvironnementales et paléoécologiques intra-sites sur les dents de rennes et chevaux abattus sur les niveaux IV20 et IV0 dans un second temps. Cette étape de notre travail nous a permis de proposer ici une reconstitution des interactions chasseurs-proies très précise.

Ces deux sites recouvrent à eux deux plus de 8 000 ans d'occupations et ce malgré les variations climatiques du Dernier Maximum Glaciaire au Tardiglaciaire. L'étude des deux stratigraphies nous ont permis d'identifier des variations du comportement des chasseurs d'un niveau à l'autre de chaque site et d'un site à l'autre sur la période. Pour comprendre si l'éthologie des proies peut avoir dicté ces variations lors de l'établissement des stratégies et tactiques de chasse au Paléolithique, nous avons pu reconstituer le comportement alimentaire des gibiers à l'aide d'une analyse multi-indicateurs.

L'**analyse des restes dentaires** de rennes et chevaux nous livrent des informations sur les variables environnementales qui peuvent impacter l'éthologie des proies et les choix cynégétiques des chasseurs. Via l'analyse **multi-indicateurs**, on a pu constater une variabilité du comportement alimentaire chez les rennes et une certaine stabilité du comportement alimentaire chez le cheval entre le DMG et le Tardiglaciaire. Si les deux espèces partagent les mêmes habitats alors on peut penser que l'environnement offre une assez grande diversité de ressources végétales pour les herbivores. Mais si les espèces n'ont pas partagé les mêmes environnements et qu'elles se déplacent entre différents pâturages par exemple, cela voudrait dire que l'environnement est fluctuant et n'offre pas assez de ressources végétales pour répondre aux besoins des différents taxons notamment pendant l'hiver on pense. La séquence de Pincevent nous offre des pistes de réflexions pour proposer de répondre à ce questionnement.

D'après les résultats d'analyse isotopique du strontium, les rennes du niveau IV20 de Pincevent semblent avoir été plus mobiles que les chevaux et les rennes du niveau IV0. Ces résultats viennent confirmer les hypothèses archéozoologiques émises depuis plusieurs décennies, sur l'interception de troupeaux de rennes en migration sur le niveau IV20. De plus, on retrouve une variation du comportement entre les rennes des deux niveaux en observant les résultats de l'ATMUD, avec des rennes du niveau IV20 qui sont pisseurs stricts alors que les rennes du niveau IV0 sont plutôt mangeurs mixtes au moment où ils ont été abattus. Les variations significatives du comportement alimentaire des rennes coïncident donc aux variations du comportement migratoire chez ce taxon. Aux variations de comportement chez les rennes répondent les variations de comportement cynégétiques des magdaléniens. Car les spectres de chasse et la saisonnalité des épisodes de chasse diffèrent entre les deux niveaux. Alors que les différents indicateurs présentent des variations sur les deux niveaux, les signaux isotopiques du carbone ne semblent pas différer à l'échelle d'un cycle annuel chez les spécimens analysés des deux niveaux qui présentent des variations du taux de carbone de faible amplitude. Sachant que les données isotopiques séquentielles se rapportent à la première année de vie de l'animal et que l'ATMUD se rapporte aux dernières semaines de sa vie, notre approche multi-indicateur couvre toute la vie de l'animal qui est abattu quelques années seulement après sa naissance (la hauteur de couronne nécessaire à l'échantillonnage de l'analyse séquentielle doit être assez importante pour livrer un signal intra-annuel). On rappelle ici, que les chevaux présentent des valeurs isotopiques relativement hautes et rappelleraient presque une consommation de lichen (comme chez les rennes). Il semblerait donc que les populations de rennes et chevaux occupent les mêmes environnements pendant les premières années de leur vie. Peut-on interpréter la différence de régime alimentaire chez les rennes du niveau IV0 et IV20 comme une évolution du comportement aux variations climatiques qui ont lieu lors de l'occupation du niveau IV0 par les magdaléniens. La reconstitution des paléotempératures à partir du signal isotopique chez les chevaux de Pincevent apporte un argument en faveur d'un changement environnemental entre les deux occupations. Avec des températures légèrement plus douces lors de l'occupation du niveau IV0. Les données issues de l'étude de l'industrie lithique et osseuse permettent d'avancer qu'il n'y a pas de changement au niveau des armes de chasse donc les changements de comportements cynégétiques sont liés à la disponibilité des espèces dans le territoire de chasse des magdaléniens. La disponibilité des espèces autour de Pincevent dépendrait donc des variations environnementales au fil des saisons plus ou moins propices à la croissance de pâturages assez riches pour accueillir différents herbivores. Sachant que le renne est migrateur, il a pu se déplacer lorsque les

ressources viennent à manquer. D'après tous ces résultats, si les conditions environnementales sont plus favorables les rennes et chevaux du niveau IV0 auraient pu être présents dans l'environnement direct de Pincevent sans que les rennes aient à engager des migrations au cours de l'année. Cette hypothèse correspond bien aux épisodes de chasse qui auraient eu lieu sur un cycle annuel (toutes les saisons représentées, notamment l'hiver). La mise en relation de toutes ces données sur l'éthologie des rennes, des chevaux avec les variations des spectres fauniques confirme l'hypothèse d'une mobilité réduite chez les rennes lors de l'occupation du niveau IV0 par les magdaléniens.

D'après les analyses polliniques aux alentours du site, on peut replacer les activités de chasse dans un paysage froid parsemé d'une végétation basse composée principalement d'herbacées (graminées ici) et d'arbustes nains. Ce type de paysage semble être idéal pour observer les troupeaux en approche.

Caractériser l'éthologie des proies chassées, sur de longues séquences archéologiques, nous a permis de déceler avec précision la variabilité du comportement des chasseurs qui semble être dictés par l'éthologie des proies comme le confirme les résultats d'analyse des indicateurs environnementaux. L'approche multi-indicateurs que nous avons développé ici permet donc de proposer un certain degré de précision dans l'élaboration de stratégies de chasse au Tardiglaciaire dans un premier temps. Avec des données archéozoologiques plus précises nous pourrions extrapoler au DMG et reconstituer l'étape en amont de la chaîne opératoire intrasite. On peut voir bouger les gibiers dans un environnement glaciaire fluctuant. Cette approche permet d'apporter de nouveaux arguments pour confirmer l'hypothèse suivante : les déplacements des humains s'organisent par rapport aux ressources animales dans l'environnement.

L'intégration des données paléocéologiques (analyses isotopiques, micro-usures dentaires, modélisations paléoenvironnementales) et des approches issues des sciences du vivant (écologie, biogéographie, paléogénétique) à l'approche archéozoologique permet de renouveler les perspectives sur la structuration des communautés et la mobilité des groupes humains. En somme, cette approche pluridisciplinaire et évolutive du Bassin parisien s'impose comme un axe fort pour les recherches sur les interactions homme-environnement.

BIBLIOGRAPHIE

Alt KW, Knipper C., Peters D., Müller W., Maurer A-F., Kollig I., Nicklisch N., Müller C., Karimnia S., Brandt G., Roth C., Rosner M., Mende B., Schöne B.R., Vida T., and von Freeden U., 2014 - *Lombards on the Move*, An Integrative Study of the Migration Period Cemetery at Szólád, Hungary. *PLoS ONE* 9(11):e110793.

De Pierrepont A., Teyssier E., Brin A., 2018 - *Réseau trophique*. Dictionnaire d'Agroécologie, INRAE. [ff10.17180/fgwm-jr58ff.ffhal-03726535f](https://doi.org/10.17180/fgwm-jr58ff.ffhal-03726535f)

Aitken M.J., 1990 - *Science-Based Dating in Archaeology*. Routledge

Allain J., 1976 - *Pouligny-Saint-Pierre. L'Abri Fritsch aux Roches*. Union Internationale des Sciences Préhistoriques et Protohistoriques, IXe Congrès, Nice, 1976. Livret-guide de l'excursion A1, sud du Bassin parisien, p. 101-104.

Allain J., 1978 - *Pouligny-Saint-Pierre (Indre)*. Gallia Préhistoire, Antiquités préhistoriques, Informations archéologiques, t. 21, fasc. 2, 1978, p. 493-496, fig. 28-29.

Allain J., 1983 - *Matériaux pour l'étude du « Magdalénien initial » et de ses origines*. Bulletin de la Société préhistorique française, 1983, T. 80, No. 5 (1983), pp. 135-139.

Allain J., 1984 - *Etudes sur l'Abri Fritsch (Indre)*, in Avant-propos in Trotignon F., Poulain T., Leroi-Gourhan A. (dir.). XIXe supplément à Gallia Préhistoire, Editions du CNRS, p.7-12.

Allain J., 1989 - *La fin du Paléolithique supérieur en région Centre*, in J.-P. Rigaud dir., Le Magdalénien en Europe. La structuration du Magdalénien, Actes du colloque international de Mayenne, 1987, ERAUL, t. 38, Liège, p. 193-21

Allain J. et Fritsch R., 1967 - *Le Badegoulien de l'Abri Fritsch aux Roches de Pouligny-Saint-Pierre, Indre*. Bulletin de la Société Préhistorique Française, t. 64, 1967, p. 83-94, 5 fig.

Allain J., Fritsch R., Rigaud A., Trotignon F., 1974 - *Le Débitage du bois de renne dans les*

niveaux à raclettes du Badegoulien de l'Abri Fritsch et sa signification. Premier colloque sur l'industrie de l'os dans la Préhistoire, Abbaye de Sénanque, avril 1974. Ed. H. Camps-Fabrer, Université de Provence, Aix-en-Provence, p. 67-71

Angevin R., Mevel L., Caron-Laviolette E., Kildea F., Souffi B., 2018 - *Corrélations chronostratigraphiques et interactions culturelles au cours du Magdalénien entre l'Espagne cantabrique et le Sud-Ouest de la France... et au-delà*, in Straus L.G, Langlais M. (dir.), Paris, Société préhistorique française, sous presse : 269-291

Antoine P., 1990 - *Chronostratigraphie et Environnement du Paléolithique du bassin de la Somme*, Publications du centre d'études et de recherches préhistoriques de Lille., 2, 231.

Antoine P., Munaut A.V., Somme H J., 1994. *Réponse des environnements à l'évolution climatique du Début Glaciaire weichsélien : données de la France du Nord-Ouest*. Quaternaire 5, 151}156.

Antoine P., Lautridou J.P., Somme J., Auguste P., Auffret, J.P., Baize S., Clet-Pellerin M., Coutard J.P., Dewolf Y., Dugue O., Joly F., Laignel B., Laurent, M., Lavollé M., Lebreton P., Lécolle, F., Lefebvre D., Limondin-Lozouet N., Munaut A.V., Ozouf J.C., Quesnel F., Rousseau D.D., 1998 - *Le Quaternaire de la France du Nord-Ouest : Limites et Corrélations*. Quaternaire 9 (3), 227-241, 1 pl. HT.

Antoine P., Rousseau D.-D., Zöller L., Lang A., Munaut A.-V., Hatté C., Fontugne M., 2001 - *High-resolution record of the last Interglacial–Glacial cycle in the Nussloch loess–palaeosol sequences*. Upper Rhine Area, Germany, Quaternary International 76–77, 211–229.

Antoine P., Auguste P., Bahain J.-J., Coudret P., Depaepe P., Fagnart J.P., Falguères C., Fontugne M., Frechen M., Hatté C., Lamotte A., Laurent M., Limondin-Lozouet N., Lochet J.-L., Mercier N., Moigne A.M., Munaut A.V., Ponce P., Rousseau D.-D., 2003 - *Paléoenvironnements pléistocènes et peuplements paléolithiques dans le bassin de la Somme (nord de la France)*. Bulletin de la Société préhistorique française, 100 (1), p. 5-28.

Aubry T., 1991 - *L'exploitation des ressources en matières premières lithiques dans les gisements solutréens et badegouliens du bassin versant de la Creuse (France)*. Thèse de Doctorat en Préhistoire, Université de Bordeaux I, 327 p.

Antoine P., Rousseau D.-D., Moine O., Kunesch S., Hatté C., Lang A., Tissoux H., Zöller L., 2009 - *Rapid and cyclic aeolian deposition during the Last Glacial in European loess: A high-resolution record from Nussloch, Germany*. *Quaternary Science Reviews*, 28, 25-26, p. 2955-2973. Bibus, 1980

Aubry T., 1991 - *L'Exploitation des ressources en matières premières lithiques dans les gisements solutréens et badegouliens du bassin versant de la Creuse (France)*. Thèse de 3^e cycle, Université de Bordeaux I, 1991, 1 vol., 327 p., 78 fig., 17 tabl.

Aubry T., 1993 - *Une Géode de calcédoine façonnée provenant de la couche solutréenne 9 de l'Abri Fritsch des Roches à Poulligny-Saint-Pierre (Indre)*. *Revue archéologique du Centre de la France*, t. 32, 1993, p. 153-157, 5 fig.

Aubry T., 1995 - *Inventaire systématique des cavités des vallées de la Creuse et l'Anglin dans le département de l'Indre*. Document final de synthèse (DFS) de prospection thématique. II. Vallée de la Creuse, 01-12-1994 au 31-01-1995. Orléans : SRA Centre.

Aubry T., Walter B., Robin E., Plisson H., Benhabdel-Hadi M., 1998 - *Le site solutréen de plein air des Maîtreaux (Bossay-sur-Claise, Indre-et-Loire) : un faciès original de production lithique*. *Paléo*, t. 10, p. 163-184.

Aubry T., Almeida, M., Chehmana L., Thiennet H., Walter B., 2007 - *De la fin du Solutréen au Magdalénien moyen dans les vallées de la Claise et de la Creuse*. *Bulletin de la Société Préhistorique Française* 104 (4) : 699-714.

Auguste P., 1994 - Thème 1 - *Actions climatiques et édaphiques. Synthèse générale*, in Patou-Mathis M. (dir.). *Outillage peu élaboré en os et en bois de Cervidés : taphonomie, bone modification*. *Artefacts* 9, VI^e Table ronde. Belgique : Éditions du Centre d'études et de documentation archéologiques, p. 17-27.

Averbouh A., Petillon J.M., 2011 - *Identification of “debitage by fracturation” on rein- deer antler: case study of the Badegoulian levels at the Cuzoul de Vers (Lot, France)*, in Baron J., Kufel-Diakowska B., (ed.). *Written in Bones. Studies on Technological and Social Contexts of Past Faunal Skeletal Remains*. University of Wroclaw, p. 41-52

Balasse M., Bocherens H., Mariotti A., Ambrose S.-H., 2001- *Detection of dietary changes by intra-tooth carbon and nitrogen isotopic analysis: an experimental study of dentine collagen of cattle (Bos taurus)*. *Journal of Archaeological Science* 28 (3), 235-245

Balasse M., Ambrose S.-H., Smith A.-B., Price T.D., 2002 - *The seasonal mobility model for prehistoric herders in the South-western Cape of South Africa assessed by isotopic analysis of sheep tooth enamel*. *Journal Of Archaeological Science* 29 :917-932.

Ballinger M., Bignon-lau O., Bodu P., Debout G., Dumarçay G., Hardy M., Julien M., Karlin C., Malgarini R., Orliac M., Peschaux C., Soulier P., Valentin B., 2014 - *Pincevent (1964-2014) : 50 années de recherches sur la vie des magdaléniens*. Paris, Société préhistorique française (DVD - Film documentaire produit par *Passé simple*).

Baltensperger A.P., and Joly K., 2019 - *Using seasonal landscape models to predict space use and migratory patterns of an arctic ungulate*. *Movement Ecology* 7(1):18.

Bartlett JD, Ganss B, Goldberg M, Moradian-Oldak J, Paine ML, Snead ML, Wen X, White SN, Zhou YL., 2006 - *Protein-protein interactions of the developing enamel matrix*;74:57-115.

Bataille CP., Bowen GJ., 2012 - *Mapping $87\text{Sr}/86\text{Sr}$ variations in bedrock and water for large scale provenance studies*. *Chemical Geology* 304-305:39-52.

Bataille CP., Brennan SR., Hartmann J., Moosdorf N., Wooller MJ., and Bowen GJ., 2014 - *A geostatistical framework for predicting variations in strontium concentrations and isotope ratios in Alaskan rivers*. *Chemical Geology* 389:1-15.

Bataille CP., Crowley BE., Wooller MJ., and Bowen GJ., 2020 - *Advances in global bioavailable strontium isoscapes*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 555 :109849.

Bayle, G., 2000 - *Étude archéozoologique des niveaux solutréens de l'Abri Fritsch. La part de l'homme dans les accumulations des restes de grands mammifères*. DEA, Université de Paris I Panthéon- Sorbonne.

Ben-David, M., Shochat, E. & Adams, L.G. (2001) - Utility of stable isotope analysis in studying foraging ecology of herbivores: examples from moose and caribou. *Alces*, 37, 421-434.

Bentley R.-A., 2006 - *Strontium isotopes from the earth to the archaeological skeleton: a review*. *Journal of Archaeological Method and Theory* 13(3):135-187.

Berlitz, E., Louail, M., Lafont, J., Merceron, G., 2021- *DMTA Molding protocole*.

Beyries S., Bourguignon L., Sellami F., Deloze, V., Sellier-Segard N., Emery-Barbier A., 2002 - *L'habitat moustérien de « La Folie » (Poitiers, Vienne) : synthèse des premiers résultats*, in *Revue d'Archéologie Préhistorique*.

Bignon O., 2003 - *Diversité et exploitation des équidés au Tardiglaciaire en Europe occidentale: implications pour les stratégies de subsistance et les modes de vie au Magdalénien et à l'Azilien du Bassin parisien*. Thèse de doctorat, Paris X, Nanterre, 856 p.

Bignon O., 2006 - *De l'exploitation des chevaux aux stratégies de subsistance des Magdaléniens du Bassin parisien*. *Gallia préhistoire*, 48, 1, p. 181-206.

Bignon O., Enloe J.G., Bemilli C., 2006 - *Chapitre II.1 : Étude archéozoologique de l'unité T125 : originalité de la chasse des rennes et des chevaux*. In Bodu P., Julien J., Valentin V., Debout G. (dir.), *Un dernier hiver à Pincevent : les Magdaléniens du niveau IV0*. *Gallia Préhistoire*, t. 48, p. 18-35.

Bignon O., 2007 - *L'autre « Civilisation du renne » ... pour une réinterprétation des stratégies cynégétiques au Magdalénien dans le Bassin parisien*. In : Beyries B., Drucker D., Vaté V. (dir.), *Actes des XXVIIe rencontres internationales d'Archéologie et d'Histoire d'Antibes (19-*

21 octobre 2006). Les Civilisations du renne d'hier et d'aujourd'hui : approches ethno-historiques, archéologiques et anthropologiques. Antibes, Éditions APDCA, p. 223-241.

Bignon O., 2008 - *Chasser les chevaux à la fin du Paléolithique dans le Bassin parisien: stratégie cynégétique et mode de vie au Magdalénien et à l'Azilien ancien*, Oxford, Royaume-Uni de Grande-Bretagne et d'Irlande du Nord, British Archaeological Reports International Series, 170 p.

Bignon O., Christensen M., 2009 - *Exploitation des ressources animales : objectifs techniques et alimentaires*, in Etiolles : rapport triennal 2007-2009, p. 56-84.

Bignon-Lau O., 2013 - *Analyse archéozoologique des unités U5-P15-S25-N20 d'Étiolles (Locus 1) : première synthèse du niveau d'occupation*, in Etiolles : rapport triennal 2011-2013, p. 72-83.

Bignon-Lau O., 2014 - *Hunting practices targeting large mammal communities in the Paris Basin in the Upper Paleolithic*, Quaternary International, 337, p. 114-128.

Bignon-Lau O., Catz N., Berlioz E., Veiberg, V., Strand, O., Merceron, G., 2017 - *Dental microwear textural analyses to track feeding ecology of reindeer: a comparison of two contrasting populations in Norway*. Mammal Research. 62, 111–120.

Bignon-Lau O., Malgarini R., Bonzom-Chapelle S., 2018 - *Fracturation osseuse lato sensu et intégration des chaînes opératoires alimentaire et non-alimentaire : quelques exemples du Magdalénien supérieur /Bone fracturing lato sensu and alimentary and non-alimentary operational sequences integration. Some examples from the Upper Magdalenian*, in Christensen M., Goutas N., (dir.). À coup d'éclats ! La fracturation des matières osseuses en Préhistoire, Paris, Séance de la Société Préhistorique Française, 13, p.231-241.

Bignon-Lau, O., Bayle, G., Bemilli, C., Bodu, P., Hinguant, S., Montoya, C., 2019 - *Des nouvelles du front? Les sociétés humaines du Dernier Maximum Glaciaire dans le Bassin parisien face aux dynamiques spatiales des peuplements paléoécologiques*.

Bignon-Lau, O. 2022 - *Synthèse des datations radiocarbone 2021-2022 et analyses paléogénétiques de la faune de l'abri Fritsch*, in Mevel et Griselin (dir.). *Du dernier maximum glaciaire à l'optimum climatique dans le Bassin parisien et ses marges Habitats, sociétés et environnements, sociétés et environnements*, Projet Collectif de Recherche, Axes 2, 3 et 4, p.73-76

Binford L.-R., 1981 - *Bones. Ancient men and modern myths*. New York, San Francisco, Londres: Academy Press.

Bocherens H., Drucker D., 2003 - *Trophic level isotopic enrichment of carbon and nitrogen in bone collagen: case studies from recent and ancient terrestrial ecosystems*. *International Journal of Osteoarcheology*.

Bodu P., 1993 - *Analyse typo-technologique du matériel lithique de quelques unités du site magdalénien de Pincevent (Seine-et-Marne). Applications spatiales, économiques et sociales*. Thèse de l'Université de Paris I – Panthéon Sorbonne, 3 vol.

Bodu P., Valentin B., 1997 - *Groupes à Federmesser ou Aziliens dans le Sud et l'Ouest du Bassin parisien. Propositions pour un nouveau modèle d'évolution*. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, t. 94, n° 3, pp. 341-347.

Bodu P., Debout G., 2006. *Le travail du silex*, in P. Bodu, M. Julien, B. Valentin et G. Debout (dir.), *Un dernier hiver à Pincevent : les magdaléniens du niveau IV0 (Pincevent, La Grande-Paroisse, Seine-et-Marne)*, Gallia Préhistoire, 48, pp. 251-256

Bodu P., Julien M., Valentin, B., Debout G., 2006 - *Un dernier hiver à Pincevent : les magdaléniens du niveau IV0 (Pincevent, La Grande-Paroisse, Seine-et-Marne)*, Gallia Préhistoire, 48, pp.1-180.

Bodu P., Bignon-Lau O., Chehmana L., Debout G., Dumarçay G., Peschaux C., Sellami F., 2012 - *Du haut du mont Saint-Aubin, 200 siècles vous contemplant ! : des Badegouliens à Oisy, Nièvre*. DRAC Bourgogne : Dijon.

Bodu P., Renard C., 2013 – « L'ancien » Solutréen du Bassin parisien, quelques observations

récentes, in P. Bodu, L. Chehmana, L. Klaric, L. Mevel., S. Soriano et N. Teyssandier (dir.), *Le Paléo- lithique supérieur ancien de l'Europe du Nord-Ouest – Réflexions et synthèses à partir d'un projet collectif de recherche sur le centre et le sud du Bassin parisien*, actes du colloque (Sens, 15-18 avril 2009), Paris, Société préhistorique française (Mémoire, 56), p. 117-141.

Bodu P., Baillet M., Ballinger M., Dumarçay G., Goutas N., Julien M. A., Lacarrière J., Legrand-Pineau A., Lejay M., Leroyer M., Lucas C., Moine O., Naton H. G., Peschaux C., Salomon H., Stoetzel É., Suire J., Théry- Parisot I., Touzé O., 2019 – Le gisement paléolithique multistratifié « les Bossats » à Ormesson (Seine-et-Marne, France) : Palethnologie ou pâle ethnographie ? Une synthèse des huit premières années de fouille (2009-2016), in P. Bodu, C. Paris et C. Montoya (dir.), *Préhistoire de l'Europe du Nord-Ouest : mobilités, climats et entités culturelles. Session 2 : Palethnologie du Paléolithique supérieur ancien : où en sommes-nous ?*, actes du XXVIII^e Congrès préhistorique de France (Amiens, 30 mai-4 juin 2016), Paris, Société préhistorique française (Congrès, 28).

Borao M., Pétilion J.-M., 2024 - *L'industrie osseuse du Badegoulien ancien et du Solutréen (couches 5d à 10) de l'abri Fritsch (Poulligny-Saint-Pierre, Indre)*, PCR

Bridault A. (1993) – Les économie de chasse épipaléolithiques et mésolithiques dans le Nord et l'Est de la France. Thèse de Doctorat, Université Paris X – Nanterre.

Britton K., Grimes V., Dau J., and Richards MP., 2009 - *Reconstructing faunal migrations using intra-tooth sampling and strontium and oxygen isotope analyses: a case study of modern caribou (Rangifer tarandus granti)*. Journal Of Archaeological Science 36(5):1163-1172.

Britton K., 2010 - *Multi-isotope analysis and the reconstruction of prey species palaeomigrations and palaeoecology*, PhD.

Britton K., Grimes V., Niven L., Steele T., McPherron S., Soressi M., Kelly TE., Jaubert J., Hublin J.-J., and Richards MP., 2011 - *Strontium isotope evidence for migration in late Pleistocene Rangifer: Implications for Neanderthal hunting strategies at the Middle Palaeolithic site of Jonzac, France*. Journal of Human Evolution 61:176-185.

Britton K., 2018 - *Prey species movements and migrations in ecocultural landscapes:*

reconstructing late Pleistocene herbivore seasonal spatial behaviours, in: Pilaar-Birch S, editor. *Multi-Species Archaeology*. London: Routledge. p 347-367.

Britton K., 2020 - *Isotope Analysis for Mobility and Climate Studies*, in: Britton K., and Richards M., editors. *Archaeological Science: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press. p 99-124.

Britton K., Jimenez E-L., Le Corre M., Pederzani S., Daujeard C., Jaouen K., Vettese D., Tütken T., Hublin J-J., and Moncel M-H., 2023 - *Multi-isotope zooarchaeological investigations at Abri du Maras: the paleoecological and paleoenvironmental context of Neanderthal subsistence strategies in the Rhône Valley during MIS3*. *Journal of Human Evolution* 174:103292.

Brugal J.-P., Croitor R., 2007 - *Evolution, ecology and biochronology of herbivore associations in Europe during the last 3 million years*, *Quaternaire*, vol 18/2.

Calandra I., Merceron G., 2016 - *Dental microwear texture analysis in mammalian ecology*. *Mammal Review*. 46, 215–228.

Capo RC., Stewart BW., and Chadwick OA., 1998 - *Strontium isotopes as tracers of ecosystem processes: Theory and methods*. *Geoderma* 82 :197-225.

Caribou. *Earth and Planetary Sciences*, 333, 303-309

Catz N. (2016) – *Comportements alimentaires et migratoires du renne (Rangifer tarandus) dans le Bassin parisien du Dernier Maximum Glaciaire au Bölling (18000-12000 BP) : analyse de texture des micro-usures dentaires*, mémoire de master 2, Université Paris 1 – Panthéon-Sorbonne, Paris, 80 p.

Catz N., 2018 - *Étude archéozoologique sur les témoins fauniques du niveau IV30*, in Bignon-Lau (dir.), *Opération archéologique programmée du site de Pincevent (La Grande Paroisse, Seine-et-Marne)*. Autorisation triennale 2017-2019. Rapport intermédiaire 2018, p.108-112.

Catz N., Bignon-Lau O., Leduc C., 2020 - *Le Dernier maximum Glaciaire dans le Centre et Nord de la France : approche paléoenvironnementale et paléoécologique sur la faune de l'Abri Fritsch*, in Mevel L. Griselin S. (dir.), *Du dernier maximum glaciaire à l'optimum climatique dans le Bassin parisien et ses marges habitats, sociétés et environnements ; rapport 2019*. [Rapport de recherche] UMR 7041 Arscan ; Inrap ; ministère de la culture et de la communication. 2020.

Catz N., Bignon-Lau O., Merceron G., 2020 - *Reindeer feeding ecology and hunting strategies by Magdalenians from Pincevent (Paris Basin, France): New insights from dental microwear textural analyses*. International Journal of Osteoarchaeology, with Supplementary information. DOI : 10.1002/oa.2879

Catz N., 2021 - *Le Dernier maximum Glaciaire dans le Centre et Nord de la France : Approche paléoenvironnementale et paléoécologique sur la faune de l'Abri Fritsch* in Mevel L., Griselin S., (dir.), *Du dernier maximum glaciaire à l'optimum climatique dans le Bassin parisien et ses marges Habitats, sociétés et environnements, rapport de PCR, SRA Centre Val de Loire*, p. 67-80.

Charlier BLA., Ginibre C., Morgan D., Nowell GM., Pearson DG., Davidson JP., and Ottley CJ., 2006 - *Methods for the microsampling and high-precision analysis of strontium and rubidium isotopes at single crystal scale for petrological and geochronological applications*. Chemical Geology 211(3-4):114-133.

Chehmana L., 2013 - *Le devenir de la culture solutréenne dans le nord de la France / The Future of the Solutrean Culture in Northern France*, in : *Le Solutréen 40 ans après Smith '66*. Actes du colloque de Preully-sur-Claise, 21 octobre - 1er novembre 2007. Tours : Fédération pour l'édition de la Revue archéologique du Centre de la France, 2013. pp. 101-112 (Supplément à la Revue archéologique du centre de la France, 47).

Chehmana L., Liard M., Bodu P., 2007 - *De nouveaux arguments pour un rattachement au Badegoulien des séries dites " à grands burins transversaux " de la vallée de la Claise*, Bull. Société Préhistorique française, 104 (4) : 681-697.

Cheynier A., 1930 - *Un outil magdalénien nouveau, en silex à Badegoule. La Raclette*. Bulletin de la Société préhistorique française, t. 27, no 10, p. 483-488

Cochet G., Durand S., 2018, *Ré-ensauvageons la France, Plaidoyer pour une nature sauvage et libre*, p.24.

Costamagno S., 1999 - *Stratégies de chasse et fonction des sites au Magdalénien dans le Sud de la France*. Thèse de Doctorat en Préhistoire et Géologie du Quaternaire, Université de Bordeaux I.

Couturier S., Côté SD., Huot J., and Otto RD., 2009 - *Body-condition dynamics in a northern ungulate gaining fat in winter*. Canadian Journal of Zoology 87(5) : 367-378.

Cretin C., Le Licon-Julien G., 1997 - *Premières comparaisons sur la technologie du débitage du Magdalénien ancien : les Jamblancs (Dordogne, France) et l'Abri Fritsch (Indre, France)*. PALÉO, 9, 1997, p. 245-262, 10 fig., 4 ph.

Crowley BE., Miller JH., and Bataille CP., 2017 - *Strontium isotopes ($87\text{Sr}/86\text{Sr}$) in terrestrial ecological and palaeoecological research: empirical efforts and recent advances in continental-scale models*. Biological Reviews 92(1):43-59.

Colleter R., Hinguant S., 2020 - *Le Solutréen de la vallée de l'Erve (Mayenne) Dix ans de recherche dans la grotte Rochefort*. Société préhistorique française, 2020, 442 pages

Cook, Gerhard A., Lauer, Carol M., 1968 – *Oxygen*, in Clifford A. Hampel. The Encyclopedia of the Chemical Elements. New York: Reinhold Book Corporation.

Cretin C., Le Licon-Julien G., 1997 - *Premières comparaisons sur la technologie du débitage du Magdalénien ancien : Les Jamblancs (Dordogne, France) et l'Abri Fritsch (Indre, France)*. Paléo, Revue d'Archéologie Préhistorique

Cubizolle H., 2009 - *Paléoenvironnements*, Paris, France, A. Colin, 271 ; 8 p

Czére O., Lawson J.A., Müldner G., Evans J., Boyle A., Britton K., 2022 - *The Bodies in the 'Bog': A Multi-Isotope Investigation of Individual Life-Histories at an Unusual 6th/7th AD Century Group Burial from a Roman Latrine at Cramond, Scotland*. *Archaeological and Anthropological Sciences* 14(4):67.

Danell K., Bergström R., Duncan P., Pastor J., 2006 - *Large herbivore ecology, ecosystem dynamics and conservation*. Cambridge University Press.

Dansgaard, W., Johnsen, S., Clausen, H.B., Dahl-Jensen, D., Gundestrup, N., Hammer, C.U., Oeschger, H., 1984 - *North Atlantic climatic events revealed by deep Greenland ice cores*. In: Hansen, J.E., Takahashi, T. (Eds.), *Climate Processes and Climate Sensitivity*. American Geophysical Union, Washington, pp. 288–298.

Dansgaard *et al.*, 1993 - Evidence for general instability of past climate from a 250-kyr ice-core record. *Nature* 364, 218–220 (1993)

David F., 1994 - *La faune de mammifères de Pincevent et Verberie*, in : Taborin (dir.), *Environnements et habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien*, Paris, Éditions de la Maison des sciences de l'homme (Documents d'archéologie française, 43), p.105-174.

David F., Enloe J.G., Mourer-Chauviré C., Bignon-Lau O., 2014 - *La faune : espèces chassées, consommées ou utilisées*, in *Un automne à Pincevent : Le campement magdalénien du niveau IV20*, p. 77-83.

Debout G., 2007 - *Le Badegoulien de la moitié nord de la France. Un état des connaissances*. *Bulletin de la Société préhistorique française*, Année 2007, 104-4, pp. 661-679.

Debout G., Olive M., Bignon O., Bodu P., Chehmana L., Valentin B., 2012 - *The Magdalenian in the Paris Basin: New results*, *Quaternary International*, 272–273, p. 176-190.

Delarue R., Vignard E., 1958 - *Le Protomagdalénien I do deuxième Redan de Nemours (Seine-et-Marne)*. *Bulletin de la Société préhistorique française*, t. 55, no 9, 1958, p. 529-538

Delibrias G, Evin J., 1980 - *Sommaire des datations 14C concernant la préhistoire en France, II. - Dates parues de 1974 à 1978*, in Bulletin de la Société Préhistorique Française, Tome 77, 7 ; p.215-224.

Descamps, S., Aars, J., Fuglei, E., Kovacs, K.M., Lydersen, C., Pavlova, O., Pedersen, Å.Ø., Ravolainen, V., Strøm, H., 2017 - *Climate change impacts on wildlife in à High Arctic Archipelago – Svalbard, Norway*. Global Change Biology. 23, 490–502.

Delvigne V., 2016 - *Géoressources et expressions technoculturelles dans le sud du Massif central au Paléolithique supérieur : des déterminismes et des choix*, Thèse de doctorat, Université de Bordeaux.

Delvigne D., Angevin R., Fernandes P., Lethrosne H., 2021 - *Réseau de lithothèques en région Centre-Val de Loire [notice archéologique]*, ADLFI. Archéologie de la France - Informations [En ligne], Centre-Val de Loire, mis en ligne le 26 janvier 2021, consulté le 07 février 2023.

Demoule JP., 2002 - *Guide des méthodes de l'archéologie*, Demoule JP. (dir.) p. 36.

DeNiro M.J., Epstein S., 1978 - *Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals*. Geochimica et Cosmochimica Acta, Volume 42, Issue 5, May 1978, Pages 495-506
Discamps E., Jaubert J., and Bachellerie F., 2011 - *Human choices and environmental constraints: deciphering the variability of large game procurement from Mousterian to Aurignacian times (MIS 5-3) in southwestern France*. Quaternary Science Reviews 30(19) : 2755-2775.

Drucker D., 2001 - *Validation méthodologique de l'analyse isotopique d'ossements fossiles et apports aux reconstructions paléoécologiques du Paléolithique supérieur du Sud-Ouest de la France*. Thèse de Doctorat en Géochimie, Université Paris VI - Pierre et Marie Curie.

Drucker D., Bocherens H., Pike-Tay A., and Mariotti A., 2001 - *Isotopic tracking of seasonal dietary change in dentine collagen: preliminary data from modern caribou*. Earth and Planetary Sciences 333 : 303-309.

Drucker D., 2007 - *Les Cervidés durant le Tardiglaciaire et l'Holocène ancien en Europe occidentale: approche isotopique*, in Beyries S. et Vat. V. (Ed.) : *Les civilisations du Renne d'hier et d'aujourd'hui. Approches ethnohistoriques, archéologiques et anthropologiques*, XXVIIe rencontres internationales d'archéologie et d'histoire d'Antibes. APDCA, Antibes, p. 243-254.

Drucker DG., Hobson KA., Münzel SC., Pike-Tay A., 2012 - *Intra-individual variation in stable carbon ($\delta^{13}C$) and nitrogen ($\delta^{15}N$) isotopes in mandibles of modern caribou of Qamanirjuaq (*Rangifer tarandus groenlandicus*) and Banks Island (*Rangifer tarandus pearyi*): Implications for tracing seasonal and temporal changes in diet*. *International Journal of Osteoarchaeology* 22(4):494-504.

Ducasse S., 2010 - *La "parenthèse" badegoulienne: fondements et statut d'une discordance industrielle au travers de l'analyse techno-économique de plusieurs ensembles lithiques méridionaux du Dernier Maximum Glaciaire*. Thèse de doctorat, Université Toulouse 2 - Le Mirail, 2010, 460 p., sur halshs.archives-ouvertes.fr

Ducasse S., Chauvière FX., Pétilion JM., 2020 - *Breaking bad? Discarding the solutrean norms: Chronology, evolution and geographical extent of the badegoulian phenomenon in Western Europe*, *Quaternary International*.

Ecker M., Bocherens H., Julien M.-A., Rivals F., Raynal J.-P., Moncel M.-H., 2013 - *Middle Pleistocene ecology and Neanderthal subsistence: Insights from stable isotope analyses in Payre (Ardeche, Southeastern France)*, *J. Hum. Evol.* 65, 363e373.

Elvebakk, A., 2005 - *A vegetation map of Svalbard on the scale 1:3.5 mill.* *Phytocoenologia*. 35, 951–967.

Enloe J. G., 1994 - *Comparaison entre les troupeaux de rennes de Pincevent et de Verberie*, in Taborin Y. (dir.), *Environnements et habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien*. Paris : Maison des Sciences de l'Homme (Documents d'Archéologie Française n° 43), pp. 115-117.

Enloe J.G., 1997 - *Seasonality and age structure in remains of *Rangifer tarandus*: Magdalenian hunting strategy at Verberie*. *Anthropozoologica*, n° 25-26, pp. 95-102.

Enloe J.G., 2000a - *Le Magdalénien du Bassin parisien au Tadi-glaciaire : la chasse au rennes comparée à celle d'autres espèces*, in : Pion G. (dir.), *Le Paléolithique supérieur récent : nouvelles données sur le peuplement et l'environnement. Actes de la Table ronde de Chambéry 12-13 mars 1999*, Mémoire XXVIII. Paris : Société Préhistorique Française, pp. 39-45.

Enloe J.G., 2000b - *Readaptation : changes in Magdalenian subsistence and social organization*. In: Peterkin G. L. & Price H. A. (eds), *Regional approaches to adaptation in Late Pleistocene Western Europe*. Oxford : British Archaeological Reports International Series, 896, pp. 115-120

Enloe J. G., 2000c - *Chasse au cheval dans le Bassin parisien*. *La Recherche*, n° 332, pp. 20-22.

Errico F., Vanhaeren M., 2002 - *Criteria for Identifying Red Deer (Cervus elaphus) Age and Sex from Their Canines. Application to the Study of Upper Paleolithic and Mesolithic Ornaments*. *Journal of Archaeological Science*, Volume 29, Issue 2, February 2002, Pages 211-232

Fisher CM., McFarlane CRM., Hanchar JM., Schmitz MD., Sylvester PJ., Lam R., Longrich HP., 2011 - *Sm-Nd isotope systematics by laser ablation-multicollector-inductively coupled plasma mass spectrometry: Methods and potential natural and synthetic reference materials*. *Chemical Geology* 284(1) :1-20.

Fincham, A. G., Moradian-Oldak, J. & Simmer, J. P. 1999. *The Structural Biology of the Developing Dental Enamel Matrix*. *Journal of Structural Biology*. 126 : 270-299

Fizet M., Lange-Badré B., 1995 - *$\delta^{13}C$ et $\delta^{15}N$ du collagène des mammifères : Reconstitution des relations trophiques et du paléoenvironnement du gisement de Marillac (France, Pléistocène supérieur)*. *Geobios*, Volume 28, Supplement 1, 1995, Pages 167-181

Fontana L., 2018, « Les cervidés », dans *Disparus ? Les mammifères au temps de Cro-Magnon en Europe. Catalogue d'exposition Musée du Malgré-Tout*, sous la direction de Pierre Cattelain, Marie Gillard et Alison Smolderen, Treignes, Éditions du Cedarc, p. 75-100.

Gadbury C., Todd L., Jahren A.H., Amundson R., 2000 - *Spatial and temporal variations in the isotopic composition of bison tooth enamel from the Early Holocene Hudson–Meng Bone Bed, Nebraska*. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Volume 157, Issues 1–2, 15 March 2000, Pages 79-93.

Garanger J., Chavaillon J., Leroi-Gourhan A. (dir.), 1992 – *La Préhistoire dans le monde*, Paris, Presses universitaires de France, coll. Nouvelle Clio, 838 p.

Geist V., 1998 - *Deer of the world: their evolution, behavior, and ecology*. Mechanicsburg, PA : Stackpole Books.

Genest J.-M., 1985 - *Analyse lithique d'industries moustériennes du Périgord : une approche technologique du comportement des groupes humains au Paléolithique moyen*. Thèse - Université de Bordeaux I, 2 vol., x-572 p.

Gigleux C., Grimes V., Tütken T., Knecht R., and Britton K., 2019 - *Reconstructing caribou seasonal biogeography in Little Ice Age (late Holocene) Western Alaska using intra-tooth strontium and oxygen isotope analysis*. *Journal of Archaeological Science: Reports* 23 :1043-1054.

Guiserix D., Albalat E., Ueckermann H., Davechand P., Iaccheri LM., Bybee G., Badenhorst S., and Balter V., 2022 - *Simultaneous analysis of stable and radiogenic strontium isotopes in reference materials, plants and modern tooth enamel*. *Chemical Geology* 606 :121000.

Guthrie R.D., 1982 - *Mammals of the mammoth steppe as paleoenvironmental indicators*, p. 307-329.

Guthrie R.D., 1984 - *Mosaics, allelochemicals, and nutrients. An ecological theory of Late Pleistocene megafaunal extinction*, *Quaternary extinctions*, p. 259-298.

Guthrie D.R., 1990 - *Frozen fauna of the Mammoth Steppe: the story of the Blue Babe*. University of Chicago Press, 323 p.

Hansen B.B., Henriksen S., Aanes R., Sæther B.E., 2007 - *Ungulate impact on vegetation in a two-level trophic system*. *Polar Biology* 30:549–558.

Hansen B.B., Aanes R., 2012 - *Kelp and seaweed feeding by High-Arctic wild reindeer under extreme winter conditions*. Polar Research. 31, 17258.

Hansen B.B., Gamelon M., Albon S.D., Lee A.M., Stien A., Irvine R.J., Sæther B.-E., Loe L.E., Ropstad E., Veiberg V., Grøtan V., 2019 - *More frequent extreme climate events stabilize reindeer population dynamics*. Nature Communications. 10, 1616.

Hansen B.B., Pedersen Å.Ø., Peeters B., Le Moullec M., Albon S.D., Herfindal I., Sæther B., Grøtan V., Aanes R., 2019 - *Spatial heterogeneity in climate change effects decouples the long-term dynamics of wild reindeer populations in the high Arctic*. Global Change Biology. 25, 3656–3668.

Hartz N., Milthers V., 1901 - *Det sen-glaciale ler i Allerød Teglvaerksgrav*. Meddelelser Danmarks Geol. Forening 8, 31–59.

Hatté C., Antoine P., Fontugne M., Lang A., Rousseau D.D., Zöller Z., 2001 - *$\delta^{13}C$ of Loess Organic Matter as a Potential Proxy for Paleoprecipitation*. Quaternary Research, Volume 55, Issue 1, January 2001, Pages 33-38

Heinrich H., 1988 - *Origin and consequences of cyclic ice rafting in the Northeast Atlantic Ocean during the past 130,000 years*. Quaternary Research, Volume 29, Issue 2, March 1988, Pages 142-152

Hewitt, G.M., 1999 - *post-glacial re-colonization of European biota*. Biological journal of the Linnean Society. 68, 87–112.

Hillson S., 1986 - *Archaeology and the study of teeth*. Endeavour, Volume 10, Issue 3, 1986, Pages 145-149.

Hillson S., 2005 - *Teeth*, Cambridge.

Hinguant S., Colleter R. (dir.) avec les contributions de Arellano A., Béarez P., Bemilli C., Biard M., Bodinier B., Chaut J.-J., Debret M., Desclaux E., El Guennouni K., Hanquet C., Laignel B., Lenormand A., Marcoux N., Moullé P.-É., Noël F., Peschaux C., Pigeaud R.,

Pommier V., Rodet J., Roger T., Tsobgou Ahoupé R., Vissac C., 2010 - *Le Solutréen de la grotte Rochefort (Saint-Pierre-sur-Erve, Mayenne)*. Rapport de fin d'opération triennale 2008-2010, campagne 2010 (3/3), Rennes et Nantes, Service régional de l'archéologie des Pays de la Loire, 210 p.

Hinguant S., Bemilli C., 2012 – *Premiers résultats sur les comportements de subsistance solutréens à la grotte Rochefort (Mayenne, France)*. *Espacio Tiempo y Forma Serie I Prehistoria y Arqueología* 1(5).

Hinguant S., 2020 - *Les implications chronoclimatiques, paléoenvironnementales et culturelles du Solutréen de la grotte Rochefort*, In *Le Solutréen de la vallée de l'Erve (Mayenne) : dix ans de recherche dans la grotte Rochefort*. (pp.328-331). Edition: Hinguant S. & Colleter R. (dir.). Société préhistorique française

Holt E., Evans JA., Madgwick R., 2021 - *Strontium ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) mapping: A critical review of methods and approaches*. *Earth-Science Reviews* 216 :103593

Hoppe K.A., Amundson R., Vavra M., McClaran M.P., Anderson D. L., 2004 - *Isotopic analysis of tooth enamel carbonate from modern North American feral horses: implications for paleoenvironmental reconstructions*, *Palaeogeography, Palaeoecology, Palaeoecology* 203, 299-311

Iversen J., 1954 - *The late-glacial flora of Denmark and its relation to climate and soil*, *Environmental Science*

Johansen, B., Tømmervik, H., 2014 - *The relationship between phytomass, NDVI and vegetation communities on Svalbard*. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 27, 20–30.

Johansen, B.E., Karlsen, S.R., Tømmervik, H., 2012 - *Vegetation mapping of Svalbard utilising Landsat TM/ETM+ data*. *Polar Record*. 48, 47–63.

Joly K., Gunn A., Côté S.D., Panzacchi M., Adamczewski J., Sutor M.J., Gurarie E., 2021 - *Caribou and reindeer migrations in the changing Arctic*. *Animal Migration*. 8, 156–167.

Jones, J.R., Marín-Arroyo A.B., Straus L.G., Richards M.P., 2020 - *Adaptability, resilience and environmental buffering in European Refugia during the Late Pleistocene: Insights from La Riera cave (Asturias, cantabria, Spain)*. Scientific Reports. 10, 1–17.

Julien M. et Karlin C., 2007 : Variations saisonnières chez des Magdaléniens et des Sibériens. Approche ethnoarchéologique, in Beyries S. et Vaté V. (dir.), *Les civilisations du renne d’hier et d’aujourd’hui. Approches ethnohistoriques, archéologiques et anthropologiques*. XXVIIème rencontres internationales d’archéologie et d’histoires d’Antibes, éditions APDCA, Antibes, 2007.

Julien M., Karlin C., 2014 - *Un automne à Pincevent - Le campement magdalénien du niveau IV20*. Paris, Société préhistorique française, Mémoire n° 57.

Julien M., Rieu J.-L. (dir.), 1999 - *Occupations du Paléolithique supérieur dans le Sud-Est du Bassin parisien*. Paris : Editions de la Maison des Sciences de l’Homme (Documents d’Archéologie Française n°78).

Kelly R. L., 1983 - *Hunter-gatherer mobility strategies*. *Journal of Archaeological Research*, vol. 39, n° 3, pp. 277-304.

Kelsall J.P., 1968 - *The Migratory Barren-Ground Caribou of Canada*. Book

Koch P. L., Heisinger J., Moss C., Carlson R.W., Fogel M.L., Behrensmeyer A.K., 1995 - *Isotopic tracking of change in diet and habitat use in African elephants*. *Science*, 267 :1340-1343.

Koch P.L., Tuross N., Fogel M.L., 1997 - *The effects of sample treatment and diagenesis on the isotopic integrity of carbonate in biogenic hydroxyapatite*. *Journal of Archaeological Science*. 24, 417-429.

Kristensen D.K., Kristensen E., Forchhammer M.C., Michelsen A., Schmidt N.M., 2011 - *Arctic herbivore diet can be inferred from stable carbon and nitrogen isotopes in C3 plants, faeces, and wool*. *Canadian Journal of Zoology*. 89, 892–899.

Kumpula J., 2001 - *Winter grazing of reindeer in woodland lichen pasture. Effects of lichen availability on the condition of reindeer*, Small Ruminant Research, 39, p. 121-130.

Kuntz D., 2011 - *Ostéométrie et migration(s) du renne (Rangifer tarandus) dans le Sud-Ouest de la France au cours du dernier Pléniglaciaire et du Tardiglaciaire (21 500 - 13 000 cal. BP)*, Thèse de Doctorat, Université Toulouse le Mirail - Toulouse II.

Lazzerini N., Balter V., Coulon A., Tacail T., Marchina C., Lemoine M., Bayarkhuu N., Turbat T., Lepetz S., and Zazzo A., 2021 - *Monthly mobility inferred from isoscapes and laser ablation strontium isotope ratios in caprine tooth enamel*. Scientific Reports. 11(1) :2277.

Leader-Williams N., 1988 - *Reindeer on South Georgia, the ecology of an introduced population*. Cambridge University Press, Cambridge, 319 p.

Le Corre M., Catz N., Balasse M., Bignon-Lau O., Grimes V., Britton K. (to be published)- *Isotope evidence for the seasonal biogeography of reindeer (Rangifer tarandus) in levels IV0 and IV20 at Pincevent*.

Le Corre M., Dussault C., and Côté SD., 2020 - *Where to spend the winter? The role of intraspecific competition and climate in determining the selection of wintering areas by migratory caribou*. Oikos 129(4):512-525.

Le Corre M., Grimes V., Lam R., Britton K., 2023 - *Comparison between strip sampling and laser ablation methods to infer seasonal movements from intra-tooth strontium isotopes profiles in migratory caribou*. Scientific Reports 13(1) : 3621.

Leduc C., 2010 - *Acquisition et exploitation des ressources animales au Maglemosien : essai de reconstitution des chaînes opératoires globales d'exploitation d'après l'analyse des vestiges osseux des sites de Mullerup et Lundby Mose (Sjaelland-Danemark)*, Paris 1.

Le Gueut E., Ramirez Galicia A., Torterat G. Bignon-Lau O., 2022 - *Photographier Pincevent - La production et la transmission de nouvelles représentations au fil du temps comme mode de connaissance*. Les nouvelles de l'archéologie, 170, p. 13-19

Le Moullec M., Pedersen Å.Ø., Stien A., Rosvold J., Hansen B.B., 2019 - *A century of conservation: The ongoing recovery of Svalbard reindeer*. The Journal of Wildlife Management. 83, 1676–1686.

Leroi-Gourhan A., Brézillon M., 1972 - *Fouilles de Pincevent : essai d'analyse ethnographique d'un habitat magdalénien (la section 36)*. Paris : C. N. R. S. Editions (VIIe supplément à Gallia Préhistoire).

Leroi-Gourhan A., Brézillon M., 1983 - *Fouilles de Pincevent : essai d'analyse ethnographique d'un habitat magdalénien, la section 36*, Paris, France, Editions du Centre national de la recherche scientifique, 345 p.

Leroi-Gourhan A., 1984 - *Analyse pollinique*, in Trotignon F., Poulain T., Leroi-Gourhan A. (dir.), *Etudes sur l'Abri Fritsch (Indre)*, XIXe supplément à Gallia Préhistoire, Editions du CNRS, p. 111-115.

Leroyer C., Deloze V., Krier V., 1994 - *Chapitre 3. Attributions chronostratigraphiques*, in book : *Le Paléolithique moyen dans le nord du Sénonais (Yonne)*.

Leroyer C., 1997 - *Homme, climat, végétation au Tardi-et-Postglaciaire dans le Bassin parisien : apports de l'étude palynologique des fonds de vallées*. Thèse de l'Université Paris I Panthéon Sorbonne, 2 vol.

Leroyer C., 1999 - *Homme, climat, végétation au tardi- et postglaciaire dans le Bassin parisien : apports de l'étude palynologique des fonds de vallée*, Lille, France, Atelier national de Reproduction des Thèses.

Leroyer C., Allenet de Ribemont G., Chaussé C., 2014 - *Le paysage végétal durant le Tardiglaciaire : Bazoches-lès-Bray, une référence pour le site de Pincevent*, in *Un automne à Pincevent : Le campement magdalénien du niveau IV20*, p. 39-48.

Levin N.E., Cerling T.E., Passey B.H., Harris J.M., Ehleringer J.R., 2006 - *A stable isotope aridity index for terrestrial environments*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 103, 11201e11205.

Macdonald D., 1984 - *The Encyclopedia of Mammals*. London: George Allen & Unwin

MacFadden B.J., 2008 - *Geographic variation in diets of ancient populations of 5-million-year-old (early Pliocene) horses from southern North America*. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* ; 266 : 83–94.

Ma C., Vander Zanden HB., Wunder MB., and Bowen GJ., 2020 - *assignR: An R package for isotope-based geographic assignment*. *Methods in Ecology and Evolution* 11(8):996-1001.

Madgwick R., Lamb AL., Sloane H., Nederbragt AJ., Albarella U., Pearson MP., and Evans JA., 2019 - *multi-isotope analysis reveals that feasts in the Stonehenge environs and across Wessex drew people and animals from throughout Britain*. *Science Advances* 5(3): eaau6078.

Maguas C., Brugnoli E., 1996 - *Spatial variation in carbon isotope discrimination across the thalli of several lichen species*. *Plant, Cell & Environment*, 19, 437- 446.

Margarini R., 2022 - *L'industrie osseuse de l'abri Fritsch (couche C1 à C5c) : état de la série, inventaire et premières données typo-technologiques*, in Mevel et Griselin (dir.), *Du dernier maximum glaciaire à l'optimum climatique dans le Bassin parisien et ses marges Habitats, sociétés et environnements, sociétés et environnements*, Projet Collectif de Recherche, Axes 2, 3 et 4, p.77-94.

Mangerud J., Andersen S.T., Berglund B.E., Donner J.J., 1974 - *Quaternary stratigraphy of Norden, a proposal for terminology and classification*, *Boreas*, Oslo, vol. 3, 1974, p. 109-128

Mangerud J., Berglund B.E., 1978T - *The subdivision of the Quaternary of Norden: a discussion*, *Boreas*, Oslo, vol. 7, 1978, p. 179-181.

Margolis HC., Beniash E., Fowler CE., 2006 - *Role of macromolecular assembly of enamel matrix proteins in enamel formation*. *Dental Research* ; 2006 Sep ; 85(9) : 775-93.

Mauger, M., 1994. L'approvisionnement en matériaux siliceux au Paléolithique supérieur. In : Taborin, Y. (Ed.), *Environnements et habitats magdaléniens : le centre du Bassin parisien*. Paris,

Documents d'Archéologie Française, n°43 ; éditions de la Maison des Sciences de l'Homme, Paris, pp. 78-93.

Mellars PA., 2004 - *Reindeer specialization in the early Upper Paleolithic: the evidence from south west France*. Journal Of Archaeological Science 31(5) :613-617.

Merceron G., Colyn M., Geraads D., 2018 - *Browsing and non-browsing extant and extinct giraffids: Evidence from dental microwear textural analysis*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 505, 128–139.

Merceron G., Escarguel G., Angibault J.-M., Verheyden-Tixier H., 2010. *Can dental microwear textures record dietary inter-individual dietary variations?* Public Library of Science ONE. 5(3): e9542.

Merceron G., Ramdarshan A., Blondel C., Boisserie J.-R., Brunetiere N., Francisco A., Gautier D., Milhet X., Novello A., Pret D., 2016 - *Untangling the environmental from the dietary: dust does not matter*. Proceedings of the Royal Society of Biological Sciences. 283, 20161032.

Mevel, L., 2013 – Magdalenian pioneers in the northern French Alps, 17 000 cal BP. *Antiquity*, 87, 384-404.

Moine O., 2008 - West-European malacofauna from loess deposits of the weichselian upper pleniglacial: compilation and preliminary analysis of the data base, *Quaternaire*, 19 (1), p. 11-29.

Moine O., Antoine P., Deschodt L., Sellier-Segard N., 2011 – Enregistrements malacologiques à haute résolution dans les loess et les gleys de toundra du Pléniglaciaire weichselien supérieur : premiers exemples du nord de la France, *Quaternaire*, 22, 4, p. 307- 325.

Montoya C., Bignon O., Peschaux C., Rassat S., 2011 – Chézy sur Marne (Aisne), « Le Colombier », Rapport de fouille programmée 2011, Service Régional de l'Archéologie.

Montoya C., Averbouh A., Bignon O., Dumarçay G., Goutas N., Peschaux C., Rassat S. (2012). – Fouille programmée de Chézy-sur-Marne (02) « le Colombier ». Autorisation de fouille

trisannuelle 2012-2014. Code Patriarche 10437, rapport de fouille, service régional d'archéologie de Picardie, Amiens, 83 p

Montoya C., 2014 - *Fouille programmée de Chézy sur Marne (02), « Le Colombier », Rapport de fouille de synthèse 2012-2014.*

Montoya C., Averbouh A., Bignon-Lau O., Dumarçay G., Goutas N., Pasquini A., Peschaux C., Rassat S., 2019 - *Le « Colombier » à Chézy-sur-Marne (Aisne, France) : analyses préliminaires d'un site inédit du Dernier Maximum Glaciaire*, in P. Bodu, C. Paris and C. Montoya (eds.), *Paletnologie du Paléolithique supérieur ancien : où en sommes-nous ?*, XXVIII^e Congrès préhistorique de France, Préhistoire de l'Europe du Nord-Ouest : mobilités, climats et identités culturelles, session 2 (Amiens, 30 mai-4 juin 2016), Paris, Société préhistorique française, Collection Congrès préhistorique de France, p. 141-163.

Niven L., Steele T.E., Rendu W., Mallye J.-B., McPherron S.P., Soressi M., Jaubert J., Hublin J.-J., 2012 - *Neandertal mobility and large-game hunting: the exploitation of reindeer during the Quina Mousterian at Chez-Pinaud Jonzac (Charente-Maritime, France)*. *Journal of human evolution*. 63, 624–635.

Ollivier C., Chaussé C., 2012 - *Un nouveau site magdalénien sur la commune de Corbeil-Essonnes (Essonne)*. *Les Nouvelles de l'Archéologies*.

Orliac M., 1994 - *Le climat de Pincevent : données issues de l'observation des sédiments*. In : Taborin Y. (dir.), *Environnements et habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien*. Paris : Editions de la Maison des Sciences de l'homme (Documents d'Archéologie Française n° 43), pp. 36-38.

Orliac M., 2006 - *Position stratigraphique du niveau IV0*, in Bodu P., Julien M., Valentin B., Debout G. (dir.), *Un dernier hiver à Pincevent : les Magdaléniens du niveau IV0 (Pincevent, La Grande Paroisse, Seine-et-Marne)* (coll. Gallia Préhistoire).

Orliac M., 2014 - *Le contexte stratigraphique*, in M. Julien et C. Karlin (dir.), *Un automne à Pincevent, Le campement magdalénien du niveau IV20*, Paris, SPF (coll. Mémoire, LVII), p. 31-34.

Park R., Epstein S., 1960 - *Carbon isotope fractionation during photosynthesis*. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Volume 21, Issues 1–2, December 1960, Pages 110-126

Pastre J.-F., Leroyer C., Limondin-Lozouet N., Chausse C., Fontugne M., Gebhardt A., Hatte C. & Krier V., 2000 - *Le Tardiglaciaire des fonds de vallée du Bassin parisien (France)*. *Quaternaire*, vol. 11, n° 2, pp. 107-122.

Patou-Mathis M., 1994 - *Outillage peu élaboré en os et en bois de Cervidés : taphonomie, bone modification*. *Artefacts 9*, VIe Table ronde. Belgique : Editions du Centre d'Etudes et de documentation archéologique.

Pedersen Å.Ø., Beumer L.T., Aanes R., Hansen B.B., 2021 - *Sea or summit? Wild reindeer spatial responses to changing high-arctic winters*. *Ecosphere*. 12, e03883.

Pederzani S., Britton K., 2019 - *Oxygen isotopes in bioarchaeology: Principles and applications, challenges and opportunities*. *Earth-Science Reviews* 188:77-107.

Peschoux, C., 2008 - Les Curiosa : premières observations. In *Le gisement badegoulien du mont Saint-Aubin, Oisy (Nièvre)*, Document final de synthèse de fouille programmée 2006–2008, P. Bodu (dir.), 108–113. Service Régional Archéologique de Bourgogne, Dijon.

Peschoux C., 2017 - *La parure des sociétés du Dernier Maximum Glaciaire. Evolution des pratiques et traditions ornementales entre la fin du Solutréen, le Badegoulien et le début du Magdalénien dans les Bassins parisien, ligérien et aquitain*, thèse de Doctorat, université de Paris 1 Panthéon-Sorbonne, 296 p.

Peschoux C., Ligouis B., 2021 - Objets en « pierres tendres noires » de Pincevent (tous niveaux) : bilan des résultats des analyses de pétrologie organique. In O., Bignon-Lau (dir.), *Opération archéologique programmée du site de Pincevent, autorisation 2020-2022*, 173-182

Pétillon J.-M., 2016 - *Technological Evolution of Hunting Implements among Pleistocene Hunter-Gatherers: Osseous Projectile Points in the Middle and Upper Magdalenian (19–14 ky cal BP)*. *Quaternary International*, 414, p. 108-134.

Pétillon J.-M., Averbouh A., 2013 - *L'industrie osseuse du Solutréen au Magdalénien moyen dans le Bassin parisien. Le Paléolithique supérieur ancien de l'Europe du Nord-Ouest*, Sens, France. pp.143-158. Halshs - 00837926

Peyrony, D., 1908 – Nouvelles fouilles à Badegoule (Dordogne), Solutréen supérieur et transition du Solutréen au Magdalénien. *Revue préhistorique*, 4, 97-116.

Peyrony D., 1912 - Nouvelles fouilles aux Champs Blancs ou Jean Blancs, AFAS, 41ème session, Nîmes, 3 août, pp. 522-528.

Poulain TH., 1984 - *Analyse de la faune*, in Trotignon F., Poulain T., Leroi-Gourhan A. (dir.), *Etudes sur l'Abri Fritsch (Indre)*, XIXe supplément à Gallia Préhistoire, Editions du CNRS, p. 111-115.

Price TD., Knudson KJ., Buikstra J., Blom DE., 2001 - *Tiwanaku residential mobility as determined by strontium and lead isotope analysis*, in: 66th Annual Meeting of the Society for American Archaeology, p 18-22.

Price TD., Meiggs D., Weber M.-J., and Pike-Tay A., 2017 - *The migration of Late Pleistocene reindeer: isotopic evidence from northern Europe*. *Archaeological and Anthropological Sciences* 9(3):371-394.

Provan J., Bennett K.D., 2008 - *Phylogeographic insights into cryptic glacial refugia*. *Trends in Ecology & Evolution*. 23, 564–571.

Prud'homme C., Antoine P., Moine O., Turpin E., Hugue-Nard L., Robert V., Degeai J. P. (2015) – Earthworm Calcite Granules (ECG): a New Tracker of Millennial-Timescale Environmental Changes in Last Glacial Loess Deposits, *Journal of Quaternary Science*, 30, 6, p. 529-536.

Prud'homme C., Lécuyer C., Antoine P., Moine O., Hatté C., Fourel F., Martineau F., Rousseau D. D. (2016) – Palaeotemperature Reconstruction during the Last Glacial from $\delta^{18}\text{O}$ of Earthworm Calcite Granules from Nussloch Loess Sequence, Germany, *Earth Planetary Science Letters*, 442, p. 13-20.

Puissegur J. J., 1976 - *Mollusques continentaux quaternaires de Bourgogne. Significations stratigraphiques et climatiques*. Rapports avec d'autres faunes boréales de France. Paris: Doin.

Ramdarshan A., Blondel C., Gautier D., Surault J., Merceron G., 2017 - *Overcoming sampling issues in dental tribology: Insights from an experimentation on sheep*. *Palaeontologia Electronica*. 20, 1–19.

Renard C., 2002 - Des témoins solutréens en France septentrionale : un mode original de production de support de pointe à face plane (La Celle-St-Cyr, Yonne), *Bulletin de la Société préhistorique française*, 99, 3, p. 461-485.

Richards, M.P., Mays, S. & Fuller, B.T. (2002) Stable carbon and nitrogen isotope values of bone and teeth reflect weaning age at the Medieval Wharram Percy site, Yorkshire, UK. *American Journal of Physical Anthropology*, 119, 205-210.

Rigaud A., 2004 – *Fiche transformation du bois de renne au Badegoulien. L'exemple de l'abri Fritsch (Indre, France)*, in D. Ramseyer (dir.), *Industrie de l'os préhistorique*, Cahier 11 « Matières et techniques », Paris, Société Préhistorique Française, p. 75-78.

Rioux È., Pelletier F., St-Laurent M.-H., 2020 - *From diet to hair and blood: empirical estimation of discrimination factors for C and N stable isotopes in five terrestrial mammals*. *Journal of Mammalogy*. 101, 1332–1344.

Rodriguez P. Roblin-Jouve A., 1991 - *Nouveaux éléments chronostratigraphiques aux Tarterêts I (Essonne)*. *Bulletin de la Société préhistorique française*, Année 1991, 88-3 pp. 86-90.

Rodriguez P., 1994 - *La malacologie : contribution à la palécologie et la chronologie des habitats magdaléniens*. In: Taborin Y. (dir.), *Environnements et habitats magdaléniens dans le*

centre du Bassin parisien. Paris : Editions de la Maison des Sciences de l'homme (Documents d'Archéologie Française n° 43), pp. 39-58.

Rozanski K., Araguas-Araguas L., Gonfiantini R., 1993 - *Isotopic patterns in modern global precipitation*, in *Climate Change in Continental Isotope Records* (eds. Stewart, P. K., Lohmann, K. C., McKenzie, J. & Savin, S.) 1–36 (American Geophysical Union).

Rozoy J.-G., 1992 - *Le propulseur et l'arc chez les chasseurs préhistoriques*. Techniques et démographies comparées. *Paléo*, n° 4, pp. 175-193.

Rundel, P.W., Ehleringer, J.R., 1989 - *Stable Isotopes: History, Units, and Instrumentation*. In: Rundel, P.W., Ehleringer, J.R., Nagy, K.A. (eds) *Stable Isotopes in Ecological Research*. Ecological Studies, vol 68. Springer, New York, NY. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3498-2_1

Sacchi C., Schmider B., Chantret F., Roblin-Jouve A., Bouyssonie M., Drapier S., 1996 – *Le gisement Solutréen de Saint-Sulpice-de-Favière (Essonne)*, *Bulletin de la Société préhistorique française*, T. 93, No. 4 (Octobre-Décembre 1996), pp. 502-527 (26 pages)

Shields G., Veizer J., 2002 - *Precambrian marine carbonate isotope database: Version 1.1*. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* 3(6):1 of 12-12 of 12.

Schmider B., 1971 - *Les industries lithiques du Paléolithique supérieur en Ile-de- France*. Paris : Editions du C. N. R. S. (Supplément à Gallia Préhistoire).

Schmider B., 1996 - *Analyse de l'industrie lithique*, *Bulletin de la Société Préhistorique française*, 93 (4) : 510-527.

Schoeller D., 1999 - *Isotope Fractionation: Why Aren't We What We Eat?* *Journal of Archaeological Science*, Volume 26, Issue 6, June 1999, Pages 667-673

Schoeninger M., 1995 - *Stable isotope studies in human evolution*, *Evolutionary Anthropology* - Wiley Online Library

Schwartz-Narbonne R., Longstaffe F.J., Kardynal K.J., Druckenmiller P., Hobson K.A., Jass C.N., Metcalfe J.Z., Zazula G., 2019 - *Reframing the mammoth steppe: Insights from analysis of isotopic niches*, *Quaternary Science Reviews*, Volume 215, 1 July 2019, Pages 1-21.

Scott J.H., Symons N. B. B., 1974. - *Introduction to Dental Anatomy*. 7th ed. p. 321. Edinburgh and London: Livingstone.

Scott J.R., 2012 - *Dental microwear texture analysis of extant African Bovidae*. *Mammalia*. 76, 157–174.

Scott R.S., Ungar P., Bergstrom T.S., Brown C.A., Childs B.E., Teaford M.F., Walker A., 2006 - *Dental microwear texture analysis: technical considerations*. *Journal of Human Evolution*. 51, 339–349.

Scott, R.S., Ungar, P.S., Bergstrom, T.S., Brown, C.A., Grine, F.E., Teaford, M.F., Walker, A., 2005. *Dental microwear texture analysis shows within-species diet variability in fossil hominins*. *Nature*. 436, 693–695.

Skoog, R.O., 1968 – *Ecology of the Caribou in Alaska*. Dissertation. on. University of California, Berkeley, USA.

Soulier, M.-C. (2013) – *Entre alimentaire et technique : l'exploitation animale aux débuts du paléolithique supérieur : stratégies de subsistance et chaînes opératoires de traitement du gibier à Isturitz, La Quina aval, Roc-de-Combe et Les Abeilles*. Thèse de doctorat, Université de Toulouse II - Le Mirail, 548 p.

Spiess AE., 1979 - *Reindeer and caribou hunters : an archaeological study*. New York ; London: Academic Press. xiv,312p. p.

Stewart J.R., Cooper A., 2008 – «Ice age refugia and Quaternary extinctions: An issue of Quaternary evolutionary palaeoecology », *Quaternary Science Reviews*, vol. 27, no 27-28, p. 2443-2448.

Stewart J.R., Lister A.M., 2001 - *Cryptic northern refugia and the origins of the modern biota*. Trends in Ecology & Evolution. 16, 608–613.

Syroechkovskii E.E, 1995 - *Wild Reindeer*. Smithsonian Institution Libraries, Washington, 290p.

Taborin Y., 1993 - *La parure en coquillage au Paléolithique*. Paris : C. N. R. S. Editions (XXIXe supplément à Gallia Préhistoire).

Taborin Y., 1994 - *Environnements des habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien*. Paris : Edition de la Maison des Sciences de l'Homme (Documents d'Archéologie Française n° 43).

Teaford M.F., Ross C.F., Ungar P.S., Vinyard C.J., Laird M.F., 2021 - *Grit your teeth and chew your food: Implications of food material properties and abrasives for rates of dental microwear formation in laboratory *Sapajus apella* (Primates)*. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology. 583, 110644.

Theoret J, Cavedon M, Hegel T, Hervieux D, Schwantje H, Steenweg R, Watters M, and Musiani M., 2022 - *Seasonal movements in caribou ecotypes of Western Canada*. *Movement Ecology* 10(1):12.

Thery-Parisot, I. Costamagno S., *Propriétés combustibles des ossements : Données expérimentales et réflexions archéologiques sur leur emploi dans les sites paléolithiques*. *Gallia Préhistoire*, CNRS Editions, 2005, 47, pp.235-254. <hal-00425650>

Trotignon F., Poulain T., Leroi-Gourhan A., 1984 - *Études sur l'Abri Fritsch (Indre)*, XIXe supplément à Gallia Préhistoire, Éditions du CNRS.

Violou D., Vilhena Vialou A., 1990 - *Fressignes (Indre) : Campement solutréen au nord du Massif central*. In : Les industries à pointes foliacées du Paléolithique supérieur européen. Krakow 1989, ERAUL n° 42, Liège, 1990, : 335-345.

Violou D., Vilhena Vialou A., 1994 - *Pièces solutréennes de Fressignes (Indre, France). Observation techno-typologiques*. In : Monografias n° 17, Museo y centra de investigacion de Altamira, : 61-69, 7 fig. Ministerio de Cultura, Santander.

Vigne J.-D., 1988 - *Les mammifères Post-Glaciaire de Corse*. Paris : C. N. R. S. Editions (XXVIe supplément à Gallia Préhistoire).

Walker P., 1976 - *Wear striations on the incisors of cercopithecoid monkeys as an index of diet and habitat preference*. Am. J. Phys. Anthropol., 45, 299–307.

Wattez J., 1994 - *Micromorphologie des foyers d'Etiolles, de Pincevent et de Verberie*. In : Taborin Y., Environnements des habitats magdaléniens dans le centre du Bassin parisien. Paris : Edition de la Maison des Sciences de l'Homme (Documents d'Archéologie Française, n° 43), pp. 120-127.

Winkler D.E., Tütken T., Schulz-Kornas E., Kaiser T.M., Müller J., Leichliter J., Weber K., Hatt J.-M., Clauss M., 2020 - *Shape, size, and quantity of ingested external abrasives influence dental microwear texture formation in guinea pigs*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 117, 22264–22273.

Wunder MB., 2012 - *Determining geographic patterns of migration and dispersal using stable isotopes in keratins*. Journal of Mammalogy 93(2):360-367.

Xia J., Zheng J., Huang D., Tian Z.R., Chen L., Zhou Z., Ungar P.S., Qian L., 2015 - *New model to explain tooth wear with implications for microwear formation and diet reconstruction*. Proceedings of the National Academy of Sciences. 201509491.

Zhang W, Hu Z, Liu Y, Wu T, Deng X, Guo J, and H. 2018 - *Improved in situ Sr isotopic analysis by a 257nm femtosecond laser in combination with the addition of nitrogen for geological minerals*. Chemical Geology 479:10-21.

Zhao, L.Z., Colman, A.S., Irvine, R.J., Karlsen, S.R., Olack, G., Hobbie, E.A., 2019 - *Isotope ecology detects fine-scale variation in Svalbard reindeer diet: implications for monitoring herbivory in the changing Arctic*. Polar Biology. 42, 793–805.

Zhao, Z., Weiss, K. M. & Stock, D. W., 2000 - *Development and evolution of dentition patterns and their genetic basis*. In Teaford, M. F., Smith, M. M. & Ferguson, M. W. J. (Ed).

ANNEXES

ANNEXE 1 - ABRI FRITSCH : données supplémentaires pour l'approche

Références dans le texte :

PARTIE II – PRATIQUES D'EXPLOITATION DU GIBIER AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE DANS LE NORD DE LA France

CHAPITRE 1. L'abri Fritsch : une succession d'occupations humaines du Solutréen au Magdalénien

Nous présentons ici les travaux sur l'économie des ressources lithiques et malacologiques qui permettent une approche du territoire et de la mobilité des solutréens et badegouliens de l'abri Fritsch mais qui ne sont pas directement liées aux méthodes développées dans notre manuscrit.

Exploitation des ressources minérales et malacologiques

Les industries lithiques solutréennes et badegouliennes

Dans la région du Bassin parisien, l'industrie solutréenne est plus étudiée et caractérisée, à ce jour, que l'industrie badegoulienne, qui pose encore des problèmes d'interprétation sur le fondement des chaînes opératoires notamment (partie I, chap.2). D'un point de vue typologique : la feuille de laurier représente le solutréen et la raclette représente l'industrie badegoulienne. Or, pour certains, si on compare ces deux fossiles directeurs d'un point de vue technologique, on remarque une certaine perte en technicité (Cretin et Le Licon, 1997). Les industries badegouliennes de l'abri Fritsch sont le plus souvent citées dans la littérature pour évoquer la diffusion culturelle pré-magdalénienne au sein de la région sud du Bassin parisien ou au Nord de la région du centre de la France. Pour de nombreux auteurs, l'étude des vestiges lithiques du site et de leur exploitation technique permettent d'aborder la période de transition Solutréen/Badegoulien du fait de la riche séquence chrono-stratigraphique mise au jour. Ces discussions s'intègrent aux problématiques d'expansion territoriale des deux cultures que l'on rappelle par la suite.

Les industries lithiques solutréennes

Dans l'avant-propos de la monographie sur les niveaux badegouliens du gisement, le J. Allain annonce une publication à venir sur le Solutrén de l'abri Fritsch (Allain, 1984). Si cette monographie n'a pas vu le jour, quelques éléments de littérature apportent des informations sur les industries des couches 7 à 10 caractérisées comme étant solutréennes.

Lors des fouilles du gisement, quelques feuilles de laurier, éléments caractéristiques de l'industrie solutréenne, sont en effet découvertes sous forme de fragments. Malgré les premiers remontages initiés par F. Trotignon et G. Le Licon dans les années 1990 (Cretin et Le Licon, 1997), le contexte de découverte de ces fragments est encore source de questionnement notamment dans la compréhension des relations inter-stratigraphiques. Comme on l'a noté précédemment, le contexte stratigraphique fut compliqué à démêler lors des premières campagnes de fouilles, à tel point qu'une fouille stratigraphique fut privilégiée aux dépens d'interprétation paléolithiques (partie II, chap.1). À la suite de l'arrêt des fouilles sur le site et des premiers remontages, ce problème d'interprétation stratigraphique demeure.

En 2007, Thierry Aubry et ses collaborateurs, publient un réexamen des séries solutréennes et montrent que l'interprétation culturelle des couches « solutréennes » n'est pas résolue. On rappellera ici l'exemple d'un fragment de feuille de laurier provenant de la couche 7c (découvert en 1976), qui se raccorde avec un fragment au sein du même carré de la couche 9 trouvé deux ans plus tard en 1978 (Aubry *et al.*, 2007, p.703). Le constat des spécialistes en industrie lithique est révélateur, il n'existe aucune autre pièce de typologie solutréenne retrouvée au-dessus de l'unité 8d et absence complète d'éclat de façonnage dans les différentes sous-unités de la couche 7. De plus, seulement deux lamelles à dos sont identifiées dans l'assemblage lithique du site et proviennent des unités stratigraphiques 7b et 7z. Leur présence a été utilisée comme argument de l'attribution de la couche 7 au Solutrén, en se fondant sur l'absence de lamelle retouchée dans les couches 3 à 6, attribuées au Badegoulien. Ces premières conclusions ont permis d'isoler des ensembles qui englobent diverses unités stratigraphiques définies lors des fouilles de cette séquence (Trotignon *et al.*, 1984).

Si on se focalise souvent sur les feuilles de laurier au Solutrén, on ne s'intéresse que peu au débitage d'éclats. Qu'en est-il des autres vestiges lithiques techniques à Fritsch ? Quelques burins seraient liés à la production de supports laminaires (Allain, 1989). Les différents objectifs de production ne sont pas bien identifiés car les burins seuls sont abondants à Fritsch. Cette caractéristique rappelle les « caractéristiques typologiques du Solutrén

supérieur et en particulier [les] séries régionales où les burins sont fréquents » (Allain, 1989 ; Aubry *et al.*, 1998, p.171).

Pour une meilleure attribution de l'industrie à la période culturelle, certains chercheurs comparent les industries de l'abri Fritsch avec celles d'autres sites de la région (vallée de la Creuse ou de la Claise notamment ; Aubry *et al.*, 2007). Le site de Fressignes a livré des fragments de pointes foliacées notamment. Ces fragments correspondraient à des accidents intervenus lors de la transformation de la totalité des supports manquants ou seraient dus à un prélèvement de supports laminaires ou lamellaires bruts qui auraient été ensuite retouchés sur d'autres sites (Aubry *et al.*, 1998). On notera la mise en évidence de « déplacements de supports et de blocs bruts de silex du Turonien moyen et du Turonien supérieur sur le site de Fressignes constitue un argument indirect en faveur de la seconde hypothèse » (Aubry *et al.*, 1998, p. 181).

Dans les années 2010, Lucie Chehmana compare l'industrie solutréenne avec l'industrie badegoulienne pour tester l'hypothèse d'une continuité entre ces deux industries. Son but est d'identifier les prémices de certains traits techniques badegouliens dans l'industrie solutréenne. Pour ce faire, elle rappelle que la transition est marquée par l'abandon d'un type de retouche dite solutréenne largement répandu en Europe de l'Ouest. Ce type de « retouche rasante et envahissante aussi bien employé pour la confection d'outils spécifiques que pour le façonnage minutieux des armatures de projectiles » est, d'après elle, l'un des principaux marqueurs de l'unité de la tradition solutréenne. Elle marque « l'extinction du Solutrén » lorsqu'elle disparaît des assemblages (Chehmana, 2013, p. 101). Elle décrit des industries post-solutréennes à Fritsch qui permettent d'explicitier les relations qui semblent exister entre différentes couches de la stratigraphie (couches 7b à 8b et celles des couches badegouliennes). De plus, elle cherche à identifier les prémices de productions d'éclats dans les séries solutréennes. En effet, ce type de débitage est caractéristique du Badegoulien : « débitages d'éclats fins dont les supports sont principalement aménagés en raclette, en perçoir, ou bien encore pour les plus grands gabarits recherchés par les badegouliens et notamment ceux plus épais qui servent de nucléus à lamelles (Chehmana *et al.*, 2007) » (Chehmana, 2013 ; p.103). Malheureusement, à l'abri Fritsch, les fouilles sont anciennes et le contexte de remplissage de l'abri ne permet pas de comprendre la stratigraphie qui serait « contaminée entre les deux industries » et la théorie de L. Chehmana sera testée sur d'autres sites qui présentent les deux cultures (par exemple : St-Sulpice-de-Favières ; Schmider, 1996).

Les industries lithiques badegouliennes

On vient de voir que la période de transition entre le Solutréen et le Badegoulien pose encore de nombreuses questions. Cela est dû notamment à la séquence culturelle du Badegoulien jugée « problématique ». On parle souvent d'une industrie « grossière », « archaïque » (voir partie I, chap.2). Or, à l'abri Fritsch les couches 2 à 6 sont associées à l'industrie de cette culture. Les premiers à les présenter sont le J. Allain et R. Fritsch dans de courtes présentations du gisement. En 1967 notamment, après avoir souvent caractérisé ce type d'industrie comme étant rattaché au « Magdalénien 0 » ou au « Magdalénien ancien », ils identifient le Badegoulien comme une culture à part (Allain & Fritsch, 1967 - niveaux sup. Badegouliens). En 1974, l'hypothèse d'une individualisation de la période est renforcée par l'identification du débitage du bois de renne dans les techniques de travail des matières osseuses (Allain *et al.*, 1974). En 1983, J. Allain évoque aussi les lamelles à dos dans les niveaux inférieurs. Plus tard, en 1997, C. Cretin et G. Le Licon, reviennent sur un historique et les problématiques liées à cette industrie badegoulienne pour en proposer quelques interprétations du point de vue de l'exploitation des matières lithiques. Le faible nombre de nucléus et d'éclats technologiquement significatifs laissent penser que les activités de débitage laminaire ne se sont pas déroulées sur le site. Et pourtant, l'approvisionnement semble avoir été exclusivement local. Cela est peut-être dû à des contraintes extérieures comme la difficulté d'accès aux gîtes ou à des activités déployées sur le site qui relaient un rôle secondaire à la taille. Dans ce cas, la détermination de la saisonnalité et de la durée des occupations à l'abri Fritsch pourra permettre de confirmer ou d'infirmer ces hypothèses (occupation brèves ou prolongées). En effet, ces paramètres sont à prendre en compte pour évaluer la part d'intensionnel dans la distinction entre les matières premières.

À propos de l'industrie badegoulienne de l'abri Fritsch, on retiendra que les niveaux à raclette et sans raclette sont des repères pour les collections lithiques qui présentent des caractéristiques similaires et notamment la qualité et la provenance des matières minérales exploitées (Montoya *et al.*, 2019). En effet, l'étude « litho-technologique » (Aubry *et al.*, 1998, p.166) développée par T. Aubry sur des séries solutréennes des sites des vallées de la Claise et de la Creuse nous apporte des informations, sur l'approvisionnement en silex dans la région et à Fritsch (Aubry, 1991, 1993 ; Aubry *et al.*, 1998 ; Aubry *et al.*, 2007). Il identifie une majorité de sources locales (10 km au plus) et alluviales (vallée de la Creuse) pour le silex. De plus, les blocs calcaire et quartz identifiés par ses soins, proviendraient des abords de l'abri. Quelques pièces proviennent de plus longues distances, environ 25 km et d'autres encore témoignent de

déplacements plus importants car pour ces matières, l'origine reste inconnue. Par ailleurs, l'étude d'un groupe de sites solutréens a permis à T. Aubry de caractériser une exploitation de sources de matières premières communes (Aubry, 1991, 1993). Ses travaux ont révélé « le déplacement systématique, sur les sites de la partie amont du bassin, de silex d'excellente qualité provenant de la basse vallée de la Claise, sous forme brute, de supports ou bien d'outils » (Aubry *et al.*, 1998, p.166). L'identification d'un silex du Turonien supérieur dans un environnement sans silex, sur le site de plein air de Fressignes et sur le site des Maîtreaux qui appartient au même bassin versant permet de souligner cet apport en matières premières lithiques en provenance d'une source commune (Vialou et Vilhena Vialou, 1990, 1994).

Les gisements occupés par des groupes solutréens permettent aussi de comparer la représentation des chaînes opératoires de fabrication, d'utilisation et d'abandon des outillages lithiques « dans des environnements différents et à des distances variables des sources d'origine » (Aubry *et al.*, 1998, p.166). Pendant le Solutréen, on pourrait ainsi identifier une diffusion régionale des silex du Turonien supérieur dans la région du Sud du Bassin parisien et en parallèle un fractionnement des chaînes opératoires : une matière première exploitée sur le site qui présente des caractéristiques pétrographiques particulières au sein du groupe des silex du Turonien supérieur. Dans une certaine mesure, on peut envisager un fractionnement des chaînes opératoires à l'échelle régionale au solutréen. Mais cette hypothèse ne peut se tester que par des prospections des zones d'affleurements des matières premières (utilisation attestée pour confection pointes foliacées) pour découvrir des sites à caractères spécialisés.

On retrouve des matières similaires exploitées par les Badegouliens et les Solutréens de l'abri Fritsch. Quatre sortes de matériaux lithiques ont été exploités dans les couches badegouliennes : le calcaire lithographique, le quartz, sous forme de galets, la chaille et le silex (*ibid.*). On retrouve même plusieurs types de silex identifiés par F. Trotignon : silex noir, du type « silex de la craie », à cortex noir brillant, parfois veiné de gris ou de rouge ; silex blond, de type pressignien ; silex marron à géodes, dont il existe un énorme bloc, à une dizaine de mètres de l'abri, à flanc de coteau ; silex blanc, opaque ; le jaspe, attesté par un unique exemplaire, rouge foncé (Trotignon, 1984).

Les travaux de Vincent Delvigne et Raphaël Angevin sur l'analyse pétrographique des silex « dans le cadre du « GDR silex » pourront apporter de nouvelles informations sur les réseaux d'approvisionnement de matières minérales au Dernier Maximum Glaciaire dans la région (Delvigne, 2016 ; Delvigne *et al.*, 2021).

L'exploitation de la malacofaune

Dans les années 2010, Caroline Peschaux étudie la parure des niveaux badegouliens (couches 2 à 6) de l'abri Fritsch dans le cadre de sa thèse de doctorat. Et les productions sur coquillage nous intéressent particulièrement car elles permettent d'identifier les lieux de collecte de cette ressource et, de manière plus générale, les territoires d'approvisionnement des badegouliens. Or, d'après ses travaux, tous les niveaux ont livré des éléments de parure (191 pièces décomptées ; Peschaux, 2017). Parmi ces pièces de parure, C. Peschaux a identifié différents types de matières dures animales exploitées par les badegouliens : coquillages, dents, ivoire et os. Les productions sur coquillages sont majoritaires et variées : scaphopodes raccourcis, gastéropodes percés et quelques fragments de bivalves. Si certaines couches sont plus riches que d'autres en pièces de parure, les proportions varient peu « et cela même entre séquences à/pas de raclettes » (Peschaux, 2017). Et les observations tracéologiques et technologiques n'ont pas révélé de grandes différences entre les occupations.

Pour rappel, on retrouve différentes espèces de coquillages, exploitées selon différentes techniques de mise en forme des objets finis :

- Les Scaphopodes sont les coquillages les plus représentés dans l'assemblage des niveaux badegouliens (n=137). Parmi cette famille on retrouve de nombreuses dentalidés (12 pièces). Les dentalidés ont servi à la production de perles tubulaires de différents types et gabarits. Comme le confirment des macrotraces sur trente-cinq de ces perles, elles étaient portées selon la même modalité d'attache : un « système d'attache par entrelacement dans lequel les scaphopodes seraient maintenus par les deux faces » (Peschaux, 2017).
- Les Gastéropodes sont aussi représentés dans le spectre malacologique à travers la présence de huit espèces (n = 34). Le travail de ces coquillages par perforation et les macrotraces d'usure sur dix de ces pièces indiquent qu'ils ont été portés à l'aide d'un système d'attache par enfilage simple les uns avec les autres en rangs serrés.
- Dans les couches 5a et 5d, on notera aussi la présence de deux fragments de bivalves que l'on peut ajouter au spectre des coquillages utilisés en parure.

L'étude de C. Peschaux sur l'approvisionnement en coquillages s'inspire des travaux fondateurs de J.-M. Geneste (1985). Elle intègre l'approche technologique aux paramètres de distances et de quantités afin de tirer parti des données touchant au domaine de la circulation des ressources. C. Peschaux prend en compte différents paramètres qui s'appliquent à la parure et notamment aux coquillages : la distance (locale, régionale, extra-régionale), la quantité

(faible/forte proportion), la diversité (faible/forte diversité) et les techniques (majoritaires/minoritaires). Le cadre interprétatif reposant sur la corrélation de ces quatre critères, elle a pu mettre en évidence « un territoire d'exploitation propre aux différents groupes culturels » (Peschaux, 2017, p. 154). D'après C. Peschaux, les facteurs géographiques prennent une place importante dans la structuration des territoires. Car ils peuvent constituer des limites infranchissables (reliefs, glaciers) ou au contraire des axes de circulation (fleuve, littoraux) suivis par les hommes pour se déplacer au sein et en dehors du territoire, nous reviendrons sur cette remarque par la suite. On peut retenir, ici, que l'approvisionnement en coquillages peut se faire à plusieurs échelles biogéographiques : échelle locale (proximité immédiate du site accessible en une journée de marche dans un rayon d'environ 30km), régionale (lieu d'origine des coquillages du même bassin versant dans un rayon d'environ 10km - 300 km max) et extra-régionale (lieu d'origine en dehors du bassin versant, distance maximale de circulation d'environ 800 à 1000 km). Les données acquises à l'abri Fritsch permettent de mettre en valeur deux sources de provenance des coquillages dans le Bassin parisien et les trois échelles géographiques d'approvisionnement y sont attestées. D'une part, les Dentalidés proviennent de gisements fossiles du Bartonien inférieur et leur présence indiquerait un apport depuis des terrains fossilifères qui affleurent dans le nord et l'est de la région du Bassin parisien (Oise, Val d'Oise, Château-Thierry). D'autre part, l'espèce *Tritia reticula* est associée à la diversité de gastéropodes fossiles du Bassin parisien et proviendrait de terrains fossilifères de la région de Houdan (Yvelines - lutécien moyen – bartonien inférieur – affleurement Nord et Est de Paris). Enfin, quelques spécimens identifiés dans la couche 5b proviendraient des couches du Miocène inférieur d'Aquitaine. Sachant que les phénomènes d'interaction entre groupes se matérialisent souvent par des échanges de ressources, C. Peschaux propose un contact soutenu avec le secteur géographique Nord du Bassin parisien pour expliquer la provenance des coquillages fossiles. La Creuse étant naturellement reliée à l'Atlantique par le système fluvial, elle ne peut pas rejeter l'hypothèse d'un apport par l'eau de certaines espèces (érosion des couches fossilifères et un transport). On notera l'acquisition extra-régionale ponctuelle (en Aquitaine) qui définirait des contacts peu fréquents avec le Sud-Ouest.

Qu'il s'agisse des matières lithiques ou de coquillages, on constate la mise en place, au Dernier Maximum Glaciaire, d'un réseau d'approvisionnement et d'échanges de matières et d'objets autour de l'abri Fritsch et dans le Nord de la France et plus particulièrement dans la région du Bassin parisien. Autant T. Aubry que C. Peschaux ont pu esquisser des territoires d'exploitation autour de l'abri Fritsch et c'est dans ce cadre que nos recherches sur les matières

animales tendent à apporter de nouvelles informations. En effet, T. Aubry encourage à une meilleure définition chronostratigraphique à Fritsch avec les données de la faune (Aubry *et al.*, 2007) et C. Peschaux écrit : « une collecte directe de ces objets, intégrée à la recherche des ressources alimentaires et des matières lithiques (comme le silex), est [...] la modalité d'acquisition la plus fiable pour pouvoir subvenir à la plus grande part des besoins » (Peschaux, 2017 ; p.100). Ainsi, mieux définir le cadre environnemental où se sont déroulées les activités de collecte des matières premières (minérales et animales) nous permettra de mieux placer les activités de chasses des Solutréens et Badegouliens au Dernier Maximum Glaciaire à côté et autour du site occupé.

Références dans le texte :

PARTIE II – PRATIQUES D’EXPLOITATION DU GIBIER AU DERNIER MAXIMUM GLACIAIRE DANS LE NORD DE LA France

CHAPITRE 2. De nouvelles données sur l’exploitation des ressources animales à l’Abri Fritsch : étude archéozoologique des niveaux Badegouliens

PARTIE III – PRATIQUES D’EXPLOITATION DU GIBIER AU TARDIGLACIAIRE DANS LE BASSIN PARISIEN

CHAPITRE 2. De nouvelles données sur l’exploitation des ressources animales par les magdaléniens : étude archéozoologique des niveaux IV30 et IV40

Dans le but d’apporter des données sur les paléoenvironnements et l’interaction chasseurs-proies au Paléolithique supérieur, il a fallu préalablement reconstituer les modalités d’exploitation des ressources animales par les chasseurs. Pour ce faire, nous avons recueilli des informations sur les proies visées par les humains à travers une étude archéozoologique. Les gisements paléolithiques livrent de nombreux vestiges fauniques que l’on peut déterminer, compter, peser et observer afin de reconstituer les activités qui sont à l’origine de leur présence sur le site.

L’analyse archéozoologique permet de s’intéresser précisément à la chasse du point de vue des stratégies et tactiques mises en place par le chasseur pour subvenir à ses besoins. Il s’agit d’une approche scientifique indispensable pour préciser, par la suite, les critères de sélection du gibier par les chasseurs. L’approche archéozoologique permet la reconstitution de la chaîne opératoire de l’exploitation des ressources animales : de l’acquisition du gibier au rejet des déchets d’origine animale (figure A1).

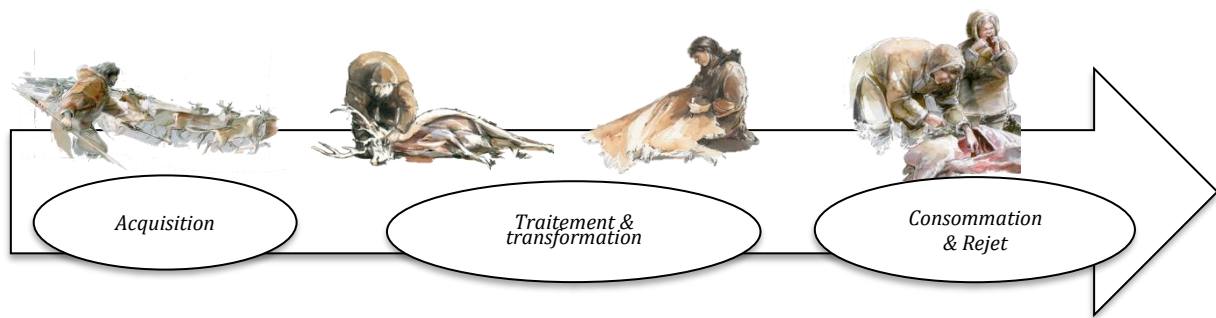


Figure A 1 : chaine opératoire d'exploitation des ressources animales

Les premiers archéozoologues ont posé les bases d'une analyse quantitative il y a 50 ans déjà et ce type d'étude est devenu systématique lorsque des restes fauniques sont mis au jour sur un site archéologique. Aujourd'hui, on obtient des données chiffrées sur l'exploitation des ressources animales à l'aide de nombreux outils méthodologiques décrits ci-dessous. Notre étude porte sur des sites archéologiques du Bassin parisien. Or, la plupart des sites du Paléolithique supérieur ont livré des séries fauniques dans cette région. Une étude bibliographique préliminaire sur ces sites nous a permis d'obtenir de nombreuses données sur l'exploitation des ressources animales et sur l'interprétation de ces données par des archéozoologues (partie II et III). Certaines collections fauniques n'ont été étudiées que partiellement (c'est le cas à l'abri Fritsch), ce qui nous a poussé à entreprendre une analyse plus précise. En effet, l'acquisition de ces données permettra, ensuite, d'appliquer des analyses pour reconstituer des indicateurs environnementaux.

Nous avons travaillé sur la reconstitution de la chaîne économique des ressources animales étape par étape de l'acquisition du gibier à la consommation de l'animal (figure et tableau A1). Nous présentons, ici, le protocole d'étude enseigné par O. Bignon-Lau depuis nos années de master.

Tableau A. 1 : description, objectif et hypothèses selon chaque étape du déroulement de l’approche archéozoologique suivie.

Etape	Description	Objectif	Hypothèses
Analyse taphonomique	Observation des surfaces osseuses, des états de surfaces et de la fragmentation	Constater l'état de conservation des vestiges fauniques	Juger de l'état et de la représentativité du corpus
Détermination spécifique	Identification des taxons (espèces) ou des familles (classes taxinomiques).	Reconstituer le spectre faunique Appréhender la composition des communautés exploitées	Acquisition des proies Stratégies et tactiques de chasse (saisonnalité, type d'individus, espèces...)
Détermination anatomique	Identification par catégories d'os (plat, long, court) puis par parties squelettiques	Reconstituer les individus	
Détermination de l'âge	Attribution des âges via les stades d'usure dentaires et d'éruption + identification du degré d'épiphyse chez les juvéniles.		
Détermination de la saison d'abattage	Attribution en fonction de la présence de juvéniles dans l'assemblage (parfois bois de chute/massacre) et détermination de la saison via l'observation du cycle biologique de l'animal	Reconstituer les profils d'abattages et de profils démographiques des populations animales visées	
Identification de traces anthropiques	Identification des traces anthropiques et caractérisation d'activités associées à ces traces (fracturation sur os frais ou sur os sec...) Quantification des traces et des restes portant ces traces	Mettre en évidence les activités de boucherie et du traitement différentiel des os	Traitement des carcasses, transformation des produits et rejet.
Analyse de la représentation des parties squelettiques	Quantification en NR et en NMPS et en % PO	Mettre en évidence des phénomènes de sur-sous-représentation des parties squelettiques dans l'assemblage	
Répartition spatiale des restes	Traitement des données spatiales : densité par m ² et par taxon	Identifier des zones de traitement ou de rejet des déchets	

Pour rappel, les objectifs d'une étude archéozoologiques sont les suivants :

- De définir si l'accumulation de faune sur un site, ou sur les niveaux d'un site, est d'ordre anthropique ou liée à un phénomène d'accumulation naturelle (taphonomie).
- De reconstituer les stratégies d'acquisition du gibier par les chasseurs ainsi que les modalités de transport, de rejet et de traitement des parties squelettiques
- De mieux comprendre les activités humaines liées à l'exploitation des ressources animales (traitement de l'animal, transformation des produits) dans une perspective de consommation alimentaire ou technique.

L'analyse taphonomique dans un premier temps permet de déterminer l'origine de l'accumulation de vestiges osseux et notre second objectif n'est atteignable que lorsque l'accumulation est d'origine humaine/anthropique. On cherche alors à reconstituer le spectre faunique à l'aide de l'anatomie comparée : détermination spécifique, détermination anatomique, détermination de l'âge et du sexe, détermination de la saison d'abattage. En se basant ensuite sur ces données quantitatives acquises, on s'intéresse à renseigner les techniques de chasses en termes de stratégies et tactiques développées par les chasseurs. Une étude spatiale de répartition des parties anatomiques ou encore une analyse des traces anthropiques (identification des traces de boucherie par exemple et quantification) nous renseignent plus en détail sur les phases de traitement et de consommation des ressources animales. On présente ici

en détail chaque étape du protocole que nous avons suivi pour les études archéozoologiques des niveaux badegouliens à l'Abri Fritsch (couches 4,5 et 6) et des niveaux IV30 et IV40 de Pincevent.

Étude taphonomique

Le terme taphonomie vient de l'association de deux mots en grec ancien - « *taphos* » et « *nomos* » - que l'on peut traduire littéralement par « loi d'enfouissement/d'enterrement ». Décrite par Lyman en 1994 comme étant l'étude de la transition des matières organiques de la biosphère à la lithosphère (Lyman, 1994). En archéozoologie, une analyse taphonomique permet l'évaluation des conditions d'enfouissement et de préservation relative de la faune. On cherche à comprendre les processus de préservation et d'enfouissement des matières organiques afin de comprendre en quoi ils pourraient empêcher la compréhension des informations contenues dans un assemblage faunique (Behrensmeyer & Kidwell, 1985).

Pour ce faire on identifie :

- Les processus taphonomiques : processus d'altération ou de modification des états de surfaces des os qui se mettent en place à la mort de l'animal.
- Les agents taphonomiques (Gifford, Gonzalez, 1991) : racines, carnivores, humains qui peuvent participer à la dégradation des surfaces osseuses.

C'est la combinaison de ces facteurs qui altèrent les surfaces osseuses. Nous avons systématiquement tenté d'identifier cinq descripteurs taphonomiques afin de couvrir ces différentes altérations potentielles couramment identifiées sur des assemblages osseux :

- **le weathering** (destruction différentielle, fragmentation différentielle),
- **les traces de racines** (lisibilité des surfaces, bioturbation),
- **les traces d'animaux** (carnivores, fousseurs),
- **les traces d'altération par le feu**,
- **la fragmentation différentielle** (fracturation-fragmentation des ossements).

- **Le weathering** correspond au taux de dessiccation de l'os. L'os peut subir des altérations avant enfouissement (état de préservation) et après enfouissement (état de conservation). Plus l'os est soustrait à une oxydation plus il a de chances de se fossiliser. S'il est brûlé ou concassé la taille du fragment peut aider à en définir l'état. Lorsque la matrice sédimentaire est agressive, un petit os peut disparaître, alors qu'au contraire, lorsque la matrice présente des conditions de préservation/conservation calcaire ou neutre, l'os pourra se conserver. Plus il y a de matière osseuse (grand herbivore, os longs, os les plus massifs) plus il a de chances d'être conservé. Les

stades de weathering s'échelonnent de la manière suivante : en partant de l'état d'« os frais » au stade 0 jusqu'à une surface osseuse presque « illisible » au stade 5. L'archéozoologue identifie ces stades en observant les surfaces osseuses. Concernant les vestiges paléolithiques étudiés à ce jour dans le Bassin parisien, le meilleur degré de weathering des surfaces osseuses a été observé sur le site d'Étiolles ; en effet les os présentent des surfaces lisses (degré 2). Aucun vestige osseux de la période et de la région ne présente le premier degré car les os ont été abandonnés sur les sites il y a plus de 12 000 ans et toute traces de tissus mou s'est décomposée avec le temps.

Tableau A. 2 : Rappel sur les différents stades de weathering et leurs caractéristiques

Weathering	Caractéristiques
Stade 0	Aucun signe de détérioration : l'os est encore gras, la moelle est présente, la peau et la viande peuvent persister
Stade 1	Il apparaît des craquelures parallèles à la structure fibreuse (longitudinalement pour les os longs par ex.)
Stade 2	Des écailllements de la surface apparaissent, accompagnés des craquelures
Stade 3	La surface des os devient rugueuse et fibreuse
Stade 4	L'os est de plus en plus fibreux et rugueux ; des esquilles se forment, les craquelures s'ouvrent
Stade 5	De grosses esquilles se détachent de l'os

- **Les stades de recouvrement par les racines :** dans certains sites, les niveaux archéologiques ne sont pas situés très en profondeur (niveau IV0 de Pincevent à moins d'un mètre de la surface du sol par exemple). Dans ce cas de figure, les racines et radicelles des végétaux situés à la surface peuvent venir recouvrir les vestiges qui en portent les traces même après décomposition des matières organiques. Ces traces sont caractérisées par de fins creusements des surfaces osseuses qui s'apparentent à une vermiculation. Elles peuvent recouvrir seulement quelques surfaces osseuses ou au contraire les recouvrir presque entièrement ce qui rend la lecture des surfaces de la pièce presque impossible.
- **Les traces laissées par les animaux :** Dans ce cas, les ossements peuvent présenter des traces liées à l'activité de l'animal. Les carnassières des carnivores peuvent laisser des empreintes profondes dans l'os par exemple. En contextes karstiques ou abris sous roches les hyènes peuvent avoir avalé des os qui présentent alors des perforations liées

à la dissolution par les sucs digestifs. Les rongeurs peuvent eux aussi avoir endommagé les surfaces en y laissant leurs empreintes de dents. Les animaux fouisseurs peuvent aussi creuser des terriers ou des souterrains traversant des os. Ainsi, l'identification de ces pratiques animales permet d'apprécier l'état de conservation des surfaces osseuses à la lumière des activités animales qui ont pu venir perturber l'enfouissement des vestiges ou détériorer l'état des os.

- **Les altérations par l'action du feu** : lorsque les vestiges osseux ont été exposés au feu, en fonction du temps d'exposition et de la température du foyer, les surfaces osseuses présentent différentes textures et couleurs. On peut retrouver des os brûlés ou carbonisés. La localisation de ces vestiges brûlés peut permettre à l'archéozoologue de comprendre comment l'espace près des foyers ou aux alentours était organisé : en effet on peut retrouver des os brûlés dans des foyers non vidangés ou dans des « zones de rejet » qui constituent souvent une vidange de foyer. Lorsque la forme des os brûlés est encore conservée et permet une diagnose via l'anatomie comparée on peut comparer les types de parties anatomiques utilisées pour alimenter les foyers et donc mieux comprendre les choix des préhistoriques sur le gisement et sur l'exploitation des carcasses.
- **Les phénomènes de fragmentation-fracturation** : cette dernière étape consiste à mettre en évidence des phénomènes de fragmentation-fracturation dans l'assemblage. Après observation des pans de fracture sur les éléments squelettiques on les regroupe en fonction de l'état de l'os : la fracturation se produit sur os frais (fractures hélicoïdales) tandis que la fragmentation se produit sur os sec (esquillements en baguettes) parfois déjà enfouis.

Détermination spécifique et anatomique : acquisition (figure A1)

Après avoir observé les phénomènes taphonomiques sur les restes fauniques, nous avons cherché à identifier les espèces présentes dans l'assemblage. À l'aide de nos connaissances et de référentiels d'anatomie comparée on détermine espèce, partie squelettique, âge et voire sexe des individus (lorsque l'espèce présente un dimorphisme sexuel caractérisable). Par la suite on peut proposer une reconstitution du spectre faunique en quantifiant le nombre de restes déterminés, le nombre minimum d'individus abattus et le pourcentage de parties observées dans la collection étudiée. Voici les différents types de détermination que nous avons pu effectuer :

- La **détermination des espèces** (classement pour la corpulence ; Brughal & Croitor) ;
- La **détermination par partie anatomique** ;
- La **détermination de l'âge** (parties osseuses non épiphysées, âge dentaire) ;

Ces déterminations apparaissent dans notre manuscrit sous forme de données quantitatives ; calcul du NRD, NMPS, %PO, NMIC et NMIF. Le nombre de restes étudiés dans la collections est présenté sous la forme de tableaux, parfois des tableaux de nombre des restes avec notamment le calcul du nombre de restes décomptés dans l'assemblage faunique (NR), nombre de restes déterminées (NRD) ou sous la forme de spectres fauniques (par espèces). *Le décompte des parties anatomiques* est présenté sous la forme de tableaux quantitatifs, diagrammes à barre ou représentation du squelette, par espèce, dont les parties anatomiques sont colorées (grisées) selon le pourcentage relatif du nombre minimum parties squelettiques (NMPS). *L'identification du nombre d'individus présents* se fait à l'aide des résultats obtenus lors de la latéralisation des parties anatomiques. En effet, le nombre de restes (NR) ne suffit pas à illustrer le nombre d'individus sur une occupation dont les os sont très fragmentés par exemple. Dans ce cas de figure, on aurait tendance à surestimer le nombre d'individus qui ont été transportés puis traité *in situ*. Afin d'éliminer ce biais, l'archéozoologue calcul le nombre minimum d'individus (NMI). Ce calcul permet d'éliminer les surestimations dues à la fragmentation différentielle des parties anatomiques et est l'estimateur le plus connu pour permettre l'obtention d'un nombre d'individus à partir d'une série dentaire ou de mêmes parties anatomiques conservées. Le calcul du NMI consiste à décompter les parties anatomiques dont les informations collectées par l'archéozoologues restent précises : antérieur/postérieur, droite/gauche pour les os des membres, numéro (souvent seulement plage de numéros) des côtes et vertèbres, identification des rangs dentaires pour les dents et latéralisation. Deux os ou deux dents identiques seront alors la preuve de la présence de 2 individus différents (exemple : la présence de 2 têtes humérales gauches de renne témoigne de la présence d'au moins 2 individus rennes dans l'assemblage). L'inconvénient du calcul du NMI, c'est que le poids donné à une espèce représentée par un seul os ou par un squelette quasi complet sera le même. Il est donc important de calculer, quand cela est possible, la densité des os selon les parties anatomiques et le poids général de l'assemblage pour faire correspondre aux données archéozoologiques de référence par espèce. Il existe deux types de NMI : le NMI de fréquence et le NMI de combinaison. Le premier permet, par exemple avec les dents définir le nombre d'individus selon la fréquence d'un type de dent (incisive, canine, prémolaire, molaire), d'un rang dentaire (m1, m2, m3...), de son origine anatomique (supérieure, inférieure) et de sa latéralisation (droite, gauche). Mais

cette méthode ne prend pas en compte les séries dentaires, il faut donc préalablement faire, ce que l'on peut appeler, du remontage ou de l'appareillage dentaire : regrouper dans leur position anatomique initiale des dents découvertes isolées lors des fouilles. Pour ce faire, il faut réassocier les parties anatomiques (Vigne, 1988) afin de s'approcher le plus possible du nombre d'animaux abattus. Cette démarche permet l'estimation du NMI de combinaison avec l'inclusion ou l'exclusion de dents au sein des séries individualisées (Vigne, 1988). Cela se fait à partir de critères supplémentaires à ceux présentés ci-dessus et sont souvent inhérents à une espèce en particulier (Bignon, 2008 chez le cheval par exemple). Ce remontage des séries dentaires peut être plus ou moins complexe en fonction du degré de fragmentation/destruction différentielle des parties anatomiques (maxillaire versus mandibules par exemple pour les dents).

Les phases de traitement des carcasses sont aussi abordées à partir des représentations squelettiques des animaux. Les données taphonomiques sont prises en compte pour déterminer, à partir de ces représentations, la part relevant de la conservation différentielle de celle qui renvoie aux choix opérés par les groupes humains. Les méthodes archéozoologiques de quantification, et notamment l'identification du nombre minimum de parties squelettiques (NMPS), mettent en lumière les sous ou sur-représentations de segments anatomiques (Chaix & Méniel, 1996). Cette information est délivrée de façon synthétique par les taux de représentation des parties squelettiques noté % des parties observées (%PO). L'estimation de ce taux est obtenue à partir du NMPS total observé dans une collection donnée pour chaque partie squelettiques, divisé par le NMPS attendu pour un NMI donné (Bridault et Bémilli, 1999). Ces outils d'analyse favorisent, l'observation de sélection dans le traitement ou la consommation, dans la mesure où ils informent dans le même temps des conditions taphonomiques des collections. Par exemple : le rapport NR/NMPS est un bon indicateur de fracturation des ensembles pour chaque partie anatomique. La conservation différentielle en fonction de la résistance respective des différentes parties squelettiques permet de pointer plus précisément ce qui relève des destructions d'ordre taphonomique. L'observation de l'absence de parties squelettiques robustes peut indiquer un transport de certaines pièces anatomiques vers d'autres lieux pour une consommation alimentaire ou technique ultérieure.

La détermination des âges se fait à partir de plusieurs critères selon la présence dans l'assemblage de : dents de lait ou de parties squelettiques non épiphysées. Le degré d'épiphysation des os longs peut se faire à partir de tables que l'on trouve dans les atlas ostéométriques mais nous n'avons pas exploré cette piste étant donné que notre étude porte *in*

fine, sur les dents. Nous avons donc tenté de déterminer l'âge des individus à partir des critères d'éruptions dentaires (Habermehl, 1985) et d'usure dentaire (usure couronnes dentaires des molaires herbivores du sommet de la face occlusives à la racine ; Klein & Cruz-Urbe, 1984). Les méthodes de détermination de l'âge se fondent sur l'éruption des dents et l'usure dentaire des plus jeunes spécimens (mesure des hauteurs de couronnes et élaboration de tables d'usure) et ces critères sont reportés à des référentiels actuels. Cette approche permet d'attribuer un âge en fonction de caractéristiques objectives. Néanmoins certains paramètres (vitesse abrasion liée aux régimes alimentaires ; variations interindividuelles) rendent parfois ces estimations délicates (Fontana, 2000 ; Bignon, 2008). Une synthèse des référentiels allemands et français serait nécessaire pour définir les rythmes d'éruption et de remplacement dentaires chez les rennes et les chevaux notamment. Lorsque les âges sont déterminés (tranches d'âges souvent à quelques mois près), les spécimens identifiés sont associés par classes d'âge pour limiter les effets de variabilité inter-individuelle entre les spécimens et afin de standardiser les observations archéozoologiques (Fontana, 2000).

Caractérisation des profils et saisons d'abattages : acquisition (figure A1)

Le classement par âge va ensuite permettre la construction d'un histogramme qui met en lien les classes d'âge et le nombre d'individu par classe d'âge. On appelle ce type de graphique un profil de mortalité ou profil d'abattage de population, car il permet de comparer le cortège des individus du site avec un cortège naturel dans son environnement aux différents temps du cycle annuel. Cette approche permet de vérifier si la taphocénose est bien d'origine anthropique et non naturelle ou liée à un autre prédateur (comme l'Hyène par exemple) afin d'identifier par la suite le mode de prélèvement de l'homme sur le gibier. Le mode de prélèvement relève ici des stratégies et tactiques mises en place par les chasseurs en amont de la chaîne opératoire de l'exploitation des ressources animales. On tente ici de reconstituer des critères de sélection des spécimens par les humains : poids de viande, âge des spécimens en rapport à la qualité de la viande... Parmi les indices qui peuvent être reconstitués, on s'intéresse par la suite aux indices de saisonnalités des activités de chasse. On peut faire des estimations d'après les séries dentaires lactées de la plupart des espèces. La méthode se base sur le développement de référentiels d'usure des dents ou de morphométrie dentaire. Chez le cheval par exemple, nous avons utilisé la méthode développée par O. Bignon-Lau qui s'inspire de la méthode morphométrique de M.A. Levine). En 1979, A. Spiess (1979) a mesuré en cémentochronologie, les anneaux annuels de ciment autour des racines de dents. Une série de bandes opaques et translucides observable

au microscope sur lame mince marque l'alternance des saisons et le décompte de ces cernes permet d'estimer les saisons. Chez les rennes, un autre indice peut se trouver dans l'observation des bois. C'est J. Bouchud qui a développé une méthode d'estimation de la saisonnalité des occupations basée sur l'étude des bois. L'exploitation d'informations sur la chute et la repousse des bois de cervidés, sur les étapes de croissance de la dentition des jeunes individus, sur les périodes de mises bas de certaines espèces (foetus), sur les périodes de chasse connues (les animaux à fourrure, l'hiver ; la marmotte l'été), sur les périodes de migration des grands mammifères (rennes, bisons) et d'autres espèces (oiseaux, rongeurs, insectes, poissons), sur les circulations présumées (nord-sud, amont-aval de vallées, forêt - toundra - steppe), permet de mettre en évidence à quelle saison de l'année l'animal a été tué, fournissant une estimation plus ou moins précise de la période d'occupation du site et même de sa durée d'occupation. Mais le site peut avoir été temporairement abandonné et réoccupé plusieurs fois dans la même saison. La connaissance des saisons de migration animales (renne) et leur parcours (Nord, sud haut-bas vallées) permet la découverte de sites saisonniers d'abattage à proximité de gués. Les chasses estivales spécialisées ont été identifiées (marmotte, lièvre, bouquetin). Peu à peu l'archéologie permet de reconstituer la stratégie de gestion des ressources animales dans le cycle annuel, identifiant où, quand et comment le réseau de groupes humains agit dans le territoire. L'absence de séries suffisamment représentatives de bois, dents ou os susceptibles d'indiquer la saisonnalité dans les ensembles clos limite malheureusement l'application de ces méthodes. En outre, elles supposent que l'animal a été chassé pendant la période d'occupation du site, ce qui peut être mis en défaut par des objets récoltés au cours de la saison dans l'intention de fabriquer plus tard des outils et des parures (bois de cervidés, dents). C'est donc de la convergence d'un faisceau d'estimations de saisonnalités à partir de plusieurs espèces et de plusieurs méthodes, que les temps d'occupation d'un site peuvent être déduits.

Phase de traitement et transformation des matières animales in situ (figure A1)

Lorsqu'on s'intéresse à la deuxième phase de la chaîne opératoire d'exploitation des ressources animales, la question de la présence ou du manque de certaines parties anatomiques se pose. La présence/absence de ces parties peut traduire un processus de conservation différentielle comme on a pu le voir précédemment, or il peut aussi traduire d'une part un processus d'apport partiel sur le site - le dépeçage de l'animal peut avoir eu lieu sur le lieu de chasse par exemple – et/ou d'autre part, d'une exploitation pour des usages non alimentaires (combustion, matières premières pour la fabrication d'outils ou de parure). Afin de mieux identifier ces processus, nous avons tenté d'identifier les traces de découpe (« de boucherie »)

sur les surfaces osseuses. Cette étape s'est avérée très délicate sur certaines surfaces osseuses mal conservées. Dans le cas contraire lorsque les surfaces sont bien conservées, elles ne livrent pas forcément des traces de boucherie. Les humains peuvent avoir laissé des traces sur les ossements au cours de différentes phases de traitement des carcasses. Pour commencer, lors de la chasse, les os peuvent être perforés ou impactés par l'armature, comme à Étioilles, par exemple, où une pointe de sagaie a été retrouvée fichée dans un fragment de crâne de renne. Ensuite, la carcasse est dépecée sur place ou *in situ*, ce qui peut laisser des traces sous forme d'entailles de dépouillement. Lorsque l'animal est ensuite découpé par parties anatomiques à des fins alimentaires (plutôt pour récupérer sa chair donc), on retrouve des stries de décarnisation qui correspondent aux gestes de découpe. Enfin, les os peuvent avoir été fracturés pour en récupérer la moelle, ce qui laisse des pans de fractures sur os frais reconnaissables (Bignon et Christensen, 2009).

Afin de pouvoir avoir une étude exhaustive des données, nous avons recensé les traces de « boucherie » identifiées sur les os des assemblages fauniques étudiés. Lorsque nous avons pu, nous avons pris en photo ces traces caractéristiques, souvent, d'une méthode de découpe de l'animal ou de sa chair. Les gestes liés au traitement technique n'ont pas été étudiés dans le détail, car l'industrie osseuse (et plus généralement le travail des matières dures animales) a été étudiée sur chaque site, par différents technologues. Seules certaines photos viendront donc, dans le corps du texte, attester de cette seconde phase de la chaîne opératoire d'exploitation des ressources animale.

Reconstitution des phases de consommation et de rejet des ressources animales (figure A1)

Une analyse spatiale des vestiges fauniques ainsi qu'une identification de la présence et/ou absence de certaines parties anatomiques sur le site nous permettent d'approcher les pratiques de consommation des ressources animales chez les chasseurs-cueilleurs.

Pour résumer, nous allons mener une analyse classique telle est décrite ci-dessus en commençant par l'évaluation des processus taphonomiques à l'œuvre dans chaque site, qui est, au préalable, indispensable pour apprécier les biais occasionnés par la fossilisation des collections fauniques. Ensuite, en reconstituant la phase d'acquisition des gibiers on s'intéresse aux espèces représentées dans les spectres fauniques (NMI, saison d'abattage, profil de mortalité - composition démographique des animaux abattus). Il sera aussi important de prendre

en compte la représentation des parties anatomiques en tant qu'estimateur privilégié des choix relatifs aux phases de traitement et de consommation des carcasses (mais également de transport). L'étude des assemblages fauniques nous permet d'acquérir une base de données sur l'acquisition des proies, en termes de choix cynégétiques de la part des chasseurs. A partir des données archéologiques acquises ici, nous allons développer une approche multi-indicateurs environnementaux sur les restes dentaires identifiés, afin de mieux comprendre le mode de vie des gibiers visés (figure A2).

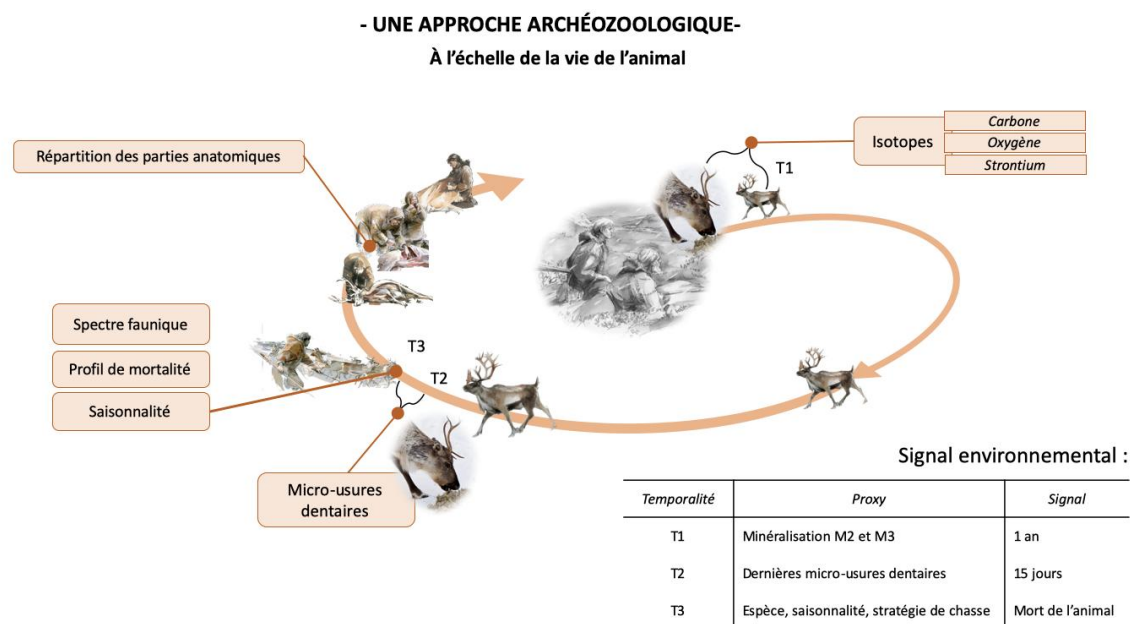


Figure A 2 : une approche archéozoologique *multi proxy* à l'échelle de la vie de l'animal.

L'approche se base sur deux indicateurs environnementaux : l'analyse isotopique séquentielle et l'analyse texturale des micro-usures dentaires. Ces deux indicateurs permettent d'obtenir des signaux environnementaux précis via la reconstitution du régime alimentaire de l'animal à différents moments de sa vie (T1, T2, T3 figure A2). Mieux comprendre l'éthologie, ici, du renne et du cheval au Paléolithique supérieur, nous permettra de rapprocher ces nouvelles informations de faits archéologiques qui résultent de choix cynégétiques de la part des humains. En effet, pour établir leurs stratégies et tactiques⁵ de chasse et les déployer à différents moments de l'année, les chasseurs ont nécessairement fait appel à des connaissances approfondies sur

⁵ Par tactique de chasse, on entend ici les moyens mis en œuvre pour s'emparer du gibier lors d'un épisode de chasse. Par stratégie, on entend la capacité d'un groupe social à fixer et à organiser des objectifs cynégétiques sur une espèce donnée au cours d'un ou plusieurs cycle(s) annuel(s) (Bignon, 2003 ; 2007).

l'éthologique de leurs gibiers (périodes de dispersion-agrégation, routes de migration, aires de mise bas, alimentation) et sur les environnements qu'ils fréquentent (Kelly, 1983). L'approche développée par la suite, tente d'apporter de nouvelles informations sur les stratégies de chasse des magdaléniens (Bignon, 2007, 2008), à travers la reconstitution du comportement alimentaire de leurs proies. Afin de développer cette approche multi-indicateurs, nous avons dû développer des référentiels sur le renne (isotopie et micro-usures dentaires en collaboration avec O. Bignon-Lau) et avons à disposition des données sur le cheval dans la littérature

ANNEXE 3 – Base de données archéozoologiques en ligne

Nous n'avons pu à ce jour encore partager la base de données sur la faune étudiée à l'abri Fritsch.

ANNEXE 4 – PROTOCOLES suivis pour les analyses paléoenvironnementales

PROTOCOLE 1 : Analyse isotopique séquentielle de la bioapatite

Principe de la méthode

L'analyse isotopique est un proxy qui permet des reconstructions chronologiques et paléoenvironnementales à partir de l'analyse de matières organiques. Nous nous intéressons ici aux isotopes dits « stables ». Ces isotopes qui ne sont pas radioactifs ont gardé leur masse depuis qu'ils sont restés piégés dans les tissus organiques des animaux à la mort de celui-ci. Ils rendent compte de données environnementales précieuses pour les archéologues.

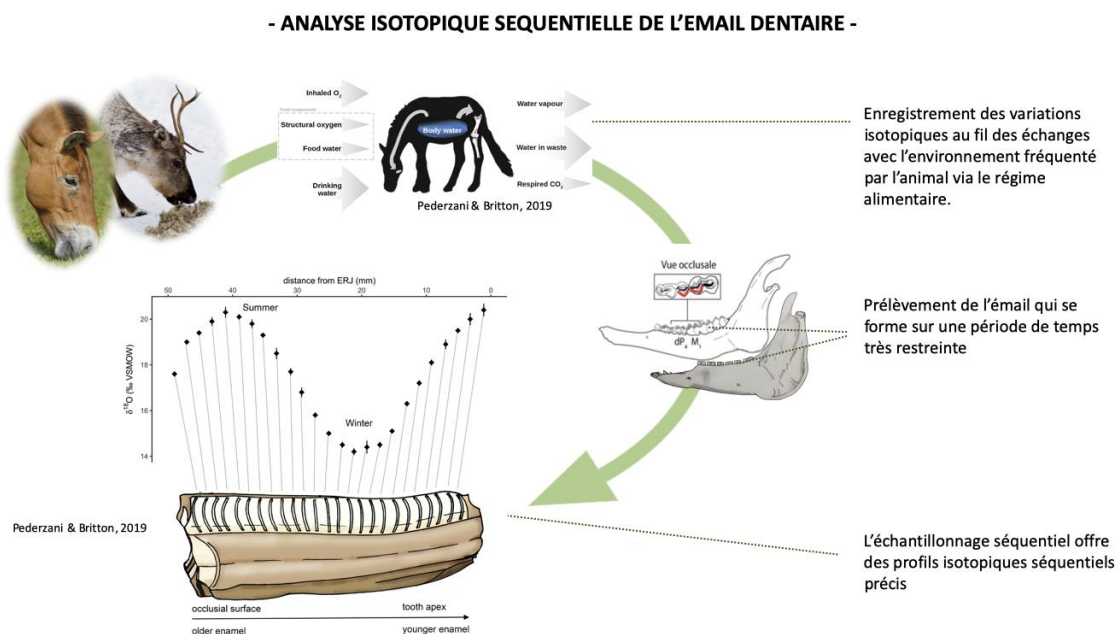


Figure A 3 : Principe de l'analyse isotopique séquentielle développée ici

Nous avons appliqué une analyse isotopique séquentielle du carbone et de l'oxygène contenus dans le carbonate des dents de rennes et de chevaux afin de mieux comprendre leurs régimes alimentaires d'une part et de proposer une reconstitution des paléotempératures d'autre part (figures A2, A3). Nous expliquons par la suite, en détail, les différentes étapes du protocole suivi pour préparer, prétraiter puis traiter les échantillons.

Présentation des étapes du protocole

Le protocole est structuré selon les quatre grandes étapes : l'échantillonnage, le prétraitement, la micro-pesée et le calcul des données au spectromètre de masse (figure A4).

1. Échantillonnage

La première étape consiste à sélectionner les individus et à extraire les dents à analyser. Cette opération, partiellement destructive, nécessite de documenter soigneusement chaque spécimen (photographies, mesures, base de données). L'émail dentaire est ensuite prélevé par fraisage direct (récupération de la poudre) ou par broyage. Un nettoyage minutieux de la surface dentaire à la fraise tungstène est réalisé pour retirer les éventuels contaminants (cément, saletés). En fonction de la problématique, deux types de prélèvements peuvent être fait :

- 1) Prélever de la matière pour englober le signal représentatif de plusieurs saisons voire plusieurs années : le signal représente une moyenne d'un cycle annuel par exemple.
- 2) Échantillonnage sérié pour reconstituer l'histoire isotopique à une échelle infra-annuelle.

L'échantillonnage est sérié, c'est-à-dire que la poudre d'émail est prélevée à intervalles réguliers le long de la couronne, afin de reconstituer une histoire isotopique infra-annuelle. Chaque prélèvement est référencé et conditionné dans un micro-tube identifié.

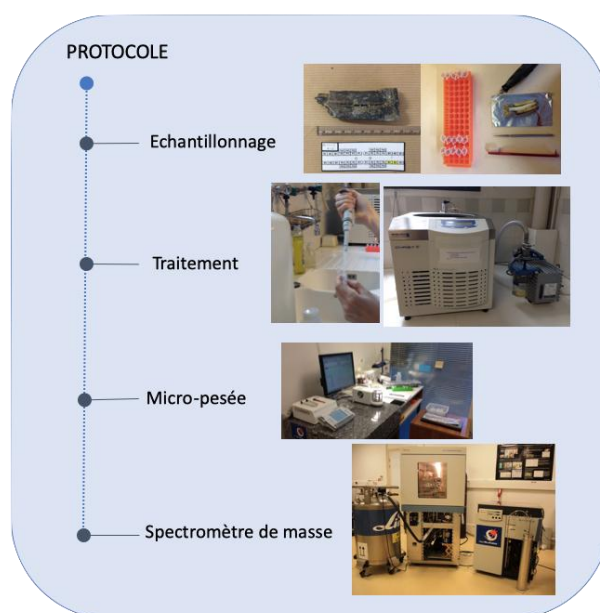


Figure A 4 : Grandes étapes du protocole suivi dans le cadre des analyses isotopiques séquentielles sur les dents de rennes et chevaux (selon Balasse, 2015).

2. Pré-traitement et traitement

Les échantillons, principalement archéologiques, subissent un prétraitement destiné à éliminer les contaminants organiques et minéraux susceptibles d'altérer les mesures isotopiques. Ce traitement comprend :

- L'élimination de la matière organique par l'hypochlorite de sodium ou l'eau oxygénée.
- L'élimination des carbonates diagénétiques par traitement à l'acide acétique.
- Plusieurs cycles de centrifugation et de rinçage à l'eau distillée.
- Congélation puis lyophilisation pour obtenir une poudre sèche et propre.

Ce protocole permet d'obtenir des échantillons d'émail purifiés, adaptés à l'analyse isotopique.

3. Micro-pesée

Après traitement, une micro-pesée précise est réalisée afin de mesurer la quantité de poudre d'émail disponible. Typiquement, entre 580 et 630 microgrammes de poudre sont pesés avec précision pour chaque analyse. Cette étape garantit que la quantité de matière est suffisante et homogène pour permettre des analyses fiables et reproductibles. Les données de pesée sont consignées pour chaque échantillon.

4. Calcul des données au spectromètre de masse

Les échantillons sont ensuite introduits dans le préparateur puis analysés par spectrométrie de masse. Cette technique permet de mesurer les rapports isotopiques du carbone ($\delta^{13}\text{C}$) et de l'oxygène ($\delta^{18}\text{O}$) présents dans le carbonate de l'émail dentaire. Des échantillons standards sont inclus dans chaque série pour contrôler la fiabilité des mesures. Les valeurs obtenues sont ensuite corrigées et interprétées en fonction des problématiques paléoenvironnementales et paléoclimatiques étudiées.

Application du protocole dans le cadre de nos travaux

Chaque étape du protocole nous a été enseignée par Marie Balasse au Muséum national d'histoire naturelle (MNHN) en 2017. Ces étapes étant chacune assez longue, en comptant le temps d'apprentissage puis d'acquisition des données lorsque nous pouvions venir emprunter les locaux du laboratoire au MNHN, il a fallu plus de 2 ans pour collecter nos données isotopiques séquentielles (sans compter la pause liées à l'arrêt, pendant la crise sanitaire de 2019 de toute étape de travail en cours).

Prélèvement : sélection des individus et extraction des dents sélectionnées sur site.

Nous avons tout d'abord sélectionné les individus qui ont été étudiés lors de l'analyse isotopique séquentielle. Ce type d'analyse nécessite d'extraire des dents de la mandibule (actuels) ou du sédiment collé/aggloméré (archéologiques), cette étape étant destructrice partiellement, nous avons systématiquement pris des photos des mandibules/des dents avant de les manipuler. Pour sélectionner les dents qui présentent les plus hautes couronnes nous avons mesuré la hauteur de couronne. Lorsque les mandibules ont été découpées, nous avons utilisé une Dremel (disque diamanté) pour un travail précis. Après avoir nettoyé les dents qui présentent encore des saletés, après les avoir fait sécher nous avons pu les conditionner. Une fois la sélection des spécimens effectuée, nous avons procédé à la création d'une base de données où l'on répertorie les spécimens selon le carré de fouille, le numéro d'identification, la dent, etc. Nous avons photographié chaque dent (deux vues : vue vestibulaire et vue occlusale) pour garder une trace du vestige avant analyses).

Échantillonnage des dents : extraction de la bioapatite

En archéozoologie la majorité des analyses de $\delta^{18}\text{O}$ sont menées sur le carbonate, qui présente l'avantage de livrer simultanément les valeurs de $\delta^{13}\text{C}$. Le phosphate est réputé plus résistant à la diagénèse donc préféré pour les analyses de $\delta^{18}\text{O}$ sur matériel plus ancien. Mais nous avons travaillé sur le carbonate parce qu'il contient à la fois oxygène et carbone tandis que phosphate même s'il se conserve beaucoup mieux ne contient que l'oxygène. En effet, le carbone apporte des données sur l'alimentation que l'oxygène n'apportera pas. Pour l'analyse isotopique du carbonate, quelques milligrammes d'émail dentaire sont nécessaires. Nous avons prélevé des échantillons sériés par fraisage. La résolution temporelle du message enregistré dans l'émail dentaire est ici relativement brève pour répondre à notre problématique temporelle précise. Nous avons récupéré la poudre dans du papier aluminium avant de la transvaser dans des microtubes.

a – Nettoyage surface dentaire (fraise tungstène)

Matériel nécessaire : papier aluminium, Dremel, brosse à dent, fraise tungstène.

Le nettoyage de la surface se fait à l'aide d'une fraise tungstène : cette opération a pour but « d'enlever la couche de ciment qui recouvre chez certaines espèces l'émail de la couronne dentaire » (Balasse, 2015). Avant et entre chaque étape, il est important de bien nettoyer l'outil utilisé. Après cette étape la surface de la dent doit être brillante et propre (ou presque quelques

imperfections peuvent rester mais c'est dû à la composition de la dent dans certains cas on ne peut pas les enlever).

b – Prélèvement émail (fraise diamantée)

Matériel : papier aluminium (un carré plié en deux par échantillonnage), dremel, fraise diamantée (Komet), brosse à dent, eau distillée, bain ultrason, papiers sopalin, balance, micro-tubes 1,5 ml, présentoir-tubes, stylo indélébile noir

Avant de commencer le prélèvement il faut référencer les échantillons en écrivant un code sur chaque micro-tube (un échantillon par tube). Le code est composé de la référence au site de provenance de la dent (par exemple, R = Grotte Rochefort, P-IV0 = niveau IV0 de Pincevent), du numéro de l'individu échantillonné et de la dent (latéralisation, position rang dentaire).



Figure A4.1 : Illustration de l'étape d'échantillonnage avec la sélection de la dent (a.), l'échantillonnage sérié (b. et c.)

Après avoir noté ce code sur les tubes en y ajoutant les numéros d'échantillons, il faut les peser et reporter les données dans un tableau dans la colonne « *Poids MT vide* » sur le cahier de laboratoire. On peut ensuite passer au prélèvement de l'émail à l'aide de la fraise diamantée, le prélèvement « doit englober la couche d'émail entière, sans intégrer de dentine » (Balasse, 2015). Après chaque prélèvement, on pèse le micro-tube contenant la poudre d'émail et on reporte le poids dans le tableau dans la colonne « *Poids MT + poudre* », ici le poids de poudre ne doit pas descendre en dessous de 600 mg (900 mg pour nous en vue de faire des analyses de strontium sur ces mêmes échantillons). Puis on nettoie la paillasse, la dent à la brosse à dent, la fraise diamantée à l'eau distillée et à l'aide d'un bain ultrasons pour ne pas contaminer les échantillons suivants. Il faut changer de papier aluminium pour le prélèvement suivant et

l'opération se répète du haut de la couronne vers la racine de la dent avec un espacement d'environ 1 ou 2 mm entre chaque échantillon (figure A4.1 c.).

Prétraitement et traitement des échantillons archéologiques (figure A4.2)

Les échantillons archéologiques sont traités avec pour objectif de supprimer les carbonates qui pourraient contaminer les échantillons ou le spectromètre de masse. Les traitements utilisés pour la préparation des poudres (analyses $\delta^{18}\text{O}$ et $\delta^{13}\text{C}$ des carbonates) se fait en deux étapes afin : d'éliminer la matière organique par traitement à l'hypochlorite de sodium (NaOCl) ou eau oxygénée (H_2O_2) puis d'éliminer les carbonates diagénetiques par traitement à l'acide acétique (CH_3COOH).



Figure A4. 2 : Illustration de quelques étapes du prétraitement, dont le remplissage d'acide acétique dans le microtube de poudre (d.), le mélange (e.) et la lyophilisation (f.)

Dans l'ordre de manipulation :

1. On dilue la poudre dans 0.1ml/mg d'acide acétique (figure A4.2 d.), puis on passe chaque micro-tube au vortex (e.) pour mélanger puis laisser reposer à l'air libre pendant 4h.
2. On passe ensuite les microtubes à la centrifugeuse : 6min à 8000 tours/min.
3. On procède au rinçage des tubes : 4 rinçages (vider + remplir d'eau distillée + mélanger (vortex, figure A4.2 e.) + centrifugeuse 6 min à 8tours/min).
4. On congèle les échantillons pour le lendemain.
5. On lyophilise les échantillons pendant 1h30 (f. lyophilisateur, figure A4.2 f.).

Quelques remarques sur ces traitements. Ils entraînent une perte importante du poids initial

d'émail prélevé. Environ 4 mg d'émail est requis au départ pour garantir une analyse isotopique qui pourrait être dupliquée au besoin. La poudre restante a d'ailleurs servi :

- à la révision de données sur des échantillons contaminés (niveau IV0, Pincevent, Partie IV, chap.2).
- à Sarah Pederzani pour l'extraction de phosphate dans le cadre des reconstitutions des paléotempératures (partie IV, chap 2.).

De plus, on ne doit pas laisser la poudre dans l'acide acétique trop longtemps (4h maximum). Pour le prétraitement, il est possible de ne pas en faire sur l'actuel. Mais, si on ne le fait pas, les échantillons, après avoir passé la dent sous la fraise, reçoivent de l'électricité statique. Marie Balasse conseille de passer les échantillons à l'eau distillée puis à la centrifugeuse pour terminer par les lyophiliser afin de se débarrasser de l'électricité statique.

Micro-pesée et calcul des valeurs de masse isotopiques

Après avoir pesé entre 580 et 630 microgrammes de poudre d'émail (g.), Denis Fiorillo lance un « run » composé de nos échantillons pesés (figure A4.3 g.) et d'échantillons de référence (standards pour vérifier la fiabilité des calculs et permettre d'avoir une homogénéité dans les données par la suite) : les échantillons sont passés au préparateur puis au spectromètre de masse (figure A5 et figure A4.3 h., ci-dessous).

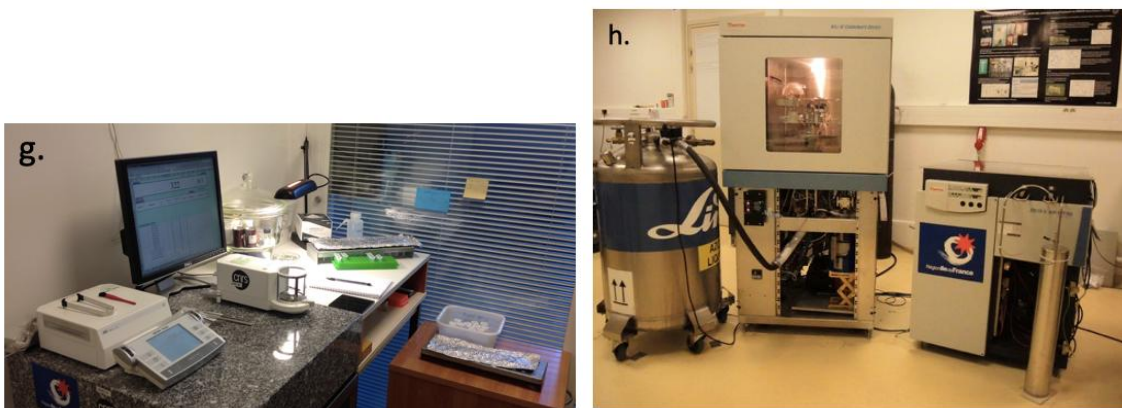
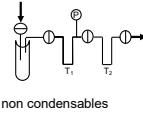
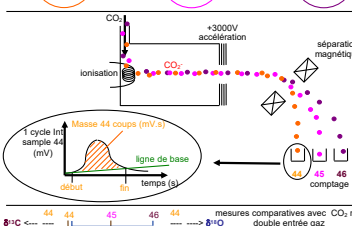


Figure A4.3 : Photos du poste de pesée (g.) et du spectromètre de masse (h.)

Spectromètre de masse isotopique (Thermo) dédié aux composés carbonate

Préparateur chimique + SMI	
3% CaCO ₃ + 97% Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH) ₂ émail	coquillage / sol / otolithes CaCO ₃ aragonite/calcaire
<p>PREPARATEUR CHIMIQUE</p> <p>Modèle : KIEL IV CARBONATE DEVICE Fabricant : THERMO Objectif : conversion complète CaCO₃ → CO₂ Avantages : haute sensibilité et faible incertitude Contraintes : éch. de carbonate seulement analysés</p> <p>1) H₃PO₄ de haute pureté (acide phosphorique sans H₂O) 2) 4 gouttes @ +70°C @ 8 minutes</p> <p>3) Reaction total : $\text{CaCO}_3 + \text{H}_3\text{PO}_4 \rightarrow \text{CaHPO}_4 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$</p> <p>4) H₂O et CO₂ cryo-piégés @ -160°C (piège n° 1) 5) CO₂ séparé de H₂O -120°C (piège n°1) ↔ -160°C (piège n°2) 6) CO₂ transféré vers SMI (piège n°2, +150°C) via capillaire</p> <p>LR = leak rate = taux de fuite P_{HA} = pression no acid = pression avant ajout d'acide</p>  <p>P_{gaz} = pression non gas = pression des gaz non condensables CO₂ = pression CO₂ = pression de CO₂</p>	<p>SPECTROMETRE DE MASSE ISOTOPIQUE (SMI)</p> <p>Modèle : DELTA V ADVANTAGE Fabricant : THERMO Objectif : mesures de δ¹³C and δ¹⁸O Avantages : C et O issus de CO₂ en même temps Contraintes :</p> <p>¹²C ● 98,89% ¹⁶O ● 99,76% ¹³C ● 1,11% ¹⁸O ● 0,2 %</p>  <p>mesures comparatives avec CO₂ réf. double entrée gaz 8 répétitions de mesures par éch.</p>

Spectromètre de masse isotopique (Thermo) dédié aux composés carbonate

Préparateur chimique + SMI	
3% CaCO ₃ + 97% Ca ₅ (PO ₄) ₃ (OH) ₂ émail	coquillage / sol / otolithes CaCO ₃ aragonite/calcaire
<p>PREPARATEUR CHIMIQUE</p> <p>Modèle : KIEL IV CARBONATE DEVICE Fabricant : THERMO Objectif : conversion complète CaCO₃ → CO₂ Avantages : haute sensibilité et faible incertitude Contraintes : éch. de carbonate seulement analysés</p> <p>1) LR = leak rate = taux de fuite < 1000 µBar/min pression du vide mesurée à haute température T₁ & T₂ (pour vérifier qu'il n'y a pas d'entrée d'air dans le montage)</p> <p>2) P_{HA} = pression no acid = pression avant ajout d'acide < 300 µBar pression du vide mesurée à basse température T₁ avant le début de la réaction chimique d'attaque acide (pour vérifier l'absence complète de polluants atmosphériques)</p> <p>3) P_{gaz} = pression des gaz non condensables < 300 µBar pression partielle des gaz non piégés à basse température T₁ pendant la capture complète de CO₂ et H₂O dans le piège n°1 (pour vérifier la pureté des échantillons de CaCO₃)</p> <p>4) CO₂ = pression de CO₂ préférentiellement < 1100 µBar quantité de CO₂ générée par la réaction d'attaque acide et piégé à haute température dans le piège n°1 avant le transfert vers le piège n°2 (pour vérifier une pesée correct : P_{CO2}/masse éch. = constante = 24,6 µBar/µg pour 100% CaCO₃ et = 1,4 µBar/µg pour bioapatite masse_{Bioapatite} = 580 à 630 µg and masse_{100% CaCO3} = 30 à 40 µg)</p>	<p>SPECTROMETRE DE MASSE ISOTOPIQUE (SMI)</p> <p>Modèle : DELTA V ADVANTAGE Fabricant : THERMO Objectif : mesures de δ¹³C and δ¹⁸O Avantages : C et O issus de CO₂ en même temps Contraintes :</p> <p>1) Double entrée gaz : mesure comparative entre CO₂éch. et CO₂réf. (tous deux à égale pression) permettant une correction en temps réel des dérives à court-terme du spectromètre</p> <p>2) Rétabilité : 8 mesures successives de δ¹³C et de δ¹⁸O sur CO₂éch. et CO₂réf. pour diminuer l'incertitude</p> <p>3) Source unique d'analyse : L'unique molécule CO₂ permet la mesure simultanée de δ¹³C et de δ¹⁸O sans changement du champ magnétique du spectro.</p> <p>Incertitude de mesure élargie : σ (δ¹³C) = 0,03 ‰ σ (δ¹⁸O) = 0,06 ‰</p>

Figure A 5 : fonctionnalités et description du préparateur et du spectromètre de masse isotopique utilisés pour nos analyses © Denis Fiorillo.

Les différentes étapes de l'analyse sont les suivantes :

- Les échantillons sont transférés dans le préparateur traite chimiquement, avec de l'acide phosphorique, afin de libérer les gaz CO₂ nécessaires à l'analyse.
- Les gaz produits sont ensuite injectés dans le spectromètre de masse.
- L'appareil mesure précisément les rapports isotopiques du carbone (δ¹³C) et de l'oxygène (δ¹⁸O) présents dans le CO₂ dégagé.

- Des échantillons standards (de référence internationale) sont analysés en parallèle pour garantir la précision et la justesse des résultats.
- Les données brutes obtenues (valeurs isotopiques) sont ensuite corrigées et calibrées selon les standards, puis exportées pour être interprétées.

Le spectromètre de masse permet de quantifier avec une grande précision les rapports isotopiques stables du carbone et de l'oxygène dans les échantillons. Ces valeurs constituent la base de nos interprétations paléoenvironnementales et sur le régime alimentaire des individus analysés.

PROTOCOLE 2 : Analyse de texture des micro-usures dentaires

Depuis la fin du siècle dernier, un grand nombre d'analyses sur la micro-usure dentaire ont démontré que les traces microscopiques que l'on peut observer sur l'émail dentaire après la mort de l'animal, permettent de reconstituer son régime alimentaire et nous informe sur les mécanismes d'utilisation des dents chez beaucoup de mammifères. Les micro-usures ne peuvent être étudiées que sur des surfaces dentaires ayant subi une abrasion (ayant déjà servi). Deux types d'études sur les micro-usures dentaires ont été menées depuis ces dernières années : l'inférence des mouvements masticatoires (Ryan, 1979 ; Teaford and Walker, 1982 ; 1983) et la reconstitution du régime alimentaire de l'animal (Walker, 1976 ; Covert and Kay, 1981 ; Peters, 1982 ; Gordon, 1988 ; Ungar, 1996 ; Ungar *et al.*, 2003 ; Merceron *et al.*, 2004a ; 2004b ; 2005). C'est le deuxième type d'analyse qui nous intéresse car notre but est de reconstituer le régime alimentaire des rennes et chevaux étudiés.

Historique de la méthode d'analyse des micro-usures dentaires.

1. Prémices de la méthode

Les études les plus anciennes ont été publiées il y a plus d'un demi-siècle (Simpson, 1933). Elles découlent directement de l'hypothèse selon laquelle la morphologie de la dent reflète le comportement alimentaire de l'animal. En effet au fur et à mesure de la vie de l'animal, ses dents s'usent et la hauteur de la couronne diminue. La morphologie de l'émail dentaire dépendrait donc des propriétés des aliments qui entrent en contact avec les dents (Simpson, 1933). En 1952 puis en 1955, Percy Butler et J.R.E. Mills évoquent la possibilité que l'étude de la direction des mouvements masticatoires permette de déterminer le régime alimentaire de l'espèce étudiée. Toujours dans les années 1950, de nouvelles recherches affirment que les microtraces que l'on peut observer sur l'émail dentaire à la mort de l'animal résultent de la mastication. Les chercheurs notent aussi la présence de traces caractéristiques dues à la présence de phytolithes ou de grains de quartz exogènes ramassés au sol lors de la préhension de la nourriture par l'animal (Baker *et al.*, 1959). La variation de ces microtraces à l'intérieur de groupes ou entre différents groupes de mammifères permet ensuite de différencier certains régimes alimentaires (Dahlberg & Kirzey, 1962).

En 1976, P. Walker redéfinit les fondements de cette théorie sur les micro-usures dentaires (MUD) et applique l'analyse sur des incisives de primates. A l'aide de la microscopie optique, il observe des surfaces dentaires plus striées que sur celles d'autres espèces (singes ; Walker, 1976). Les premières études influentes portent ensuite sur la micro-usure de molaires

de mammifères et notamment sur des rongeurs (Rensberger, 1978). En 1978, à l'aide du Microscope électronique à balayage (MEB), des chercheurs montrent que l'analyse des MUD permet de différencier les régimes alimentaires parmi les mammifères voir même de détecter la saisonnalité dans les comportements alimentaires (A. Walker *et al.*, 1978). De nombreuses études qui suivent ces travaux ont appliqué les analyses de MUD et, avec des variations selon les méthodes utilisées, presque toutes les familles de mammifères sont étudiées.

2. 1980-1990 : MEB et remise en question de l'efficacité des micro-usures dentaire.

À partir de 1978, les chercheurs réalisent que la microscopie optique a des limites et les progrès sont limités. Alan S. Ryan (1980) et Alan Walker (1981) appliquent une méthode comparative entre primates actuels (humain compris) et autres mammifères pour reconstituer le régime alimentaire d'espèces fossiles. Mais, alors que l'on commence à peine à reconnaître le potentiel de ce type d'analyses et que des référentiels se constituent, une série d'articles vient remettre en cause les résultats précédents et de nombreux papiers font une réévaluation complète de la méthode en tant qu'outil de reconstitution du régime alimentaire (Covert et Kay, 1981 ; Peters, 1982, Gordon, 1982, 1984, 1988 ; Gordon et Walker, 1983 ; Covert et Kay, 1983, 1984).

Par la suite, des méthodes semi-automatiques sont développées pour quantifier les MUD (Ungar *et al.*, 1991 ; Ungar 1995). Toutes ces études confirment les résultats de 1978 et permettent d'établir des catégories alimentaires en comptabilisant le nombre de *pits* (ou « ponctuations ») et stries (*scratches*) sur l'émail (Fig. 9). Ces analyses reposent sur des photos de MEB (x100-500) et demandent beaucoup de temps ainsi qu'un équipement relativement coûteux. C'est dans le but de remédier à ces problèmes techniques que de nouvelles méthodes se développent dans les années 2000.

3. Les années 2000 : stéréomicroscopie et problèmes liés au 2D

Pour résoudre le problème de coût, l'emploi de la stéréoscopie (faible grossissement - x35) est proposé (Solounias & Semprebon, 2002). Plus rapide et moins chère, cette méthode permet de traiter plus d'échantillons. Malgré le fait que l'échelle d'observation diffère selon les différentes études qui suivent, elles confirment toutes les résultats de la première (Semprebon *et al.*, 2004a, Semprebon *et al.*, 2004b, Green *et al.*, 2005, Nelson *et al.* 2005, Palombo *et al.*, 2005, Rivals *et al.*, 2007, Green 2009, Rivals *et al.*, 2009a, b, Solounias *et al.* 2010). Entre 2004 et 2005, G. Merceron redéfinit la méthode de stéréoscopie en utilisant un plus fort

grossissement. Il est ainsi capable de définir des catégories de tailles précises pour les traces (*'features'* en anglais) ce qui permet une meilleure quantification des micro-usures. Par la suite, cette amélioration de la méthode est appliquée dans de nombreuses études (Merceron *et al.*, 2005b ; Merceron *et al.*, 2006a, Merceron *et al.*, 2006b ; Merceron *et al.*, 2007 ; Calandra *et al.*, 2008 ; Goillot *et al.*, 2009 ; Gomes Rodrigues *et al.*, 2009 ; Peigné *et al.*, 2009, Calandra *et al.*, 2010 ; Merceron *et al.*, 2010b ; Ramdarshan *et al.*, 2010).

Les résultats de ces études de MUD en 2D se recourent : la consommation d'herbe abrasive raye l'émail dentaire (*scratches*) tandis que la nourriture plus dure (*hard food*) produit des ponctuations (*pits*). Cela permet le développement de référentiels sur les régimes alimentaires et sur les types de traces correspondantes. Ainsi, le régime alimentaire d'espèces éteintes (*extinct species*) peut être déduit en comparant avec ces référentiels, ce qui permet de reconstituer le paléoenvironnement.

Dans les années 2000, on commence aussi à remettre en question l'efficacité de la 2D et l'on cherche à corriger plusieurs problèmes liés à cette méthode : les erreurs liées à la présence d'un observateur qui rend le résultat trop subjectif (orientation manuelle des surfaces) et le décompte des traces (*features*) une par une est une étape non reproductible. La difficulté de comparer des études menées dans différents laboratoires ou par différentes personnes d'un même laboratoire est directement liée à ces problèmes. Les chercheurs développent par la suite une nouvelle méthode qui sera automatisée et qui caractérise l'émail dentaire en 3D et non plus en 2D. C'est cette nouvelle méthode que nous avons appliquée au matériel archéologique dans le cadre de notre étude.

L'analyse de texture des micro-usures dentaires et la microscopie confocale (figure A6)

À partir des années 2000, les chercheurs se sont tournés vers la 3D pour résoudre les problèmes liés à la 2D (Ungar *et al.*, 2003). Il s'agit désormais d'étudier la surface dentaire en trois dimensions, à l'aide d'un profilomètre surfacique (microscopie confocale). Cette méthode résout presque tous les problèmes causés par l'orientation de la surface car on quitte l'unique plan en deux dimensions. On constate un gain de temps par rapport aux anciennes méthodes et elle est automatisée grâce à la SSFA (*scale sensitive fractal analysis* ou analyse fractale échelles dépendantes) que nous allons présenter ici après avoir expliqué le principe de la microscopie confocale (Scott *et al.*, 2005, Krueger *et al.* 2008, Merceron *et al.* 2009 ; Scott *et al.*, 2009).

- ANALYSE DE TEXTURE DES MICRO-USURES DENTAIRES -

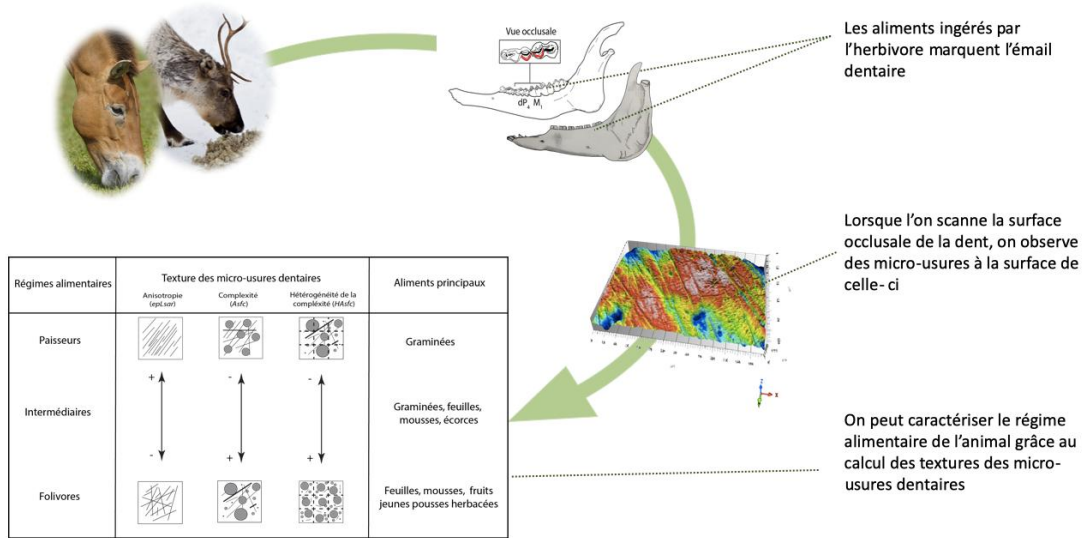


Figure A 6 : Principe de l’analyse texturale des micro-usures dentaires développée ici

1. Description de la microscopie confocale

On observe l’émail dentaire à l’aide d’un profilomètre surfacique ou *confocal microscope*. Ce type de machine permet de scanner la surface de l’émail dentaire étudiée, en trois dimensions. Les spécimens de la présente étude ont été scannés avec le microscope DCM8 (Leica) (Fig. 10). Ce modèle de microscope confocal combine en réalité deux technologies : un profileur confocal et l’optique interférométrique. La microscopie confocale de haute définition (balayage confocal avec une tête de détecteur sans partie mobile) permet d’avoir une résolution latérale maximale et l’interférométrie permet d’atteindre une résolution verticale inférieure au nanomètre.

Ces deux techniques s’avèrent être utiles pour l’analyse de surface de matériaux et ici plus précisément pour examiner l’émail dentaire. En effet « les surfaces composées de structures complexes, comportant des zones de forte inclinaison, exigent une résolution latérale de quelques microns » (site internet de Leica microsystems (<http://www.leica-microsystems.com/fr/produits/microscopes-confocaux/>)). L’utilisation de la microscopie confocale s’applique donc parfaitement au micro-relief contrasté de l’émail dentaire.

2. SSFA - outil de calcul des surfaces étudiées

Après avoir scanné les dents à l’aide du profilomètre surfacique, les scans sont retouchés

et soumis à une analyse sous les logiciels ToothFrax et SFrax (voir en 2.4.2) utilisant une Analyse Fractale Echelle-Dépendante (SSFA : *scale sensitive fractal analysis*) (Scott *et al.*, 2005). Ce type d'analyse est basé sur le principe de géométrie fractale, selon lequel l'apparence d'une surface peut changer d'une échelle d'observation à une autre. En effet, une surface qui paraît lisse à une large échelle d'observation peut paraître accidentée et plus complexe à une échelle plus petite. Cinq variables sont utilisées pour caractériser les différentes textures de surface dentaire. Elles sont calculées à l'aide d'algorithmes produits dans les logiciels ToothFrax et SFrax et sont expliquées dans le tableau X.

3. Intérêt de la nouvelle méthode

Cette approche en 3D est récente et a déjà livré des résultats dépassant de loin la méthode classique. En effet, elle permet déjà d'identifier le genre selon l'alimentation et de distinguer la saisonnalité dans le comportement alimentaire d'une même espèce (Merceron *et al.*, 2010, 2014). Le succès de cette méthode sur des espèces fossiles permet la comparaison entre ces différentes études de texture de surface et permet l'établissement d'une plus grande base de données (Scott *et al.*, 2005, 2006, 2009 ; Ungar *et al.*, 2008a, b, 2010 ; Krueger & Ungar, 2009 ; Merceron *et al.*, 2009 ; Prideaux *et al.*, 2009 ; Ungar & Scott, 2009 ; Schubert *et al.*, 2010 ; Schulz *et al.*, 2010).

Pour étudier le comportement alimentaire des rennes de Pincevent, nous avons utilisé la méthode la plus récente. L'analyse en 3D n'ayant pas encore été testée en archéologie, notre objectif est de vérifier si cette méthode peut s'appliquer à un corpus archéologique qui regroupe de nombreuses informations sur les contextes environnemental et stratigraphique. Le niveau IV20 est le cas idéal pour distinguer des différences selon l'âge ou le genre et l'effectif est assez conséquent, car les rennes feraient partie d'une seule et même population chassée en automne.

Protocole suivi

1. Acquisition des données sur le site : collecte des données archéologiques

1. Sur le site archéologique, ou sur le lieu de conservation de la collection, il faut tout d'abord sélectionner les individus qui sont viables pour notre recherche car la méthode demande

une grande qualité de conservation de l'émail. C'est pour cela que, lors de cette première étape, certains individus sont écartés parmi les restes dentaires. On écarte les dents de lait exceptées la Dp4, de même pour les dents jugales qui viennent de sortir avant la mort de l'animal et n'ont pas été utilisées. D'autres dents sont écartées dès le début de l'étude, les dents qui sont trop abimées, les accidents taphonomiques, tels que le gel ou les racines, peuvent avoir dégradé l'émail dentaire, cela rend une lecture des traces d'usures très difficile voir presque impossible pour certains spécimens.

2. Une fois la sélection des spécimens effectuée, nous procédons à la création d'une base de données où l'on répertorie les spécimens selon le site, la couche stratigraphique, le numéro d'identification, la dent, etc.
3. Le matériel est ensuite nettoyé à l'aide de cotons tiges imbibés d'acétone. Cette étape est cruciale, car il faut dégager d'une couche de produit consolidant ou de colle, plus ou moins épaisse, la cuspide que l'on voudra mouler (molaires inférieures 1, 2 et 3 - chez les adultes ; déciduale inférieure 4 et molaire inférieure 1 chez les juvéniles).
4. On procède ensuite au moulage des cuspides avec du matériel de dentisterie (President Jet Plus MicroSystem Regular body Dental Impression Material - Coltène-Whaledent) très précis. Après avoir moulé trois fois⁶ chaque dent, le tout est conditionné en sachet. Pour avoir un visuel de chaque individu, deux photos (vue vestibulaire, vue occlusale) sont prises par spécimens avant de ranger la collection.

2. Acquisition des données informatiques et SSFA

C'est à l'Université de Poitiers (IPHEP, UMR7262), que l'on scanne les surfaces dentaires moulées lors de la collecte des données archéologiques. Nous suivons le protocole détaillé ci-dessous :

⁶ Dans certaines méthodologies, les chercheurs évoquent trois moulages : un premier pour nettoyer la surface dentaire et deux suivants pour l'analyse des micro-usures dentaires du spécimen.

1. Le scan des surfaces dentaires, se fait à l'aide du microscope confocal (fig. 1). Les moulages ne sont pas scannés dans leur totalité.
2. Il faut tout d'abord sélectionner la zone de la cuspide du bord vestibulaire de la M1 (ou Dp4 chez les juvéniles) qui semble la plus lisible.
3. Le moulage de silicone bleu est découpé avec des ciseaux en essayant de prendre le centre de la facette quand c'est possible, sachant que seulement quelques millimètres suffisent pour le scan de la surface. Il faut manipuler le moulage très minutieusement car une trace de doigt, une poussière ou tout autre élément pourrait fausser la lecture des données : c'est pour cela qu'une pince est utilisée.
4. Une fois la cuspide découpée et positionnée sous l'objectif x5, on oriente la surface de telle façon qu'elle capte au mieux la lumière de l'objectif. Lorsque l'on aperçoit assez de rouge sur la surface cela signifie que la facette reçoit assez de lumière et est assez plate pour pouvoir augmenter le grossissement à x20 puis x50.
5. Enfin, après avoir mesuré les altitudes (en z), on peut passer à l'objectif x100 pour l'acquisition du scan 3D. Le microscope confocal scanne plan par plan puis assemble chacune des images pour reconstituer l'image en 3D (assemblage topographique).
6. Après avoir scanné chaque individu, on procède à une dernière étape. Sur le logiciel logiciel de retouche 3D : LeicaMap (Mountain), on applique ensuite une macro sur chaque surface pour enlever les « pics aberrants » (inférieurs au micron) qui sont liés à la résolution de l'empreinte et doivent être supprimés pour s'assurer que les données ne soient pas faussées lors des calculs.
7. Ces surfaces une fois retouchées et découpées (une par individu) sont enfin soumises à des calculs de surface (SSFA) avec les logiciels ToothFrax et SFrax. La SSFA est automatique et plusieurs spécimens peuvent être lancés en même temps en groupe. La vitesse de calcul varie en fonction de la capacité de l'ordinateur. L'algorithme qui calcule l'Hétérogénéité (*length-scale rotational algorithm*) demande le plus de temps et peut être lancé pendant la nuit (ToothFrax), tandis qu'en quelques secondes, on peut traiter quelques groupes pour le calcul du remplissage textural (SFrax). Concernant les calculs de complexité et anisotropie (*area-scale timing algorithm*) le temps de calcul est intermédiaire (ToothFrax) (Scott *et al.*, 2006).

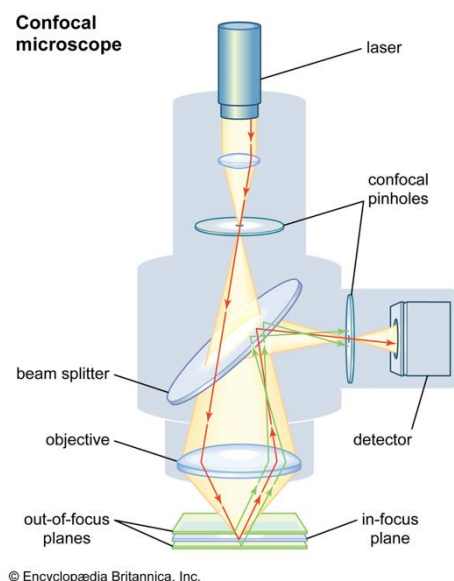


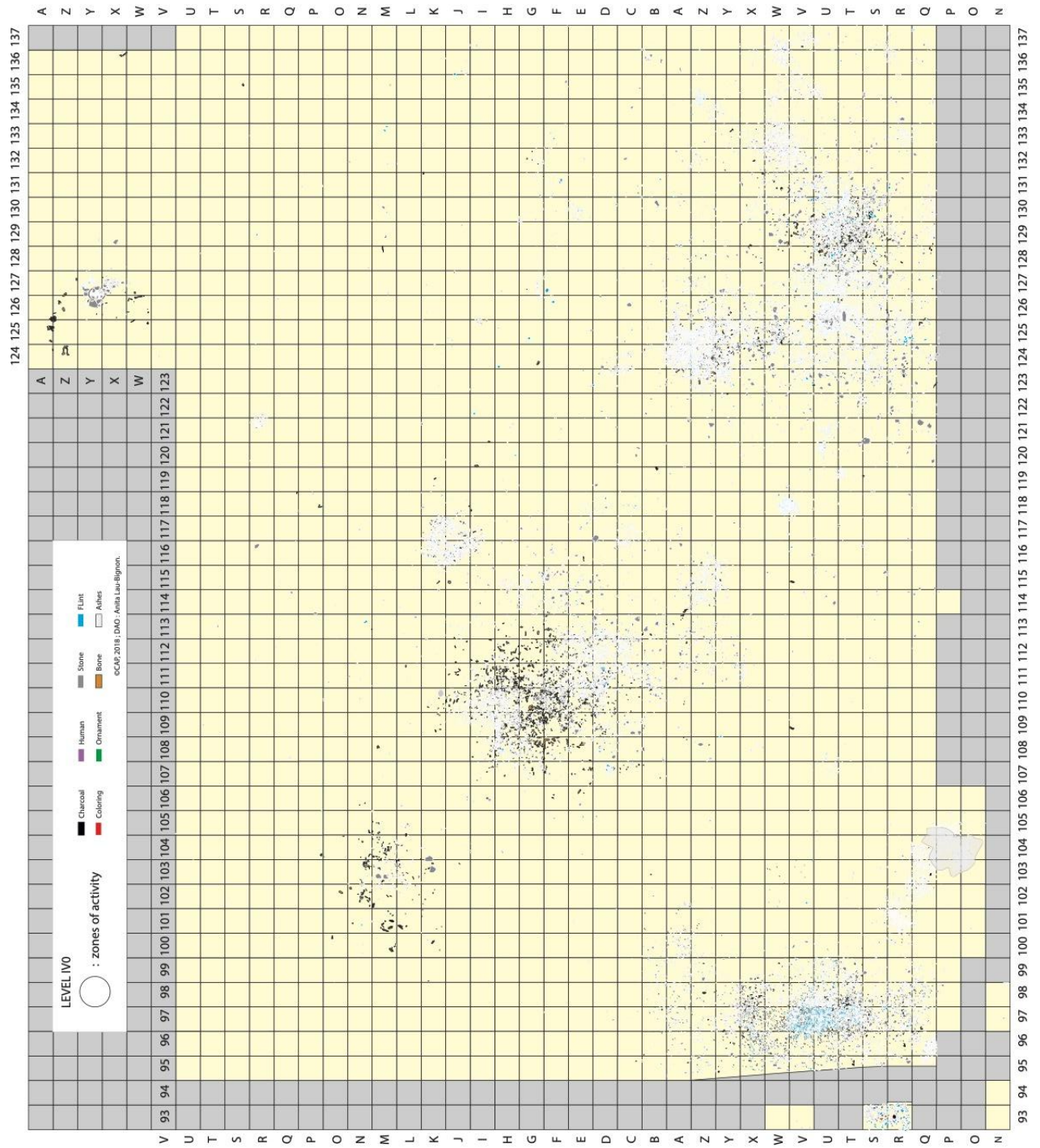
Figure A 7 : Explication schématique d'un microscope confocal

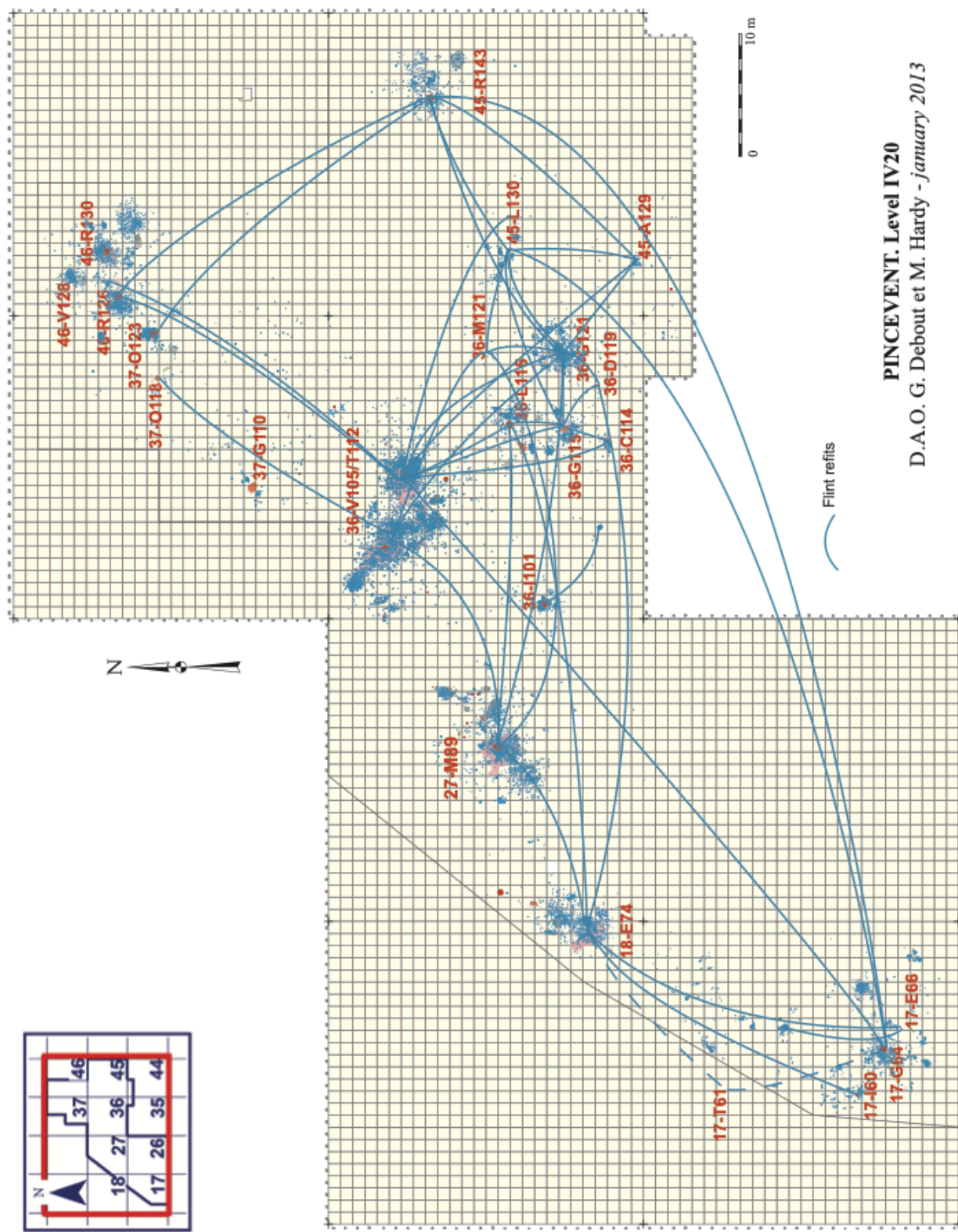
3. Analyse statistique

Les variables calculées pour chaque individu vont ensuite faire l'objet d'analyses statistiques. On garde seulement les cinq variables pour l'étude statistique. Puis on passe au traitement statistique des données avec une analyse en composantes principales ou autre type d'analyse pour comprendre comment les individus sont affectés par les variables et comment les variables interagissent entre elles. Nous n'avons pas pu faire d'analyse statistique sur les échantillons de l'abri Fritsch à ce jour. Les échantillons sont en effet trop disproportionnés les uns par rapport aux autres d'une couche à l'autre du site.

Pour l'interprétation du régime alimentaire on se concentre sur deux variables : anisotropie et complexité que l'on compare aux référentiels et autres données déjà publiées sur différents régimes alimentaires.

ANNEXE 5 - PLANS DES NIVEAUX IV0 et IV20





PINCEVENT. Level IV20
 D.A.O. G. Debout et M. Hardy - *january 2013*

ANNEXE 6 – DONNEES ETHOLOGIQUES SUR LE RENNE

Carte d'identité

- Famille - cervidés
- Espèce – *Rangifer tarandus*
- *Caribou* = Nord de l'Amérique / *Renne* = Eurasie
- Sous-espèces nombreuses :
 - *R.t. granti*
 - *R. t. groenlandicus*
 - *R. t. plathyryncus*
- Sous-espèces se distinguent par leur phénotype, leur génétique et leur éthologie.
- Distinctions : écotypes, populations et troupeaux.

Écologie, régime alimentaire et comportements divers

- Distribution géographique : au nord du cercle polaire – latitudes extrêmes
- S'organisent en troupeaux sauvages ou semi-domestiques

Développement dentaire chez le renne

Les dents de cervidés ont une forme caractéristique, elles présentent des couronnes beaucoup moins hautes et des racines plus proéminentes que les autres ruminants et un *cingulum* (*bulge* = protubérance/ renflement) très prononcé (figure A8) particulièrement du côté lingual des dents supérieures. On retrouve cette forme moins proéminente sur la face buccale des dents inférieures. Au-dessus du *cingulum*, la couronne rétrécit de telle façon que la surface occlusale est plus petite que le diamètre maximum de la dent. Chez la plupart des cervidés, les arrêtes (*rigdes*) ou contreforts (*buttresses*) de la face buccale des dents supérieures sont plus développées et s'étendent extérieurement au-dessus du col (*cervix*) de la dent.

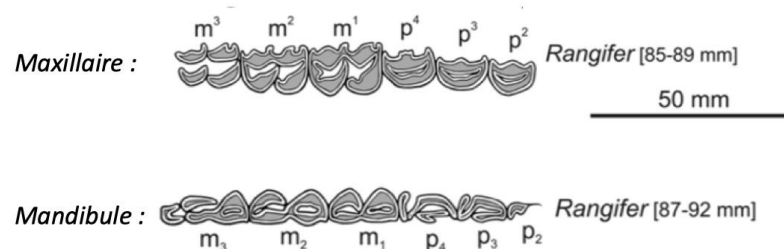


Figure A 8 : vue occlusale de dents de rennes supérieures (maxillaire) et inférieures (mandibule) d'après Hillson, 2005.

Le renne (*Rangifer*) présente des prémolaires plus longues et plus étroites que les autres cervidés. Les canines supérieures sont présentes variablement, souvent très réduites (figure A8).

Les rennes naissent avec huit dents de lait en place dans les mâchoires supérieure et inférieure (incisives) et six prémolaires de lait en éruption. Entre 3 et 5 mois, la M1 pousse et entre 10 et 12 mois c'est au tour de la M2. Vers 15 mois, la M3 pousse et les 8 incisives permanentes sont présentes. Vers 22 mois, on observe le début d'éruption des prémolaires définitives. C'est vers 27 à 29 mois que toute la dentition permanente est sortie, avec les prémolaires et la M3 qui ferment le bal (Banfield, 1954 ; Bergerud, 1970 ; Miller, 1972 ; Skoog, 1968).

Les analyses isotopiques des tissus dentaires que l'on mène concernent les tissus pendant la formation de la matrice et/ou la minéralisation ; il est donc important de comprendre les processus et la périodicité de la formation de l'émail et de la dentine. Mais nous avons trouvé peu de données à ce sujet dans la littérature (Bergerud, 1970 ; Miller, 1972) et nous n'avons pas pu trouver de données sur le temps de minéralisation précis ainsi que sur les processus de formation de la couronne et de minéralisation de l'émail chez le renne. D'autres cervidés, comme le daim, ont été étudiés de ce point de vue (Brown et Chapman, 1991a). Par exemple, la formation de la couronne de la M2 et de la M3 chez *Dama dama* commence entre 3,5 et 9 mois (M2) et est complète entre 9 et 18 mois (M3). Le renne étant brachyodonte, une molaire peut donc représenter entre 6 à 9 mois de croissance (Brown et Chapman 1991a et 1991b). Mais on échantillonne des individus dont les dents sont abrasées donc on fera attention car la période de minéralisation que l'on observera sera systématiquement plus courte.

Les méthodes d'échantillonnage séquentiel des tissus dentaires (dentine ou émail) partent du principe :

- que les dents chez *Rangifer* se forment séquentiellement de la cuspide à la racine (ou cervix – erj)
- que l'émail se minéralise séquentiellement (de la cuspide au cervix) et à un rythme continu.

On gardera donc en tête que ces principes sont partiellement corrects et certains effets peuvent freiner ou accélérer les processus pendant les phases successives de minéralisation. De plus, les faons sont sevrés vers 2 mois (Dauphiné 1976 ; Skoog, 1968), la dentine sera donc enrichie en azote (niveau trophique au-dessus de leur mère) ce qui nous empêche de sélectionner des dents de spécimens trop jeunes (moins de 3 mois). Après cette période de sevrage, l'isotopie reflète seulement l'alimentation avec les influences de l'environnement, du climat et des effets physiologiques propres à l'organisme. La M2 et la M3 étant formées après sevrage du faon on les utilisera donc pour toutes les analyses d'isotopie stable.

Migrations et cycle physiologique chez le renne

Les troupeaux de rennes peuvent comporter des écotypes sédentaires et migrateurs. Les migrations se font parfois sur plusieurs milliers de kilomètres (Bergman *et al.*, 2000) et sont qualifiées de migrations sur de longues distances ou peuvent être au contraire sur de plus courtes distances. Sur de longues distances les migrations sont souvent liées aux températures et ont pour trajectoires des déplacements qui vont du nord au sud et du sud au nord. Les facteurs/variables écologiques qui peuvent déclencher ces mouvements varient selon les écotypes de rennes : quantité et qualité des pâturages, présence de prédateurs (dont la multiplication d'insectes comme les moustiques pendant la saison chaude par exemple ; Bergerud et Luttich, 2003 ; Toupin, 1994). Les migrations ont lieu au printemps – entre mars et mai pour la plupart des troupeaux avec notamment la présence de femelles gravides qui ouvrent la voie avec les juvéniles et les femelles non gravides et les mâles qui suivent ensuite. Chez les caribous, les éthologues observent une synchronicité des naissances et une fidélité des aires de mise bas (Schaefer *et al.*, 2000) – on définit souvent un troupeau sur la base de l'usage répété des mêmes aires de mise bas (Skoog, 1968). Ces aires peuvent avoir été sélectionnées pour différents facteurs topographiques et géographiques afin de réduire les risques de prédatations protégeant les faons (Bergerud et Luttich, 2003). Comme on l'a dit précédemment, les faons sont sevrés environ vers 2/3 mois (Skoog, 1968). Après cette période, les femelles et les faons se dispersent dans de plus larges aires – « *summer range* ». Ces pâturages d'été peuvent être vastes et les troupeaux peuvent se disperser et se séparer en plusieurs groupes (distants de parfois plusieurs centaines de km parfois. La période de rut, en fin de saison chaude (été, début automne) est suivie de la migration automnale. Cette seconde migration correspond souvent à la trajectoire inverse de celle du printemps (souvent vers le sud, car les pâturages sont plus ensoleillés au sud pendant la période froide).

Régime alimentaire

Le régime du renne varie selon les saisons et selon ses déplacements (migrations comme on vient de le voir). Comme tout ruminant, le renne actuel est sélectif, il est qualifié d'herbivore intermédiaire/brouteur (*intermediate feeder/browser* ; Hoffman, 2000 ; Danell *et al.*, 2006). Les études sur le *Rangifer tarandus tarandus* attestent qu'il se nourrit de lichens (*Cladonia rangiferina* L.) tout au long de l'année (Skogland, 1980). Il semblerait que le renne ait des préférences alimentaires (jeunes tiges, bourgeons et herbes) mais son régime alimentaire semble changer en fonction des saisons. La plasticité dans son comportement alimentaire dépend directement des ressources de l'environnement qu'il fréquente. L'été ou lors de la

saison chaude, il se nourrit d'herbes, de feuilles d'arbustes parmi les feuillus (*Salix* sp.), des plantes herbacées (dycotylédonées), des champignons et du lichen en petite quantité (Palmer, 1926 ; Skoog, 1968 ; Bergerud, 1972 ; White et al., 1975 ; Boertje, 1984). L'hiver ou pendant la saison froide, il se nourrit de lichens car les autres éléments viennent à manquer (Boertje, 1984). Les adultes peuvent ingérer jusqu'à 2,6 kg de lichen/jour (*dry mass* ; Kumpula, 2001). Cette plasticité du régime alimentaire chez le renne est attestée par l'analyse de contenus stomacaux (Kuntz, 2011), parmi les aliments déjà évoqués ci-dessus on retrouve : des champignons, des herbes dicotylédones et monocotylédones (graminées, joncs et carex), des mousses, et parfois même des feuillages d'arbustes (aulne, bouleau, feuilles de saule). Enfin, il consomme occasionnellement de petits mammifères et des œufs d'oiseaux (Leader-Williams, 1988 – d'après Kuntz, 2011).

Le comportement alimentaire est unique chez le *Rangifer* car ils peuvent ingérer du lichen. Le lichen dans sa composition chimique est très acide, c'est pour cela que la plupart des artiodactyles, qui possèdent des systèmes digestifs sensibles, ne sont pas capables de le digérer chimiquement. Le renne possède une microbiologie du rumen qui permet la digestion de lichens. En effet, la présence d'une bactérie nommée *Eubacterium rangiferina*, cohabite avec le renne et peut se développer en présence de lichens dans l'intestin du renne (Nieminen *et al.*, 1980 ; Nilsson *et al.*, 2006). On ajoutera de plus que le lichen est pauvre en protéine et qu'il faut donc en ingérer une masse très importante pour que le renne se nourrisse. C'est finalement pour sa présence dans le paysage hivernal que le lichen est attractif pour le renne (Crête *et al.*, 1990 ; Lundberg et Palo, 1993). Du fait de sa capacité à ingérer et digérer du lichen et d'autres couvertures végétales, le renne peut investir des habitats/environnements que d'autres ongulés ne sont pas capables d'investir comme la taïga (forêts boréales) ou la toundra arctique (Spiess, 1979). On notera ici que lichen semble être, de ce fait, le composant principal pendant les migrations car il reste le supplément alimentaire le plus accessibles dans différents types d'environnements peu fréquentés par d'autres ruminants pendant les migrations (Boertje, 1984 ; Gaare et Skogland, 1975 ; Scotter, 1967 ; Skoog, 1968)

