

L'Ancestral·e

le journal des étudiant·e·s du Muséum



Numéro 4

***La recherche et les autres
animaux : perdus pour la
science ?***



Ce journal a été financé et conçu par le **Bureau des Doctorants et des Étudiants du Muséum**. C'est la seule association de jeunes chercheurs et d'étudiants du Muséum national d'Histoire naturelle.

Le BDEM a été créé en novembre 1996 et portait alors le doux nom de GTEM (Groupe de Travail des Étudiants Chercheurs au Muséum national d'Histoire naturelle). Son nom actuel, un peu moins studieux, date de 2007.

L'association conserve pourtant une fonction similaire : rapprocher les doctorants et les étudiants. Sur le plan social bien entendu, avec l'organisation de soirées, mais aussi sur le plan scientifique, en organisant des congrès, en te proposant une préparation pour l'oral de l'École doctorale ou avec son fameux "ApéroScience".

Muséum National d'Histoire Naturelle, 57 rue Cuvier, 75231 Paris Cedex 05

SIRET: 443 480 694 00019

Adresse du local : 63, rue Buffon, 75005 Paris / assos.bdem@gmail.com /

<https://assosbdem.fr> / Facebook: BDEM / instagram : assosbdem

L'édito

En 1886, le docteur Jekyll met au point un traitement qui, au prix d'intenses douleurs, lui donne à vivre ses rêves perdus. En 2009, un chirurgien allemand enlève deux jeunes femmes en vue de mener des expériences inédites sur elles. En particulier, le docteur Josef Heiter essaye de montrer qu'il est possible, sinon souhaitable de vivre en partageant un (seul) tube digestif avec sa meilleure amie, son voisin de palier, et la moitié du pays. La même année, l'alchimiste Shô Tucker réalise une expérience de transmutation sur la personne de sa fille et du chien de la famille, créant par-là même une chimère douée de langage. En 2016, dans les Alpes suisses, des médecins exploitent le pouvoir filtrant - ou filtration glomérulaire, des reins des curistes (bien vivants) pour élaborer un traitement contre le vieillissement.

Ces faits sont dégoûtants, indignes, scandaleux, infamants. Ils sont un (joyeux) festival de choses - mais ils ne sont pas divers. Il s'agit des scénarios de romans, films et mangas d'horreur sortis à des époques variées (*L'étrange cas du docteur Jekyll et de Mr. Hyde*, *The human Centipede*, *FullMetal Alchemist*, *A cure for life*). Pourtant, l'humain est bien un apprenti sorcier, mais l'objet de sa recherche, quand il se munit d'un scalpel avec l'intention d'ôter la vie pour la vie - ou juste un rein ou même les deux pour la science, ce n'est presque jamais ses semblables. Josef Mengele, dans les années 40, a bien tenté de faire mentir l'adage, mais ses expériences - des souillures à l'histoire évolutive humaine, ont été à la genèse de lois bioéthiques plus fermes et coercitives pour encadrer la pratique des médecins. Aujourd'hui, de tels crimes se perpétuent dans le secret, de l'excision de jeunes femmes à l'assouvissement de curiosités morbides. Mais ces cas, s'ils sont écœurants, sont infiniment moins nombreux que les quantités vertigineuses d'animaux sacrifiés, "perdus" pour la science.

En 1866, le philosophe Charles Sanders Peirce utilise pour la première fois le terme de "qualia", remobilisé une cinquantaine d'années plus tard par Clarence Irving Lewis dans *Mind and the World Order* (1929). Les qualia désignent ce qu'il a de subjectif dans les expériences que nous vivons, appelées expériences sensibles ou perceptives. Ces états de conscience, qui ont tout à voir avec nos sens, sont personnels - mais sont-ils seulement humains ? La personne n'est-elle qu'humaine ? Les animaux ressentent-ils la faim ? Sans doute. La douleur ? C'est probable. La honte ? La colère ? Des aspirations, élaborent-ils des projets ? Les animaux ont-ils des qualia ? Et au nom d'elles, doit-on cesser de mener des expériences sur les animaux ? Nous devons beaucoup de révolutions médicales aux animaux, et leur sacrifice continue d'être au fondement de défis sanitaires toujours plus pressants et nombreux. Des programmes et des lois émergent, comme le mouvement *One Health* né dans les années 2000.

Des protocoles alternatifs - d'évitement, de remplacement, de canalisation, d'endiguement voire d'annulation de la souffrance animale sont mis au point et s'imposent de plus en plus aux professionnels. Mais sont-ils suffisants, et assez équitables ? Même après la mort, les os des animaux continuent d'être les instruments de nos recherches. Ils nous sont éminemment indispensables. La question d'un cadre d'expérimentation juste et respectueux se pose, indiscutablement. La dépouille humaine est inviolable en l'absence d'un consentement éclairé, celle des animaux est à disposition. Certains squelettes ont même une valeur patrimoniale. Mais est-ce forcément incompatible avec l'amour des autres animaux ? Doit-on taxer d'assassin quiconque poserait la main sur un os ? Y'a-t-il des raisons souveraines, des questions prioritaires de recherche ? Des pratiques acceptables, justifiables ? Les animaux doivent-ils être perdus pour la science, ou la science doit-elle perdre le bénéfice des animaux ? Tout ceci, lecteur, lectrice, ne trouvera pas de réponse dans l'Ancestral.e, mais la présente édition se propose d'en explorer quelques jalons. Nous pensons qu'en tant qu'étudiant/e/s, une partie des réponses aux questions précitées se trouve dans la manière - bonne ou mauvaise, dont nous appréhendons la science et les animaux placés à son service. C'est une forme d'honnêteté intellectuelle que nous leur devons, quelque part.

Camille Lac, Responsable du journal, étudiante en M2 QPB au MNHN

Le sommaire

P: 4 / *Petit tour d'horizon de l'expérimentation animale : quels problèmes éthiques ?* [Aurore Aymerie](#) [Dit Eymeric](#)

P: 11 / *Des métathériens aux marsupiaux actuels : un bref résumé évolutif* [Alice Melekian \(Badoux\)](#) & [Corentin Deppe](#)

P: 18 / *Nénette, une BD* de [Jo Seshat](#)

P: 27 / *La taphonomie, une discipline essentielle des études de fossiles : Ode non déguisée à cette discipline* [Nolwenn Emonet](#) & [Emma Périchon](#)

P: 36 / *Retour d'expérience sur les collections de référence* [Angela Nosedà](#), [Camille Lac](#)

P: 39 / *L'expérience d'Angela* [Angela Nosedà](#)

P: 40 / *L'expérience de Chloé* [Chloé Aubry](#)

P: 41 / *L'expérience de Barbara* [Barbara Jambin](#)

P: 43 / *Calendrier Mars/Avril des animations scientifiques du MNHN* [Camille Lac](#)

P: 44 / *Mots croisés* [Camille Lac](#)

P: 46 / *Un mot pour terminer* [Camille Lac](#), [Marie-Aimée Allard](#)

** Attention ! Cette édition donne à lire des propos et à voir des illustrations susceptibles d'heurter la sensibilité de certaines personnes. **





Petit tour d'horizon de l'expérimentation animale : quels problèmes éthiques ?

L'expérimentation animale est un sujet qui semble de plus en plus préoccuper notre société. Pour certains, il s'agit d'une méthode de recherche nécessaire, un mal pour un bien en somme, sans lequel on ne pourrait espérer guérir les maladies qui nous frappent et celles qui affectent les autres espèces animales, tandis que pour d'autres, il s'agit d'une pratique inhumaine, injustifiable tant sur le plan scientifique que sur le plan éthique. Le but de cet article n'est pas de trancher en faveur de l'un ou de l'autre, mais plutôt d'apporter un peu de lumière sur les difficultés de traitement de certains problèmes liés à l'expérimentation animale. En effet, l'expérimentation animale fait partie de ces sujets, toujours plus nombreux, sur lesquels il peut être difficile de se renseigner sans se retrouver embarqué dans des fake news, des informations approximatives ou des tentatives de désinformation. Un petit tour sur Internet permet de s'en rendre compte : les chiffres donnés par les différents sites, qu'ils appartiennent à des ONGs ou à des organismes scientifiques, ainsi que la conception de l'expérimentation animale qui y est décrite, peuvent différer grandement. Par conséquent, il est nécessaire d'être vigilant et de faire preuve d'esprit critique, et il est normal d'en faire usage également par rapport à cet article. On pense plus souvent aux enjeux éthiques liés à l'expérimentation qu'aux -

enjeux scientifiques, mais l'expérimentation animale pose en réalité une grande variété de problèmes. Ici, nous avons fait le choix de nous concentrer sur les problèmes éthiques que pose l'expérimentation animale, mais nous n'excluons pas d'explorer les problèmes scientifiques dans une prochaine édition du journal. Il faut souligner que la nature de l'expérimentation animale et des problèmes éthiques qu'elle pose change avec le temps car la pratique de l'expérimentation animale dépend étroitement des évolutions techniques et technologiques, mais aussi de la conception que l'on se fait de l'animal non-humain et de l'être humain.

Dans cet article, on proposera d'abord une définition de l'expérimentation animale pour pouvoir cerner ce dont on va parler. Ensuite, on apportera un peu de contexte sur la pratique de l'expérimentation animale. En effet, il est important de savoir comment se passe la recherche animale dans la pratique et non seulement en théorie pour pouvoir avoir une idée des enjeux éthiques que cette pratique pose. Puis on reviendra sur l'histoire de l'expérimentation animale et sur l'évolution du statut accordé à l'animal de laboratoire. Cela permettra de comprendre pourquoi la recherche animale en est venue à occuper une si grande place dans la recherche scientifique actuelle. Enfin, on se penchera sur les principaux arguments pour et les principaux arguments contre l'expérimentation animale.

Quand on parle d'expérimentation animale, de quoi parle-t-on exactement ?

La notion d'expérimentation animale ne semble intuitivement pas avoir besoin d'être définie. Une définition large de la recherche animale correspond à la réalisation d'expériences scientifiques sur des animaux de laboratoire qui sont des animaux spécifiquement conçus pour ces expériences. En réalité, la notion d'expérimentation animale est plus complexe que cette première définition ne le laisse paraître. L'expérimentation animale, c'est à la fois effectuer des expériences sur les animaux en tant que sujets, c'est-à-dire pour étudier les fonctions biologiques en général ou bien pour parvenir à des traitements efficaces pour traiter les maladies qui les affectent, mais c'est aussi effectuer des expériences sur des animaux de laboratoire en tant que substituts de l'être humain. C'est là que les principaux problèmes éthiques se posent. Remarquons aussi que la recherche animale fondamentale, qui consiste en l'étude des fonctions biologiques et pathologiques en général, et la recherche animale biomédicale, qui consiste en la réalisation d'expériences sur des animaux de laboratoire dans le but d'aboutir à des traitements efficaces pour les maladies humaines, sont deux types de recherche scientifique qui, par conséquent, ne posent pas les mêmes problèmes éthiques.

Un peu de contexte sur la pratique de l'expérimentation animale : concrètement, comment ça se passe ?

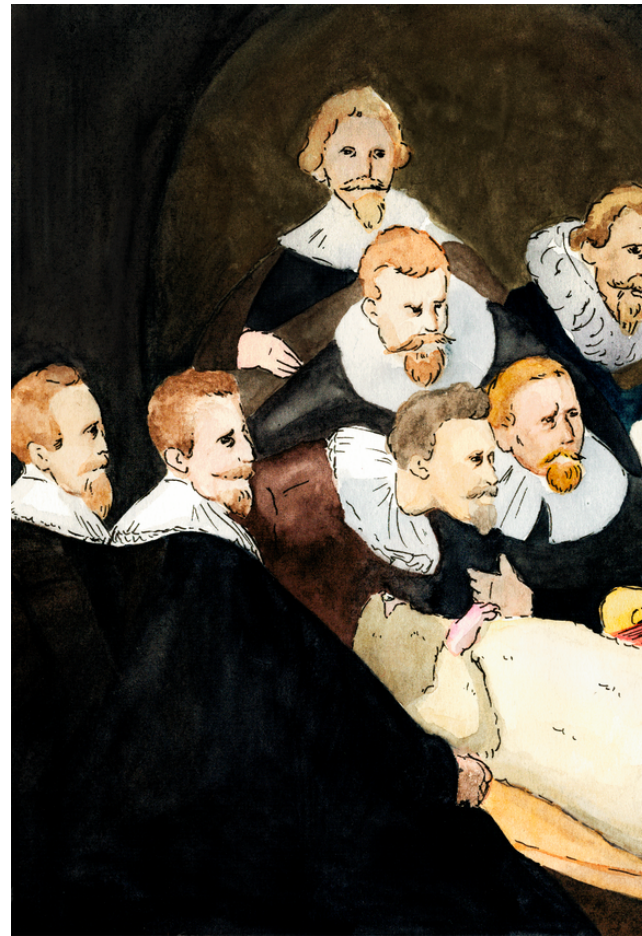
On a souvent dans l'idée que l'expérimentation animale est une pratique cruelle qui provoque des souffrances injustifiables aux animaux de laboratoire et que les scientifiques ne se posent aucune question éthique sur leur pratique. Ce n'est pas exact. L'expérimentation animale est en réalité très encadrée, tant dans la législation que dans la pratique, mais ce n'est pas pour autant qu'elle ne pose pas de problèmes éthiques. Trois principes se trouvent au cœur de l'expérimentation animale de nos jours : on les appelle les 3Rs. Il s'agit du Remplacement (c'est-à-dire les mesures de remplacement de l'expérimentation animale par les méthodes alternatives comme les cultures de cellules et les simulations numériques), de la Réduction (c'est-à-dire les mesures de réduction du nombre d'animaux utilisés dans les expériences scientifiques) et du Raffinement (c'est-à-dire les mesures d'atténuation de la souffrance, du stress et de l'inconfort ressentis par les animaux de laboratoire). Les scientifiques doivent implémenter les 3Rs directement dans leurs expériences dès lors qu'elles portent sur des animaux de laboratoire. En pratique, cela veut dire qu'ils doivent concevoir leurs expériences en respectant le plus possible les 3Rs et le démontrer à un comité éthique, lequel pose énormément de questions et exige souvent davantage de précisions de la part des chercheurs voire des modifications dans leur conception des expériences.

Un petit point sur l'histoire de l'expérimentation animale et comment comprendre les enjeux éthiques liés à

Il est nécessaire pour les chercheurs de recevoir l'autorisation de ce comité d'éthique pour pouvoir commencer leurs expériences.

Enfin, dès lors que le stress, la douleur ou l'inconfort ressentis par un animal de laboratoire est supérieur au passage d'une seringue, l'animal doit être sous anesthésie et recevoir des analgésiques afin de minimiser sa souffrance. Autrement dit, l'expérimentation animale actuelle n'a plus rien à voir avec ce qu'on a appelé la vivisection (l'opération ou la dissection pratiquée sur un animal vivant, éveillé, conscient), mais ce n'est pas pour autant que cette pratique ne pose aucun problème éthique. Elle pose des problèmes différents de ceux que posaient la vivisection.

Illustration :
@Lustige Blotter, Medical vivisection



Dans l'Antiquité, en Grèce ancienne, l'humain est un animal parmi les autres, à l'exception du fait qu'on considère qu'il possède le *logos* (« le discours » en grec ancien), c'est-à-dire à la fois la capacité de parler et celle de former des raisonnements. Dès l'Antiquité, il y a des inquiétudes dans la population par rapport aux expériences scientifiques sur des animaux. Il faut dire qu'à l'époque, on ne disposait pas des moyens que l'on a aujourd'hui pour les anesthésier, donc les animaux souffraient forcément. L'animal est considéré à l'époque comme une propriété, on peut même noter que son statut n'est en cela pas si différent de celui de l'être humain. En effet, à moins d'être né dans une famille aisée et influente, un être humain dans la Grèce antique peut devenir esclave dans sa Cité s'il contracte une dette, ou bien être maltraité dans une autre cité s'il y est exilé. En Occident, jusqu'aux Lumières, l'influence de la religion chrétienne contribue probablement à creuser le fossé entre le statut accordé aux êtres humains et celui accordé aux autres animaux. La conception instrumentale des animaux, c'est-à-dire l'idée qu'ils peuvent être utilisés comme des outils, est contestée à plusieurs reprises, notamment à l'époque des Lumières qui

Expérimentation animale pour mieux l'expérimentation animale aujourd'hui



Illustration :
@Jo Seshat, Dissection d'un rat

statut accordé aux êtres humains et celui accordé aux autres animaux. La conception instrumentale des animaux, c'est-à-dire l'idée qu'ils peuvent être utilisés comme des outils, est contestée à plusieurs reprises, notamment à l'époque des Lumières qui s'interrogent sur leurs capacités (comme Rousseau) ou sur leur statut moral (comme Bentham). Il faut néanmoins attendre le XIX^{ème} siècle pour que les choses commencent à évoluer sur le plan juridique et sur le plan pratique : en 1876, le *Cruelty to Animals Act* au Royaume-Uni est la première législation au monde qui condamne explicitement la réalisation d'expériences scientifiques sur des animaux. Un moment crucial dans l'histoire de l'expérimentation animale, auquel on ne pense pas spontanément, est la fin de la Seconde Guerre mondiale, en particulier avec le procès de Nuremberg, où l'on découvre les expériences atroces pratiquées par les médecins nazis sur les prisonniers des camps de concentration. Au lendemain de la guerre, afin d'éviter qu'une telle chose ne se reproduise ou soit même concevable pour des médecins, il paraît essentiel de mettre au cœur de la recherche scientifique la notion de consentement éclairé des patients.

En somme, la recherche doit tout faire pour respecter les patients au lieu de les exploiter. Dans ce contexte, l'expérimentation animale apparaît comme une alternative à la réalisation d'expériences scientifiques sur des sujets humains. Ainsi, la réalisation d'expériences scientifiques sur des animaux plutôt que sur des personnes que l'on sait douées de capacités cognitives semble être la moins pire des solutions. En effet, la recherche sur des sujets humains pose également son lot de problèmes. Les personnes qui participent aux essais cliniques sont soit des personnes malades qui espèrent recevoir un traitement susceptible d'améliorer leur état - même s'il n'a pas encore été approuvé, ou qui espèrent que leur propre souffrance permettra d'alléger les souffrances à venir d'autres personnes, soit des personnes bien portantes qui cherchent à gagner de l'argent sans toujours avoir conscience des risques qu'elles prennent pour leur santé. Les personnes malades qui participent aux essais cliniques ne le font pas forcément par choix : cela peut être par désespoir de trouver un traitement efficace pour les aider à guérir. De même, les personnes bien portantes qui participent aux essais cliniques, pour certains, sont en quête d'argent, par exemple parce qu'ils sont en difficulté financière.

La raison pour laquelle la notion de consentement est au cœur de la recherche clinique sur des sujets humains, c'est que l'on reconnaît aux êtres humains des capacités cognitives que l'on ne reconnaît pas, ou en tout cas pas autant, aux membres des autres espèces animales.



En novembre 2013, à Milan, une marche contre la vivisection @Marco Aprile, Nurphoto (SIPA).

Les problèmes éthiques

**« La question n'est pas :
Peuvent-ils raisonner ? ni :
Peuvent-ils parler ? mais :
Peuvent-ils souffrir ? » – Jeremy
Bentham**

Pour résumer, l'expérimentation animale est une pratique très encadrée qui fait l'objet de contrôles par des comités d'éthique et par des comités de surveillance des animaleries. C'est une pratique qui cherche à minimiser le stress, l'inconfort et la souffrance ressentis par les animaux de laboratoire parce que personne, en principe, n'aime faire souffrir les animaux, parce que les législations sont très strictes et les sanctions sévères et aussi parce qu'un animal stressé ou souffrant va fausser les résultats de l'expérience. Maintenant que l'on a à peu près délimité ce qu'est l'expérimentation animale, pourquoi cette pratique est-elle aussi répandue de nos jours dans la recherche scientifique et comment ça se passe concrètement, quels sont les problèmes éthiques liés à la recherche animale ?

Le principal problème, semble-t-il, a à voir avec la souffrance des animaux de laboratoire. On l'a dit, les animaux de laboratoire sont sous anesthésie générale et reçoivent des analgésiques dès lors qu'une expérience est susceptible de leur faire ressentir une douleur, un stress ou un inconfort supérieur au passage d'une aiguille hypodermique. Toutefois, ce n'est pas parce qu'ils sont inconscients durant une expérience que les animaux de laboratoire ne ressentent aucune souffrance (simplement, cette souffrance n'est pas ressentie de manière consciente pendant la durée de l'anesthésie) ou que l'expérience ne leur cause aucun stress. En effet, dans certains cas, ils peuvent sans doute ressentir une différence entre leur état avant l'expérience et leur état après l'expérience, même s'ils ne font pas forcément le lien cognitif entre ce changement d'état ressenti et l'absence de conscience pendant une certaine durée puisque, contrairement aux chercheurs, ils ne -



Photo : @Gettyimages

ne savent pas et n'ont pas les moyens de comprendre ce qui leur est arrivé pendant leur moment d'interruption de conscience. Est-ce à dire que cela pose les mêmes problèmes que, lors des siècles passés, lorsque les animaux étaient parfois disséqués vivants sans bénéficier de la moindre atténuation de douleur ? Certainement pas, mais on voit tout de même que cela pose aussi des problèmes éthiques, quoique différents. Si les animaux de laboratoire étaient conscients de leur traitement, ou au moins d'une partie de ce qui leur arrive, comme l'étaient les animaux utilisés dans les expériences scientifiques du temps de la vivisection, alors ils souffriraient d'autant plus qu'ils comprendraient partiellement ce qui leur arrive. C'est la raison pour laquelle certaines espèces animales, en particulier les primates non-humains, font l'objet de plus d'attention de la part de la population et reçoivent davantage de protection dans les législations concernant le bien-être des animaux de laboratoire.

Ainsi, le recours à l'utilisation de primates non-humains n'est autorisé que si l'expérience ne pourrait absolument pas avoir lieu en utilisant une autre espèce animale à la place et que si l'expérience est vraiment nécessaire à l'avancement des connaissances scientifiques.

Il est utile de rappeler que, pour certains, l'expérimentation animale est inadmissible non seulement parce qu'elle fait souffrir des animaux qui, par définition, ne peuvent pas consentir, mais également parce que toute forme de souffrance animale, quelle que soit l'espèce animale considérée, est inadmissible. La question de la souffrance animale de manière générale est un sujet trop large pour pouvoir être traité convenablement dans les quelques pages que constituent cet article, par conséquent, nous devons nous limiter à la question de la souffrance des animaux de laboratoire uniquement.

La question de la souffrance des animaux de laboratoire est donc non seulement liée à celle de savoir s'ils ont un système sensoriel et nerveux, et donc s'ils ressentent la douleur, mais aussi à la question peut-être encore plus complexe de savoir dans quelle mesure les animaux de laboratoire sont conscients de ce qui leur arrive, soulevant une difficulté supplémentaire qui est celle de savoir ce que peut être la conscience chez un animal non-humain et ce qu'elle peut avoir en commun ou de différent avec la conscience telle qu'on l'appréhende chez l'être humain.



Photo : @VladimirWrangel

On peut néanmoins ajouter qu'il est probable que la souffrance soit plus grande pour certaines espèces animales que pour d'autres du simple fait que certaines espèces animales, comme les primates mais également les céphalopodes, sont plus susceptibles de se rendre compte du traitement qu'on leur inflige. A ce titre, l'être humain fait partie des animaux pour lesquels on peut raisonnablement supposer que la souffrance causée par une expérience scientifique est plus grande qu'une espèce animale non humaine qui ne disposerait pas des mêmes capacités cognitives pour se rendre compte de ce qu'il se passe. Ainsi, la recherche scientifique utilisant uniquement des cobayes humains n'est pas forcément une alternative viable ou souhaitable à l'expérimentation animale.

Est-il possible de minimiser voire de résoudre ces problèmes éthiques ?

Une solution tentante serait d'abandonner l'expérimentation animale au profit des méthodes alternatives qui existent déjà, comme les cultures de cellules, les organoïdes ou bien les simulations numériques. Bien que cela puisse en séduire certains, l'idée de remplacer totalement l'expérimentation animale au profit des méthodes alternatives est avant tout une question scientifique : si les méthodes alternatives ne donnent pas des résultats suffisamment solides et fiables, alors elles ne constituent pas de réelles options, du moins pas pour l'instant. La question de savoir si les méthodes alternatives sont suffisamment au point pour pouvoir remplacer l'expérimentation animale est incroyablement complexe, d'autant qu'elle dépend des champs de recherche que l'on veut considérer. En effet, les méthodes alternatives ne font pas face aux



mêmes obstacles selon la maladie qu'elles doivent simuler et permettre aux scientifiques d'étudier. Pour ce qui est de la recherche biomédicale sur le cancer, malgré de grandes avancées dans les méthodes alternatives, le consensus scientifique semble être que les méthodes alternatives ne peuvent pas remplacer l'expérimentation animale pour le moment, mais qu'elles le pourront sans doute à moyen terme. Il est possible que dans d'autres champs de recherche les méthodes alternatives soient déjà suffisamment avancées pour pouvoir remplacer totalement l'expérimentation animale ou, au contraire, qu'elles en soient si loin qu'un tel remplacement n'est envisageable que dans un futur lointain. En tout cas, pour éviter les erreurs (type I et type II), il faut étudier la question pour chaque champ de recherche et non comme une question générale.

Un investissement dans les sciences neurocognitives pour mieux connaître les capacités cognitives des différentes espèces animales non-humaines ainsi qu'un investissement dans l'évaluation de la fiabilité et de la robustesse des résultats des méthodes alternatives par rapport à l'expérimentation animale dans chaque champ de recherche sont donc nécessaires pour pouvoir un jour résoudre les problèmes éthiques que pose la recherche animale.

Pour finir, on peut évoquer la proposition faite par Daniel DeGrazia dans son article intitulé « Human Animal Chimeras : Human Dignity, Moral Status and Species Prejudice » et paru en 2007. Au moins pour les espèces animales non-humaines dont les capacités cognitives les rapprochent le plus de ce qu'on pourrait considérer comme des personnes (voir son concept de « Borderline persons »), DeGrazia propose que la recherche scientifique ne soit conduite que si elle est compatible avec l'intérêt de l'animal, c'est-à-dire que la recherche scientifique ne soit pas réalisée uniquement pour bénéficier à l'espèce humaine mais également, et directement aux espèces animales non-humaines sur lesquelles sont réalisées les expériences. DeGrazia propose également que la recherche scientifique pratiquée sur ces animaux soit réalisée en leur faisant prendre le moins de risques possibles pour leur santé, à moins que -

la prise de risques ne se justifie par le potentiel thérapeutique pour l'animal (ainsi, on pourrait réaliser des expériences scientifiques sur un animal malade du moment que les expériences sont réalisées dans le but d'aboutir à un traitement qui pourra aider l'animal en question à guérir). Enfin, DeGrazia propose une manière d'introduire dans la recherche animale un équivalent de la notion de consentement qui est exigée dans la recherche scientifique avec des sujets humains : il faudrait que l'animal ne fasse pas opposition à l'expérience (par exemple en se débattant, en se cachant, en reculant de peur, etc.), à moins que le fait de forcer l'animal soit dans l'intérêt de celui-ci (à nouveau, dans le but de le guérir).

Les propositions de DeGrazia, quoi qu'intéressantes, ne permettent pas de résoudre tous les problèmes éthiques liés à l'expérimentation animale. En effet, elles ne concernent que les animaux qu'il considère être des « quasi-personnes » (« Borderline persons ») comme certaines espèces de primates, mais ce sont déjà les espèces qui bénéficient de la plus grande protection dans la recherche scientifique par rapport aux autres espèces, comme les souris qui sont de loin l'espèce la plus utilisée dans la recherche animale. Par conséquent, il faudrait peut-être porter son attention et les efforts sur les espèces les plus vulnérables dans la législation actuelle, notamment les souris, les rats et les poissons, et voir comment améliorer la recherche animale pour réduire au maximum leur souffrance, dans le laps de temps qu'il faut aux méthodes alternatives pour devenir aussi solides sur le plan scientifique que l'est la recherche animale. De plus, les propositions de DeGrazia soulèvent des questions : comment définir ce qui est dans l'intérêt de l'animal ? Comment savoir si l'animal fait opposition à l'expérience ? Néanmoins, on peut peut-être considérer le travail de DeGrazia comme une piste intéressante qu'il faut continuer à explorer, une base sur laquelle il faut continuer à construire une recherche toujours plus respectueuse du bien-être des animaux de laboratoire.

Aurore Aymerie Dit Eymeric

Doctorante au MNHN (UMR 7205, ISYEB) et à Sorbonne Université (UMR 8011, "Science, Normes, Démocratie")

Des métathériens aux marsupiaux actuels : un bref résumé évolutif

Les métathériens, un groupe autrefois très diversifié

Les métathériens sont des mammifères. Ils correspondent à ce que nous appelons les marsupiaux au sens large, bien que la majorité des espèces éteintes ne soient pas incluses dans ce dernier groupe (les marsupiaux sont le groupe couronne des métathériens). Ils forment, avec leur groupe-frère des euthériens, la sous classe des thériens (Figure 1).

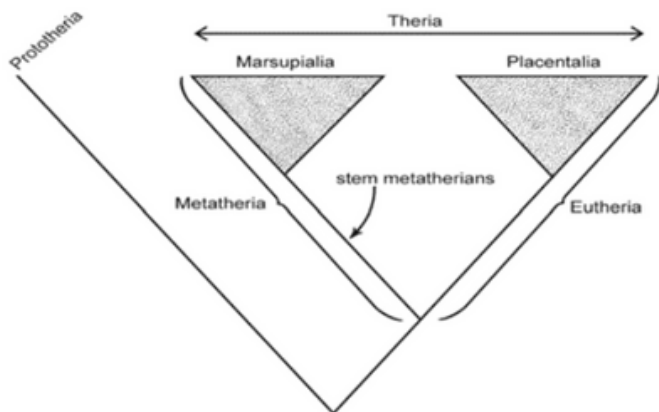


Figure 1 : Phylogénie générale des mammifères, Les triangles gris désignent les groupes-couronnes.

Il y a peu de critères morphologiques permettant de différencier ces deux groupes. Les principaux sont leur système de reproduction ainsi que leur formule dentaire. Les métathériens donnent naissance à un petit prématuré qui va se déplacer jusqu'à une poche appelée marsupium où il pourra s'attacher et poursuivre sa croissance. Chez les euthériens, le petit se développe dans le placenta, jusqu'à sortir une fois complètement formé. A part le clade des -

marsupiaux, les métathériens sont peu connus du grand public. Le critère dentaire est le plus utilisé par les paléontologues pour différencier Metatheria et Eutheria. Les Metatheria ont 4 dents molarisées (et 3 prémolaires) par héli-mandibule ou héli-maxillaire, contre 3 molaires (et 4 prémolaires) chez les Eutheria (Figure 2).

Aujourd'hui, seul le groupe-couronne des Marsupialia demeure. Pour l'essentiel, ce groupe est localisé en Australie, avec quelques espèces présentes en Papouasie-Nouvelle-Guinée, Nouvelle-Zélande, ainsi qu'en Amérique du Sud et du Nord. Ce groupe a cependant été bien plus diversifié par le passé, couvrant une aire géographique plus large, notamment lors de l'Eocène. Des fossiles de métathériens ont été retrouvés un peu partout dans le monde, jusqu'en Antarctique. De plus, ils remplissaient bien plus de niches écologiques que les marsupiaux actuels.

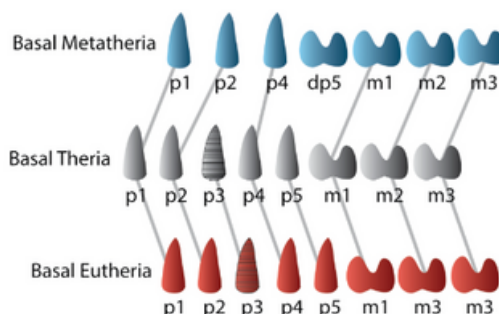


Figure 2 : Formules dentaires post-canines des premiers Thériens, Métathériens et Euthériens. (Williamson et al. 2014)

L'origine des métathériens est assez débattue. Le fossile le plus ancien a été retrouvé en Amérique du Nord, plus précisément dans l'Oklahoma, et date du Crétacé inférieur il y a environ 110 millions d'années (Kielan-Jaworowska et Cifelli, 2001 ; Davis et al., 2008) : *Atokatheridium boreni*, un Deltatheridiidae.

Il s'agit de la famille qui a divergé en premier parmi les métathériens. Localisés uniquement en Asie centrale et en Amérique du Nord, ce sont de petits mammifères carnivores dont la famille ne survivra pas à la crise Crétacé-Paléogène – à l'exception de *Gurbanodelta kara*, du Paléocène en Chine (Ni et al. 2016).

En avançant de quelques noeuds (Figure 5), on entre dans le clade des marsupialiformes, dont font partie les Stagodontidae. Endémiques du Crétacé d'Amérique du Nord, ce sont, pour la plupart, des mammifères de taille relativement grande pour l'époque. On ne connaît que quatre genres au sein de cette famille : *Eodelphis*, *Fumodelphodon*, *Hoodootherium* et *Didelphodon* (dont l'espèce *Didelphodon vorax* est la plus connue). De la taille d'un opossum de Virginie - soit environ 5 kg (Wilson et al. 2016) – il s'agit du plus gros métathérien connu au Crétacé. L'analyse de son crâne suggère qu'il était à la fois un prédateur et un charognard, avec une mâchoire puissante adaptée à la durophagie, c'est-à-dire qu'il pouvait broyer des aliments durs comme des os ou des coquilles d'invertébrés. *Didelphodon vorax* a été découvert dans la formation Hell Creek, site rendu célèbre pour ses nombreux fossiles de dinosaures, tels *Tyrannosaurus* ou encore *Triceratops*.

Le plus ancien groupe de métathériens d'Amérique du Sud est la famille des Pucadelphyidae, connu par deux espèces : *Andinodelphys cochabambensis* et *Pucadelphys andinus*. La seconde, datée du Paléocène inférieur, est un petit métathérien de Bolivie aux allures d'opossum (Figure 3). Elle a la particularité d'être une espèce sociale. En effet, de nombreux fossiles complets de la même espèce ont été trouvés ensemble, sur le site de Tiupampa. En tout, ce ne sont pas moins de trente-cinq individus d'âges (juvéniles, subadultes et adultes) et de sexes différents qui ont été retrouvés. C'est un cas assez exceptionnel car le comportement grégaire est peu commun chez les métathériens et surtout complètement absent chez des Didelphidae (Ladevèze et al., 2011).



Figure 3 : Reconstitution de *Pucadelphys andinus* (droite) par rapport au fossile retrouvé à Tiupampa (gauche). (Ladevèze et al., 2011)

Les sparassodontes sont le groupe-frère des Pucadelphyidae et sont également endémiques d'Amérique du Sud. Ils ont un registre fossile beaucoup plus large, allant du Paléocène inférieur au Pliocène supérieur. Ils ont subi une grande radiation leur permettant de remplir des niches écologiques très diverses, bien que la majorité a demeuré carnivore. Certains avaient l'apparence de furets, tandis que d'autres étaient de plus gros prédateurs terrestres. Les premiers représentants de ce groupe sont *Mayulestes ferox* et *Allqokirus australis* (Muizon et al., 2018), considérés comme les plus grands prédateurs du site de Tiupampa en Bolivie. Au sein des sparassodontes, on retrouve la famille des Proborhyaenidae, comprenant le plus gros membre du groupe, *Proborhyaena gigantea*. Il avait la taille d'un ours et pesait jusqu'à 150 kg (Prevosti et Forasiepi, 2018). On suppose qu'il chassait de gros herbivores. Le plus récent et l'un des plus insolites représentants des sparassodontes est *Thylacosmilus atrox* qui, avec ses deux immenses canines, ressemble aux tigres à dents de sabre (Figure 5). Cependant, il n'en est pas proche parent, les tigres à dents de sabres étant des euthériens. C'est un cas typique de **convergence évolutive**, c'est-à-dire que les deux groupes présentent des ressemblances (du fait de contraintes évolutives similaires) sans que celles-ci soient héritées d'un ancêtre commun. Ce phénomène est couramment observé entre les marsupiaux et les placentaires.



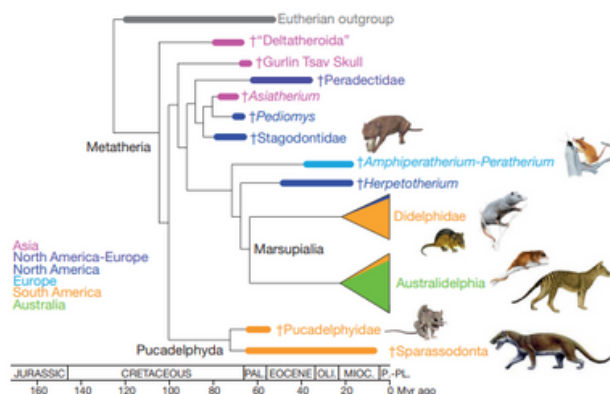
Figure 4 : Reconstitution de *Thylacosmilus atrox* (Forasiepi et al., 2019)

Les métathériens sont très présents dans le registre fossile d'Asie et des Amériques. En Europe, les données concernant les marsupiaux sont au contraire limitées en termes de qualité. On y retrouve les Peradectidae, une famille de métathériens ressemblant à des opossums connus en Europe et en Amérique du Nord. On retrouve -

également les Herpetotheriidae, une autre famille de marsupialiformes plus proches des marsupiaux actuels avec une répartition tout aussi large, allant de l'Asie centrale à l'Amérique du Nord en passant par l'Europe. Parmi les Herpetotheriidae, seuls les genres *Maastrichtidelphys*, *Peratherium* et *Amphiperatherium* sont endémiques d'Europe. Les différents représentants des familles des Peradectidae et des Herpetotheriidae se sont côtoyés, notamment sur le site de Messel (de l'Éocène d'Allemagne), où ont été découverts des squelettes complets d'*Amphiperatherium maximum* et *Peradectes sp.* Ces deux genres n'avaient probablement pas les mêmes modes de vie : *Amphiperatherium* serait terrestre tandis que *Peradectes* serait arboricole, doté d'une longue queue préhensile (Rose, 2012).

Dans les collections du Muséum national d'Histoire naturelle, on peut retrouver l'espèce *Peratherium cuvieri*, découverte à Paris dans les carrières de gypse éocène de Montmartre. Un moulage de cette espèce est actuellement exposé dans les vitrines de la Galerie de Paléontologie et d'Anatomie comparée. Ce moulage, nommé "sarigue de Cuvier" aura permis à celui-ci de faire une démonstration d'anatomie comparée. Ce fossile fut en partie dégagé et apporté à Cuvier qui compris en observant le crâne qu'il s'agissait d'un opossum. En comprenant cela, il voulu démontrer son "principe de corrélation des organes" et annonça qu'il serait retrouvé dans la partie non dégagée de la roche, des os épipubiens (os particulier des marsupiaux dont les opossums font partie). Il organisa en public le dégagement entier du fossile et prouva donc le principe de corrélation des organes selon lequel "tout être organisé forme un système unique dont les parties se correspondent mutuellement. Aucune partie ne pouvant changer indépendamment des autres, chaque partie prise isolément engendre par conséquent toutes les autres".

Figure 5 : Arbre phylogénétique des métathériens (Ladevèze et al. 2020)



De la Laurasie à l'Australie : suivre la trace des métathériens

Comme vu précédemment, les métathériens actuels sont uniquement représentés par le groupe des marsupiaux. Ces derniers ont une distribution géographique bien particulière : on retrouve trois ordres en Amérique et les quatre autres sont endémiques de l'Australasie. Cette répartition est le reflet de plusieurs épisodes de migrations consécutifs.

L'histoire évolutive des métathériens est un sujet complexe qui est encore vivement débattu. Pendant longtemps, le plus ancien métathérien connu était *Sinodelphys szalayi* (Luo et al., 2003), une espèce datée de 125 Ma (Crétacé inférieur) et découverte dans un gisement du Nord-Est de la Chine. Cependant, une publication récente (Bi et al., 2018) a remis en question la place de *Sinodelphys szalayi* parmi les métathériens, le plaçant désormais parmi les euthériens. Aujourd'hui, le plus ancien fossile connu de métathérien est un fossile datant d'environ 110 Ma (Davis et Cifelli, 2011). Toutefois, les résultats de l'horloge moléculaire laissent penser que la divergence entre métathériens et euthériens est bien plus ancienne, et serait datée à 160 Ma (Phillips, 2016; Tarver et al., 2016; Liu et al., 2017), qui est aussi de fait la date du plus ancien euthérien connu à ce jour (Juramaia).

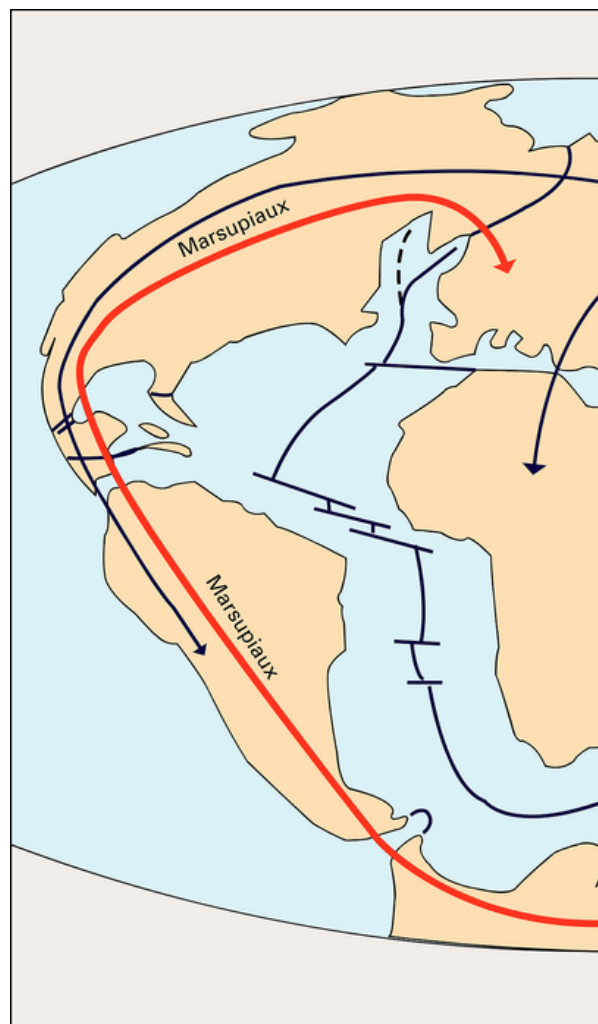
Quant aux marsupiaux au sens strict, leur plus ancien représentant connu est daté à 54,6 Ma et provient de la faune de Tingamarra, un site fossile de Murgon en Australie (Godthelp et al., 1992). Du fait d'importantes lacunes dans le registre fossile, l'origine des marsupiaux - sûrement bien antérieure au marsupial de Tingamarra, est encore mal connue. Toutefois, certains métathé -

- thériens fossiles du Crétacé supérieur pourraient être en réalité des marsupiaux, bien que cela demeure contesté (Velazco et al., 2022).

Avant que les métathériens n'atteignent l'Australie, de nombreuses migrations successives ont eu lieu. Il y a plus de 100 millions d'années, la Chine, l'Europe et l'Amérique du Nord formaient un supercontinent dans l'hémisphère nord : la Laurasie. À cette époque, les dinosaures étaient encore présents tout autour du globe et dominaient de nombreux environnements. C'est dans ce contexte que les métathériens se sont diversifiés en Amérique du Nord, jusqu'à il y a environ 66 Ma - au moment, en fait, de la cinquième extinction de masse, la crise Crétacé-Paléogène, notamment à l'origine de la disparition des dinosaures (hormis les oiseaux). Cette crise a offert à ses survivants - dont une partie des métathériens, une occasion de remplir des niches écologiques désormais vacantes. Parallèlement, un bref contact entre les Amériques du Nord et du Sud a permis aux métathériens de se disperser. Au cours du Paléocène, ils ont gagné l'Antarctique via la pointe sud de la Patagonie (Eldridge et al., 2019), les deux étant encore en contact, au cours de plusieurs événements de dispersion. Le continent polaire était alors recouvert de forêts tempérées, un climat bien différent de ce qu'il est aujourd'hui et bien plus propice à l'arrivée des métathériens. Ces derniers finissent par arriver en Australie depuis l'Antarctique.

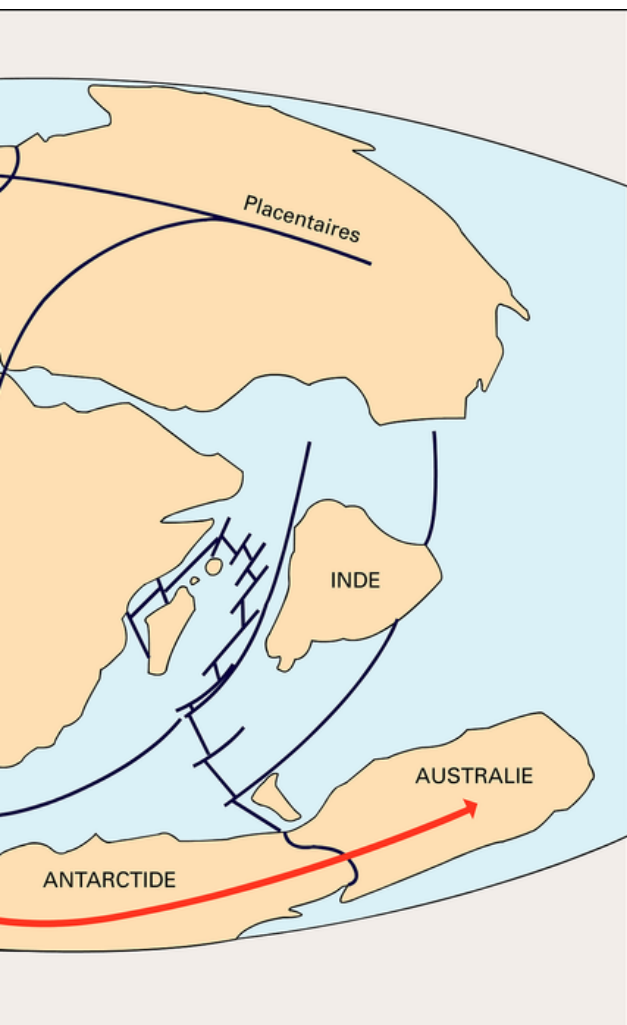
En Amérique, les métathériens encore présents sur le territoire vont subir de nombreux événements. Entre l'Éocène et l'Oligocène, il y a 34 Ma, on observe un refroidissement global et une crise d'extinction connue sous le nom de « Grande Coupure » ou transition Eocène-Oligocène. Durant l'Éocène supérieur, il y a 40 à 34 Ma, les températures chutent à cause de la formation de l'Himalaya et de l'ouverture du détroit de Drake entre les continents sud-américain et antarctique. La Terre passe alors d'un climat chaud et humide (« monde greenhouse ») à un climat plus froid et plus sec (« monde icehouse »). Dans l'hémisphère sud, une calotte glaciaire se forme sur l'Antarctique qui s'isole peu à peu de l'Amérique du Sud et de l'Australie. Cet isolement implique l'apparition d'un nouveau courant marin froid, le courant circumpolaire antarctique. Les eaux équatoriales chaudes ne descendent alors plus réchauffer l'Antarctique qui se couvre de glace et devient inhabitable. Ce refroidissement global du climat provoque la disparition de nombreuses lignées de métathériens, notamment en Amérique (Gouin et al., 2016).

Mais l'histoire des marsupiaux américains ne s'arrête pas là. À la fin du Miocène et au début du Pliocène, l'émersion de l'isthme de Panama, entre l'Amérique du Nord et l'Amérique du Sud, enclenche le Grand Échange Faunique Interaméricain (GABI).



Carte de l'origine des faunes mammaliennes :
@Encyclopædia Universalis France

De nouveaux groupes d'euthériens gagnent l'Amérique du Sud et entrent en compétition avec les métathériens et euthériens déjà présents. Cette soudaine compétition est à l'origine d'une nouvelle vague d'extinctions parmi les métathériens. Cette connexion entre les deux Amériques permet aussi l'arrivée des opossums (Didelphimorphia) au Nord. Aujourd'hui, les marsupiaux d'Amérique du Sud sont encore représentés par trois ordres et seule une espèce d'opossum (*Didelphis virginiana*) subsiste encore en Amérique du Nord.



Didelphimorphia @Mike Ostrowski



Paucituberculata @Jorge Brito



Microbiotheria @Daniel Stange



Peramelemorphia @Marc Faucher



Notoryctemorphia @Mike Gillam



Dasyuromorphia @Brett Vercoe

Marsupiaux d'aujourd'hui

Aujourd'hui, les métathériens ne sont plus représentés que par leur groupe-couronne, les Marsupialia. Ce groupe est constitué de sept clades.

Les Didelphimorphia sont les opossums endémiques des Amériques. Le plus connu d'entre eux est l'opossum de Virginie (*Didelphis virginiana*). Ils sont notamment connus pour feindre la mort lorsqu'ils sont blessés ou en danger. Les Paucituberculata ou musaraignes marsupiales sont des marsupiaux d'Amérique du Sud. Il n'existe plus qu'une seule famille actuelle dans cet ordre, mais le registre fossile montre une grande diversité éteinte. Leur taille est d'environ une dizaine de centimètres et leur régime alimentaire est carnivore opportuniste (petits vertébrés, insectes, etc.).

L'ordre des Microbiotheria est monotypique : il ne possède qu'une unique espèce, le Monito Del Monte. On retrouve cette espèce en Amérique du Sud, notamment au Chili et en Argentine. Les individus de cette espèce sont nocturnes, arboricoles et font une dizaine de centimètres. Les Diprotodontia regroupent les marsupiaux les plus célèbres, tels que les kangourous, les wallabies ou encore les koalas. Les Peramelemorphia, ou bandicoots, sont des marsupiaux qui possèdent, non pas une poche marsupiale, mais un placenta ! Il s'agit d'une convergence évolutive avec les mammifères euthériens placentaires.

Les Notoryctemorphia, ou taupes marsupiales, vivent aujourd'hui dans les déserts du nord-ouest de l'Australie. Bien qu'adaptées à un mode de vie fouisseur, elles se déplacent beaucoup en surface car le désert se prête peu à l'élaboration de galeries souterraines. Enfin, les Dasyuromorphia forment l'ordre comprenant la plupart des marsupiaux carnivores, tels que les diables de Tasmanie, les chats marsupiaux et les thylacines.

Endémisme des diables de Tasmanie et cancer de la face

De nombreux marsupiaux sont endémiques, c'est-à-dire qu'ils vivent dans une aire géographique limitée, ce qui n'est pas toujours un avantage. En effet, vivre concentrés peut conduire à des cas de reproduction consanguine et à ce que l'on appelle la dépression endogamique (ou dépression de consanguinité). Les populations concernées présentent davantage de caractères désavantageux et sont donc davantage vulnérables que les populations où la diversité génétique est importante.

Depuis maintenant plusieurs années, les diables de Tasmanie font face à une maladie appelée DFTD (tumeur faciale transmissible du diable de Tasmanie). Cette tumeur - systématiquement fatale et particulièrement agressive, apparaît chez les individus touchés dans les régions du cou, des voies orales et de la face en général. La particularité de cette tumeur est qu'elle fait partie des deux seules tumeurs transmissibles avec la tumeur vénérienne transmissible canine (CTVT). De nombreuses métastases peuvent avoir lieu jusqu'aux organes viscéraux tels que la rate et les poumons, ainsi qu'aux ganglions régionaux. La tumeur est à l'origine issue d'une cellule de Swann d'un individu femelle (Murchison et al., 2010). La transmission des cellules cancéreuses se fait par morsure pour l'accès à la nourriture, pour l'accès aux femelles et lors de la saison des accouplements. Un individu peut ainsi être contaminé lorsqu'il est mordu par un individu atteint, mais aussi lorsqu'il mord lui-même un individu atteint ! Lors de cette morsure, la cellule cancéreuse passe d'un individu à l'autre puis évolue en 6 à 8 mois en tumeur. Les scientifiques se sont longtemps demandés quel était l'agent infectieux provoquant cette tumeur. Il se trouve que ce sont les cellules cancéreuses elles-mêmes

Celles-ci possèdent un ADN différent de celui de leur hôte, avec notamment des altérations ou réarrangements chromosomiques et une modification des copies de gènes. Cette maladie contagieuse profite de la faible diversité de gènes des diables de Tasmanie. Cette faible diversité de gène conduit à un système immunitaire plus faible et une réponse plus lente de celui-ci.

Depuis le premier cas rapporté, durant les années 1990, la tumeur a réduit de 77 % la densité des populations de diables de Tasmanie dans les zones touchées (Lazenby et al. 2018), si bien que l'espèce est à présent considérée comme menacée d'extinction selon l'IUCN. Cependant, les populations de diables de Tasmanie du Nord-Est, là où la souche de DFTD est apparue en premier, sont à présent résistantes à ce cancer. Cette résistance est due à l'éradication des populations, causant une sélection naturelle. Plus récemment, une deuxième souche du nom de DFTD2 de ce cancer a été mise en lumière au Sud-Est de la Tasmanie (James et al. 2019). Cette souche a une origine indépendante de la première et les deux souches sont cytogénétiquement distinctes. Cette nouvelle souche pose question en termes de biologie de la conservation, car elle reproduit les mêmes effets que la première. L'espèce ayant déjà été très fragilisée par la première souche risque à présent de disparaître à cause de cette nouvelle souche.

Alice Melekian (Badoux) & Corentin Deppe

M1 Systématique, Evolution, Paléontologie au MNHN

Convergence évolutive : Lorsque les pressions sélectives exercées sur deux espèces sont les mêmes (mêmes contraintes exercées par le milieu) alors la sélection naturelle peut donner lieu à des formes/structures semblables. (Lecointre 2021)

Endémisme : Présence de certaines espèces exclusivement dans une zone géographique limitée.

Groupe couronne : Groupe composé des espèces actuellement vivantes et de leur ancêtre commun le plus récent. Exemple : le groupe des placentaires est le groupe couronne des euthériens.

Groupe frère : Dans un échantillon, deux groupes sont dits frères lorsqu'ils partagent un ancêtre commun exclusif, c'est à dire non partagé par le reste de l'échantillon. (Lecointre 2021)

Horloge moléculaire : Le principe d'horloge moléculaire stipule que la vitesse d'évolution des gènes reste constante tant que la protéine codée ne change pas significativement. A partir de ce principe, il est possible de dater la divergence entre deux espèces.

Radiation adaptative : Événement de spéciation rapide à l'échelle des temps géologiques au cours duquel une (ou quelques) espèces "donnent naissance" à de nombreuses espèces habitant différentes niches écologiques.

- Bi, Shundong, Xiaoting Zheng, Xiaoli Wang, Natalie E. Cignetti, Shiling Yang, et John R. Wible. 2018. « An Early Cretaceous Eutherian and the Placental–Marsupial Dichotomy ». *Nature* 558 (7710): 390-95. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0210-3>.
- Davis, Brian, Richard Cifelli, et Zofia Kielan-Jaworowska. 2008. « Earliest Evidence of Deltatheroidea (Mammalia: Metatheria) from the Early Cretaceous of North America ». In *Mammalian Evolutionary Morphology: A Tribute to Frederick S. Szalay*, 3-24. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6997-0_1.
- Davis, Brian M., et Richard L. Cifelli. 2011. « Reappraisal of the tribosphenidan mammals from the Trinity Group (Aptian—Albian) of Texas and Oklahoma ». *Acta Palaeontologica Polonica* 56 (3): 441-62.
- Eldridge, Mark DB, Robin MD Beck, Darin A. Croft, Kenny J. Travouillon, et Barry J. Fox. 2019. « An emerging consensus in the evolution, phylogeny, and systematics of marsupials and their fossil relatives (Metatheria) ». *Journal of Mammalogy* 100 (3): 802-37.
- Forasiepi, Analia M., Ross DE Macphee, et Santiago Hernández del Pino. 2019. « Caudal cranium of *Thylacosmilus atrox* (Mammalia, Metatheria, Sparassodonta), a South American predaceous sabertooth ». *Bulletin of the American Museum of Natural History* 2019 (433): 1-66.
- Goin, Francisco J., Michael O. Woodburne, Ana Natalia Zimicz, Gabriel M. Martin, et Laura Chornogubsky. 2016. « A brief history of South American metatherians ». *Dispersal of Vertebrates from between the Americas, Antarctica, and Australia in the Late Cretaceous and Early Cenozoic*, 77-124.
- Godthelp H., M. Archer, R. L. Cifelli, S. J. Hand, and C. F. Gilkeson. 1992. Earliest known Australian Tertiary mammal fauna. *Nature* 356:514-516
- James, Samantha, Geordie Jennings, Young Mi Kwon, Maximilian Stammnitz, Alexandra Fraik, Andrew Storfer, Sebastien Comte, et al. 2019. « Tracing the Rise of Malignant Cell Lines: Distribution, Epidemiology and Evolutionary Interactions of Two Transmissible Cancers in Tasmanian Devils ». *Evolutionary Applications* 12 (9): 1772-80. <https://doi.org/10.1111/eva.12831>.
- Kielan-Jaworowska, Zofia, et Richard L. Cifelli. 2001. « Primitive boreosphenidan mammal [? Deltatheroidea] from the Early Cretaceous of Oklahoma ». *Acta Palaeontologica Polonica* 46 (3).
- Ladevèze, Sandrine, Christian de Muizon, Robin M. D. Beck, Damien Germain, et Ricardo Céspedes-Paz. 2011. « Earliest Evidence of Mammalian Social Behaviour in the Basal Tertiary of Bolivia ». *Nature* 474 (7349): 83-86. <https://doi.org/10.1038/nature09987>.
- Ladevèze, Sandrine, Charlène Selva, et Christian de Muizon. 2020. « What Are "Opossum-like" Fossils? The Phylogeny of Herpetotheriid and Peradectid Metatherians, Based on New Features from the Petrosal Anatomy ». *Journal of Systematic Palaeontology* 18 (17): 1463-79. <https://doi.org/10.1080/14772019.2020.1772387>.
- Lazenby, Billie T., Mathias W. Tobler, William E. Brown, Clare E. Hawkins, Greg J. Hocking, Fiona Hume, Stewart Huxtable, et al. 2018. « Density Trends and Demographic Signals Uncover the Long-Term Impact of Transmissible Cancer in Tasmanian Devils ». *Journal of Applied Ecology* 55 (3): 1368-79. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13088>.
- LECOINTRE, Guillaume, FORTIN, Corinne, et BONNET, Marie-Laure Le Louarn. Guide critique de l'évolution. Belin, 2015.
- Liu, Liang, Jin Zhang, Frank E. Rheindt, Fumin Lei, Yanhua Qu, Yu Wang, Yu Zhang, et al. 2017. « Genomic evidence reveals a radiation of placental mammals uninterrupted by the KPg boundary ». *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114 (35): E7282-90. <https://doi.org/10.1073/pnas.1616744114>.
- Luo, Zhe-Xi, Qiang Ji, John R. Wible, et Chong-Xi Yuan. 2003. « An Early Cretaceous Tribosphenid Mammal and Metatherian Evolution ». *Science* 302 (5652): 1934-40. <https://doi.org/10.1126/science.1090718>.
- Muizon, Christian de, Sandrine Ladevèze, Charlène Selva, Robin Vignaud, et Florent Guossard. 2018. « *Allqokirus australis* (Sparassodonta, Metatheria) from the early Palaeocene of Tiupampa (Bolivia) and the rise of the metatherian carnivorous radiation in South America ». *Geodiversitas* 40 (septembre): 363-459. <https://doi.org/10.5252/geodiversitas2018v40a16>.
- Murchison, Elizabeth P., Cesar Tovar, Arthur Hsu, Hannah S. Bender, Pouya Kheradpour, Clare A. Rebbeck, David Obendorf, et al. 2010. « The Tasmanian Devil Transcriptome Reveals Schwann Cell Origins of a Clonally Transmissible Cancer ». *Science* 327 (5961): 84-87. <https://doi.org/10.1126/science.1180616>.
- Ni, Xijun, Qiang Li, Thomas A. Stidham, Lüzhou Li, Xiaoyu Lu, et Jin Meng. 2016. « A Late Paleocene Probable Metatherian (Deltatheroidea) Survivor of the Cretaceous Mass Extinction ». *Scientific Reports* 6 (1): 38547. <https://doi.org/10.1038/srep38547>.
- Phillips, Matthew J. 2016. « Geomolecular Dating and the Origin of Placental Mammals ». *Systematic Biology* 65 (3): 546-57. <https://doi.org/10.1093/sysbio/syv115>.
- Prevosti, Francisco J., et Analia M. Forasiepi. 2018. « Evolution of South American Mammalian Predators During the Cenozoic: Paleobiogeographic and Paleoenvironmental Contingencies ». *Springer Geology*, . <https://doi.org/10.1007/978-3-319-03701-1>.
- Rose, Kenneth D. 2012. « The Importance of Messel for Interpreting Eocene Holarctic Mammalian Faunas ». *Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments* 92 (4): 631-47. <https://doi.org/10.1007/s12549-012-0090-8>.
- Tarver, James E., Mario dos Reis, Siavash Mirarab, Raymond J. Moran, Sean Parker, Joseph E. O'Reilly, Benjamin L. King, et al. 2016. « The Interrelationships of Placental Mammals and the Limits of Phylogenetic Inference ». *Genome Biology and Evolution* 8 (2): 330-44. <https://doi.org/10.1093/gbe/evw261>.
- Williamson, Thomas E., Brusatte, Stephen L., Wilson, Gregory P. 2014. « The origin and early evolution of metatherian mammals: the Cretaceous record ». *Zookeys* 475 (1): 1-76. <https://doi.org/10.3897/zookeys.465.8178>.
- Wilson, Gregory P., Eric G. Ekdale, John W. Hoganson, Jonathan J. Caledo, et Abby Vander Linden. 2016. « A Large Carnivorous Mammal from the Late Cretaceous and the North American Origin of Marsupials ». *Nature Communications* 7 (1): 13734. <https://doi.org/10.1038/ncomms13734>.

"Nénette" une BD de Jo Seshat, illustratrice scientifique

Ma rencontre avec Nénette

D'habitude, à la ménagerie, j'évite d'aller voir les primates. Pour autant que soit douloureuse la vision des oiseaux enfermés dans des cages de quelques mètres cubes, et autant que je souhaiterais offrir des hectares de plaines aux buffles, les singes sont de loin ceux dont la vision est la plus insoutenable.

Quand on dessine, les zoos sont un peu inévitables. Après quelques séances à croquer à la ménagerie, je me décide enfin à passer voir les orangs-outans. C'est devant leur enclos que je rencontre Ticabri, une dessinatrice qui connaît bien chacun de ces hominidés. Et pour cause, pendant un an, elle est venue deux, trois fois par semaine pour les dessiner. Mais surtout, eux la connaissent. Théodora s'installe très vite devant la dessinatrice. Elle attend, elle toque quelquefois contre la vitre, et finalement, Ticabri sort une feuille de calque qu'elle scotch contre la vitre. Alors qu'elle propose un pastel vert et un pastel rouge à Théodora, Tamü s'approche et s'installe derrière sa mère. Finalement, Ticabri commence le double portrait sur le calque que les deux hominidés observent attentivement. La scène dure jusqu'à ce que Bangi intervienne, et éloigne les deux femelles.

La scène est impressionnante.

Durant les semaines qui suivent, je reviens régulièrement. Je veux raconter cette rencontre, ce lien entre ces grands singes et cette dessinatrice. Très vite, Nénette commence à me reconnaître. Lorsque j'arrive, elle s'approche de moi, s'installe sur son tonneau et me regarde dessiner.

C'est une de mes plus belles expériences en tant que dessinatrice. C'est également une des pires.



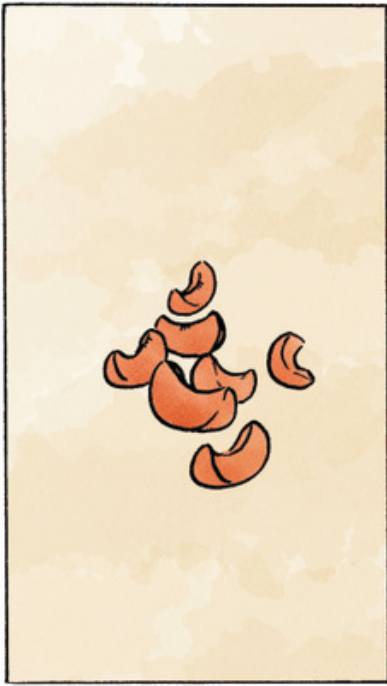
Ticabri a publié un livre en auto édition sur son expérience avec Nénette, et les dessins qui en résultent.



Depuis cinquante ans que Nénette est à la ménagerie, elle a pris l'habitude d'observer les gens qui passent derrière la vitre de sa cage.

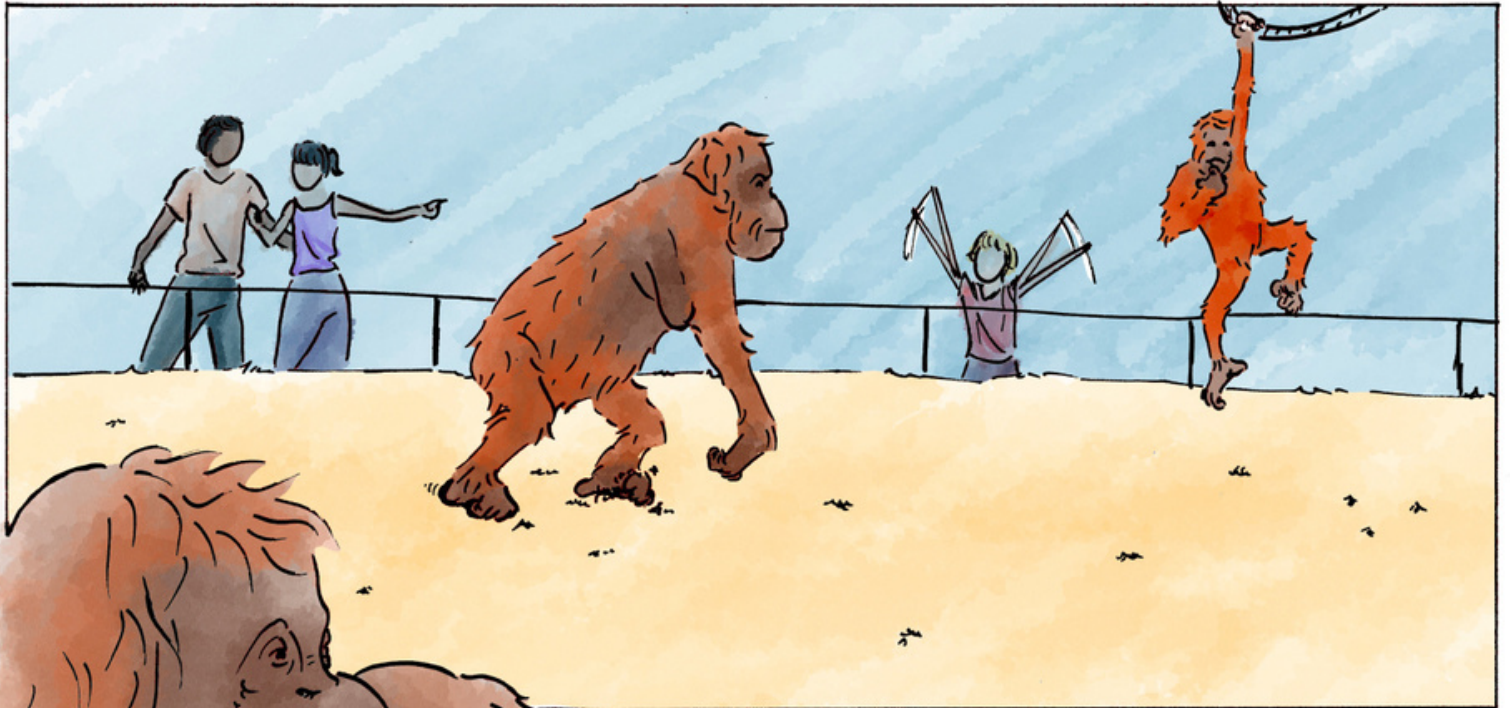
C'est surtout sur Nénette que j'ai voulu mettre l'accent. La scène racontée n'est pas tout à fait celle que j'ai pu observer. Elle n'en est pas moins juste pour autant.

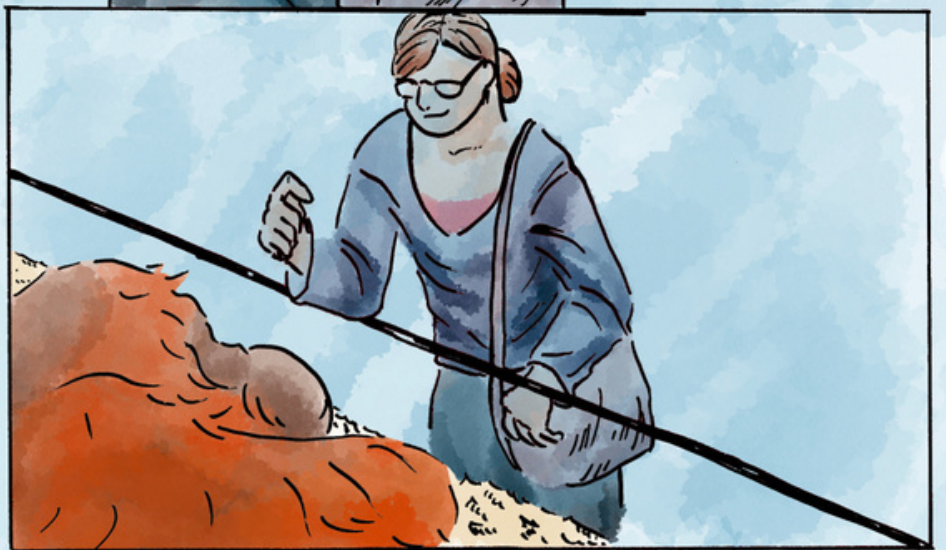


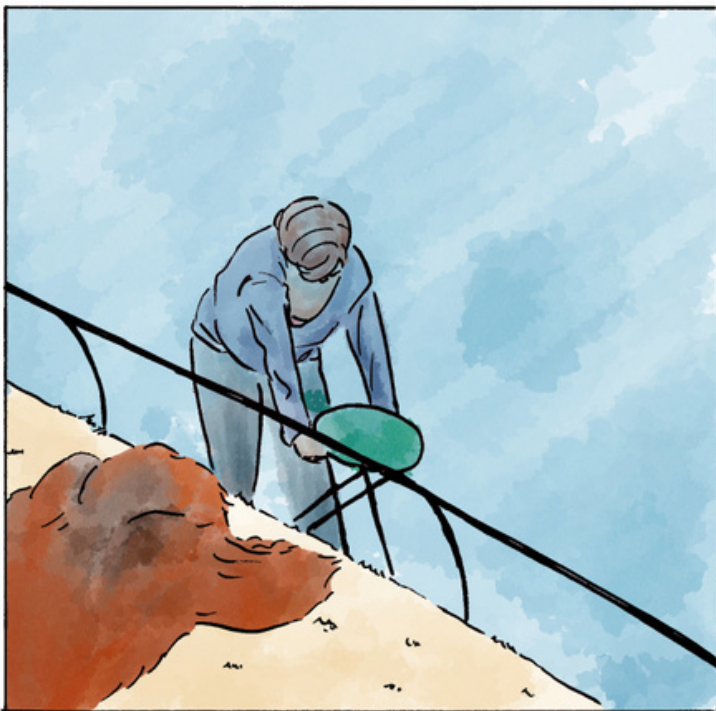












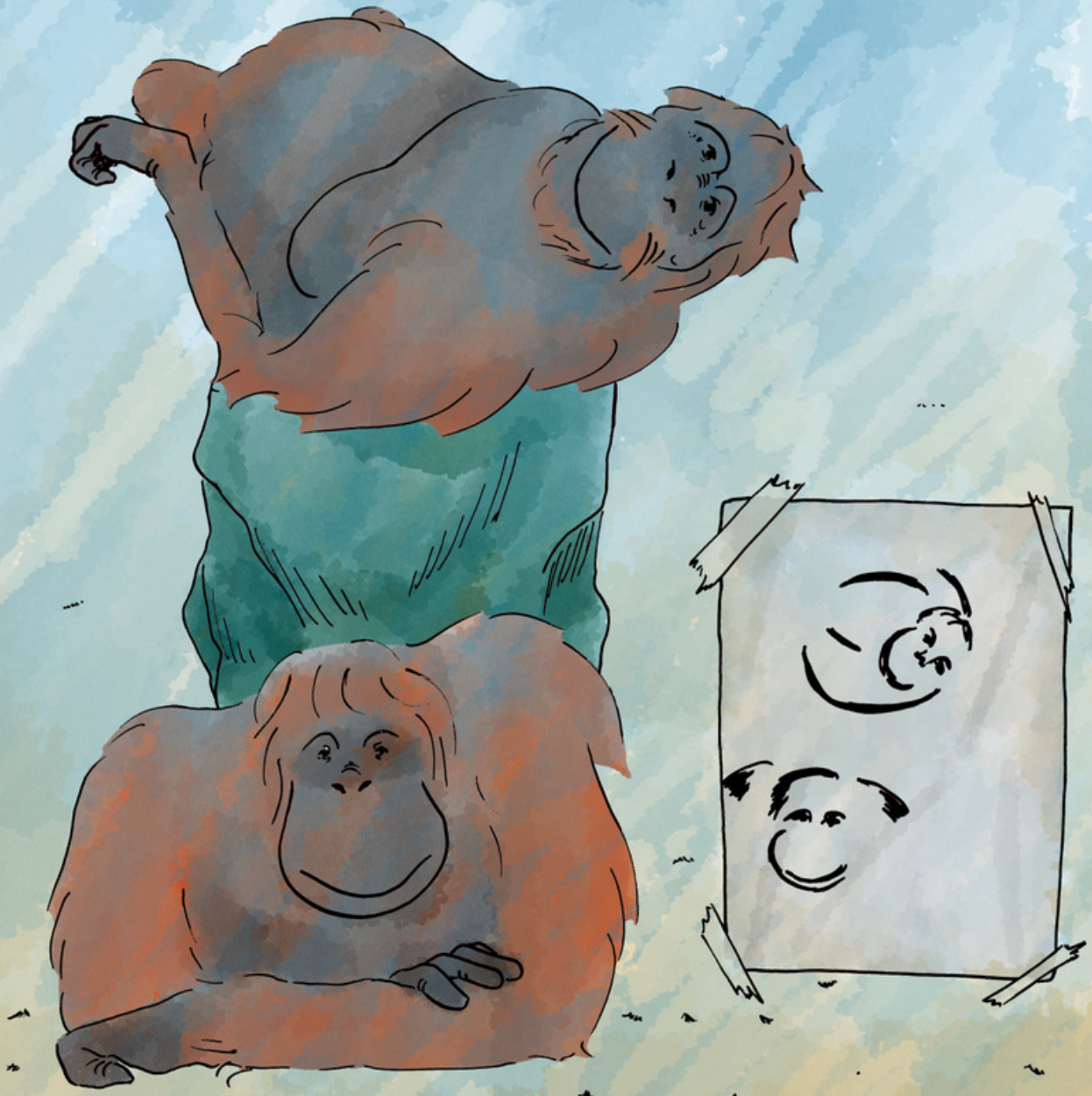




Photo : Tags militants, Rue Censier, Mars 2023

Quelques mots sur Nénette



Photo : Nénette,
© MNHN - F.-G.
Grandin

Nénette est une femelle orang-outan (*Pongo p. pygmaeus*). Elle est née en 1969 à Bornéo.

Elle vit depuis 1972 dans la Singerie de la Ménagerie du Jardin des Plantes.

A force de voir des visiteurs lui jeter le portrait, Nénette a développé un goût pour la peinture. Sa nature créative la porte également à bricoler.

Les orang-outans sont des grands singes arboricoles. Ils ont une sociabilité à distance, expliquant la compartimentation de leur espace au sein de la Singerie.

Avec les quatre autres orang-outans qui vivent dans la Singerie, Nénette fait l'objet d'un plan de sauvegarde de l'espèce. On parle de conservation *ex situ*. En effet, les forêts de Bornéo et Sumatra sont menacées par la déforestation intensive.

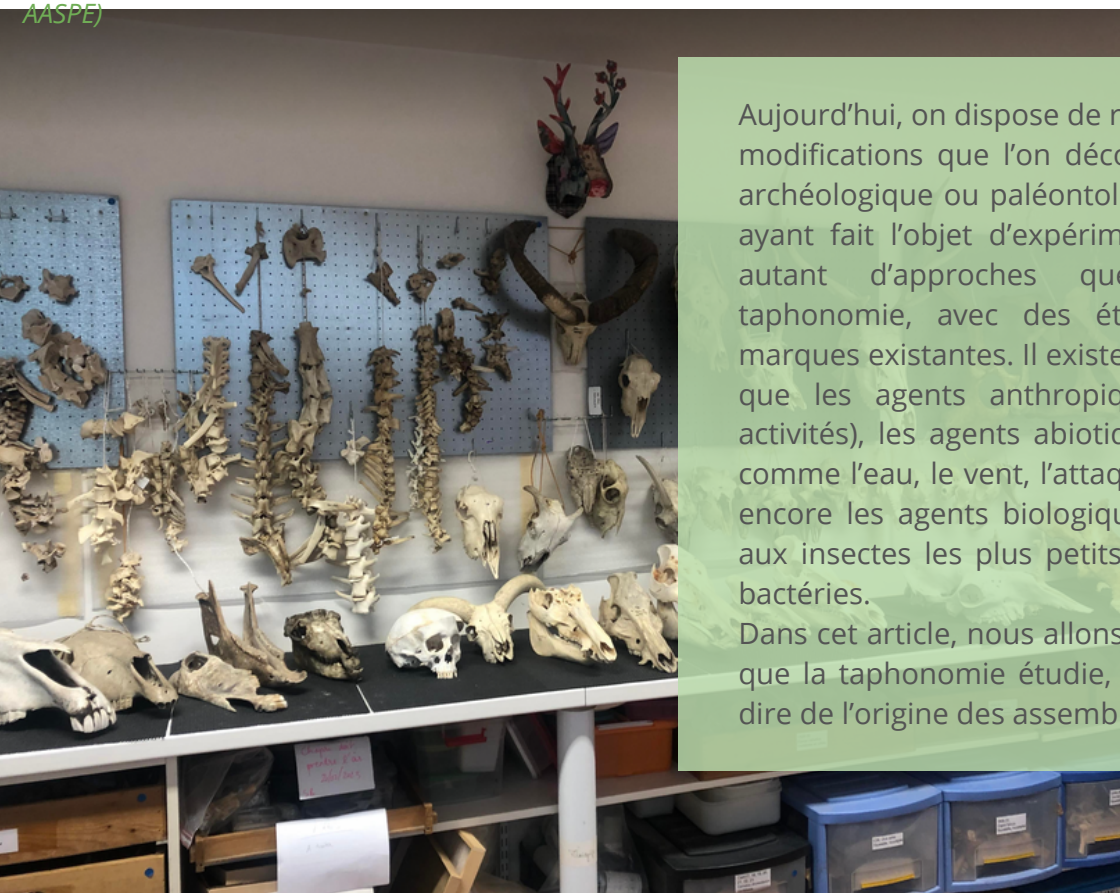
La taphonomie, une discipline essentielle des études de fossiles : Ode non déguisée à cette discipline



La « taphonomie » est un terme créé dans les années 1940 par Ivan Efremov qui lui donne une définition. Il s'agit de l'ensemble des processus qui ont lieu sur les restes, depuis la mort de l'animal jusqu'à l'enfouissement, ainsi que les transformations qui se produisent entre cet enfouissement et la découverte. Elle regroupe les phénomènes relatifs à la biocénose (la communauté vivante), la thanatocénose (l'assemblage mort), la biostratinomie (l'étude des processus qui interviennent après la mort d'un organisme et avant son enfouissement), la diagenèse (la formation des sédiments) et enfin la taphocénose (un assemblage d'organismes enfouis au même endroit, mais pas encore fossilisés). La discipline se développe largement dans les années 1970 et 1980, notamment sous l'impulsion de la paléontologue Kay Behrensmeyer.

Collections de référence présentes dans l'@Ostéothèque (UMR 7209 AASPE)

Photo : @Barbara_Jambin



Aujourd'hui, on dispose de référentiels pour comparer les modifications que l'on découvre sur les os en contexte archéologique ou paléontologique, avec des os préparés ayant fait l'objet d'expérimentations spécifiques. Il y a autant d'approches que de spécialisations en taphonomie, avec des études sur chaque type de marques existantes. Il existe plusieurs types d'agents, tels que les agents anthropiques (les humains et leurs activités), les agents abiotiques (ou climato-édaphiques) comme l'eau, le vent, l'attaque chimique des sols, etc. ou encore les agents biologiques, des grands mammifères aux insectes les plus petits, ainsi que les plantes et les bactéries.

Dans cet article, nous allons faire un tour d'horizon de ce que la taphonomie étudie, et de ce que cela peut nous dire de l'origine des assemblages osseux.

Photo : @Angela_Noseda



Photo : @Pierre Pignaut

Taphonomie : une utilisation des collections de référence ?

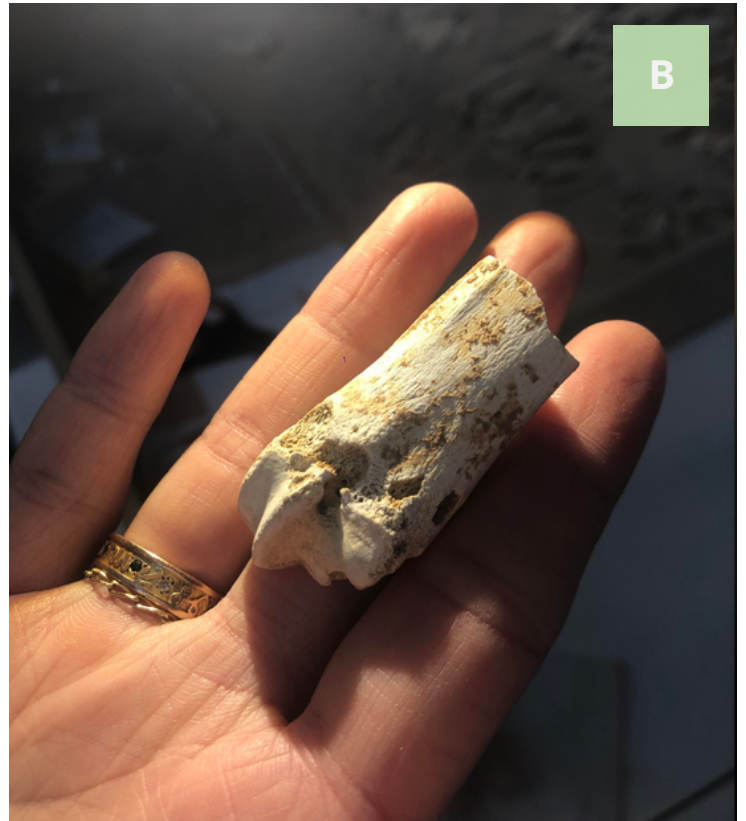
La première étape consiste à identifier anatomiquement l'os retrouvé. En fonction de l'état du fossile, il est possible d'identifier le type d'os, l'espèce ou bien l'âge de l'individu lors de sa mort. Pour déterminer ces caractéristiques, on utilise l'anatomie comparée. Il s'agit de l'utilisation de la collection de référence à des fins de comparaison avec le fossile retrouvé. Ensuite, les marques sont observées plus en détail. Il y a plusieurs méthodes pour les étudier.

En particulier, les analyses vont porter sur les modifications observables sur la surface du fossile. On va par exemple relever le nombre, la localisation, la disposition, etc. des marques, et les mesurer. Sont-elles présentes sur l'ensemble de l'os ? Sont-elles localisées sur une partie spécifique de l'os ? Quelles conséquences ces marques ont-elles eu sur le fossile ?

Les observations macroscopiques permettent d'identifier la couleur, la texture ou encore l'existence de cassures sur les os. Les observations microscopiques recourent quant à elles à la stéréomicroscopie, l'utilisation de laser confocal ou encore à l'étude de la composition spectrale chimique.

L'identification de l'origine des marques repose principalement sur la comparaison avec des référentiels. La majorité des référentiels sont actualistes, c'est-à-dire qu'ils partent du principe que les comportements du passé sont similaires à ceux du présent. Les données d'observation collectées préalablement, sur les os découverts en contexte archéo- ou paléontologique, sont confrontées à des collections de référence qui ont fait l'objet d'expérimentations. Par exemple, les chercheurs peuvent laisser des carcasses dans la savane actuelle et observer par la suite les animaux qui vont venir y laisser des traces, leur ordre de passage, etc.

La comparaison avec des collections actuelles est, en plus d'être utilisée pour la taphonomie, au cœur de beaucoup de travaux en archéologie et en paléontologie. C'est elle qui nous permet de faire des interprétations sur beaucoup de comportements humains ou animaux.



A. Phalange présentant des marques de découpe. B. C. Métapode portant des marques de crocs. D. Métapode et deux phalanges présentant des traces de dissolution, de manganèse et de fracturations. E. Métapode avec des traces de dissolution. B. C. Métapode portant des marques de crocs. D. Métapode et deux phalanges présentant des traces de dissolution, de manganèse et de fracturations. E. Métapode avec des traces de dissolution @Camille_Lacorne

Les marques laissées par les facteurs climato-édaphiques

Les facteurs climato-édaphiques correspondent à l'ensemble des agents abiotiques/inorganiques qui ont pu avoir des impacts mécaniques ou chimiques sur les fossiles. Ces facteurs ont un rôle important sur la préservation des fossiles. Les marques qu'ils laissent peuvent être faites avant l'enfouissement mais aussi après.

Grâce aux marques laissées sur les fossiles, il est possible d'identifier des phénomènes édaphiques, c'est-à-dire des phénomènes liés au type de sol sur et dans lequel le fossile a reposé. On peut ainsi déterminer les modalités et la vitesse de sédimentation du site et d'enfouissement des restes. Les terrains volcaniques sont un parfait exemple d'enfouissement rapide causé par des éruptions. Un enfouissement rapide implique une meilleure conservation.



Squelette enfouit après Eruption volcanique :

[@Herculaneum site](#)
Au contraire, la forte acidité des sols avec un pH faible empêche leur bonne préservation en les dissolvant. Les dépôts fluviatiles tels que les dépôts marneux et argileux lacustres permettent également une très bonne conservation. En effet, les eaux de percolation sont plus faibles en éléments chimiques nocifs dans les sédiments fins que dans les dépôts sableux. De plus, les marques d'abrasion sont plus fréquentes sur les ossements conservés dans des sédiments grossiers. En effet, ceux-ci ont tendance à s'arrondir au niveau des fractures. Ces marques restent toutefois limitées sur les petits ossements lorsqu'ils sont transportés dans des courants d'eau, car ils flottent plus aisément.

La présence d'eau dans le sol dépend des conditions météorologiques, qui jouent également un rôle très important dans la conservation des fossiles. En 1974, Kay Behrensmeyer réalise une expérience à Amboseli afin de déterminer l'impact des intempéries sur des ossements. On parle d'intempérisation. Elle laisse des carcasses à l'air libre pour observer le niveau de décomposition de celles-ci en fonction des habitats macro- et microscopiques. Elle établit six stades de modifications en fonction de l'état de décomposition et des caractéristiques de surface des os. Pour ce faire, elle prit en compte la présence ou non de gras, de viande, de craquelures, la surface de l'os, etc. Par exemple, le stade trois implique que la surface des os soit caractérisée par des zones rugueuses. La partie externe de l'os est complètement décomposée, au contraire de l'intérieur qui reste intact. De plus, les bordures de l'os sont arrondies et les tissus non osseux sont presque tous absents.



Représentation des six stades de modification caractéristiques de surface des os : [@behrensmeyer](#)

Quels sont ces changements ?

Les changements d'humidité et de température jouent un rôle majeur en tant que paramètres climatiques. Les climats secs peuvent avoir un effet destructeur tout autant que les climats humides. L'eau liquide s'infiltré dans l'os, arrachant de petites particules au passage. Lorsque la température diminue fortement, l'eau gèle, passe à l'état solide et son volume augmente, pouvant entraîner une exfoliation de la surface de l'os ou même des fractures de gel/dégel.

Ainsi, il est possible de déduire des données paléoenvironnementales sur les conditions météorologiques en place avant l'enfouissement du reste. Par exemple, la présence importante d'eau dans les marécages et dans les forêts denses implique une altération plus rapide des fossiles.

Ces données paléoécologiques peuvent également expliquer certains biais liés à l'estimation de l'abondance et de l'âge des individus identifiés ainsi qu'aux parties du squelette préférentiellement retrouvées sur les sites paléontologiques. On parle de conservation différentielle.



Os en fonction de l'état de décomposition et des conditions de conservation (Carter et al., 2003)

Les marques laissées par les animaux

Les animaux peuvent également laisser des modifications sur les ossements, tout comme ils peuvent être responsables des accumulations, surtout lorsqu'il s'agit de carnivores. En effet, ces derniers peuvent avoir des tanières dans les grottes, surtout lorsqu'il s'agit de hyènes ou d'ours des cavernes. On perçoit alors les preuves taphonomiques retrouvées sur les ossements comme des preuves indirectes de la présence de tels animaux.

Les traces laissées par les carnivores sont différentes selon le carnivore impliqué, car tous n'ont pas le même comportement vis-à-vis des ossements. Par exemple, les canidés laissent surtout des traces sur les extrémités des os (épiphyses). Ces traces sont principalement des cupules (ou du piquetage) laissées par les dents lors du mâchonnement. Les canidés rongent de préférence les extrémités, car c'est la partie la plus riche en os spongieux et en moelle. Ainsi, seul le corps de l'os (la diaphyse) subsiste. Ce reste s'appelle un cylindre, avec parfois des extrémités "en fourchette".



Marques de dents de carnivores sur des os fossiles de Galeria, Atapuerca : @Fernandez-Jalvo_2016



*Dessin de hyènes des cavernes dans la neige
@Emma Perichon*

Les hyènes sont sûrement les carnivores accumulateurs les plus connus durant tout le Pléistocène. Elles ont des mâchoires extrêmement puissantes capables de broyer jusqu'à trois tonnes par cm^2 , et laissent des traces conséquentes. Comme les canidés, elles commencent par ronger les épiphyses des os longs pour en consommer la moelle. Cependant, elles ne laissent pas souvent de cylindres, car elles ont l'habitude d'ingérer le reste de l'os. Le système digestif des hyènes leur permet de régurgiter les os après les avoir digérés. Des cupules de digestion, un léger poli de la surface et des perforations peuvent alors se voir sur les surfaces. Les hyènes peuvent également avaler des os de grandes dimensions, comme des phalanges de cheval.

D'autres animaux laissent des traces, comme les rongeurs qui vont laisser des sillons profonds et parallèles le long des arêtes osseuses et des crêtes ou des fractures. Les rongeurs sont des micro vertébrés particulièrement sensibles aux variations de température et d'humidité. En effet, ces derniers étant très inféodés à leur milieu, et comme leur vie est courte, leur présence est un bon marqueur/indicateur des changements du climat sur de courtes échelles de temps.

Les traces de dents laissées par les carnivores sont des cupules circulaires de la forme de la dent, comme une empreinte de celle-ci, et peuvent donc permettre d'identifier la taille du carnivore responsable, mais pas d'aller jusqu'à l'espèce.

S'ils laissent des traces, les propres ossements des rongeurs peuvent aussi faire l'objet d'une étude paléoécologique. En effet, certaines espèces prédatrices, notamment des rapaces, ont tendance à créer des accumulations d'os de rongeurs sous la forme de pelotes de réjection. Les restes obtenus en décortiquant les pelotes sont représentatifs de l'environnement du rapace et de son territoire de chasse. Cependant, il ne s'agit pas d'une représentation exhaustive, parce que le rapace a un mode de vie qui lui est propre. S'il est diurne, par exemple, les rongeurs nocturnes ne seront pas représentés. Dans les pelotes de déjection, nous pouvons avoir des modifications de la surface des os, notamment avec la digestion, mais également de la fragmentation.



Pelote de réjection et os associés : @begenat.com

Il arrive également que des herbivores laissent des traces. C'est toutefois plus rare que dans le cas des carnivores. Ces traces peuvent être des traces de piétinement et de fracture, soit parce qu'il s'agissait d'os peu enfouis qui se sont fracturés sous l'effet des vibrations créées par le passage du troupeau sur la terre, soit parce ces os n'étaient pas du tout enfouis et se sont faits piétiner. Ils peuvent également laisser des traces de mâchonnement, comme cela a été observé chez des cervidés ayant rongé leurs bois une fois ceux-ci tombés.

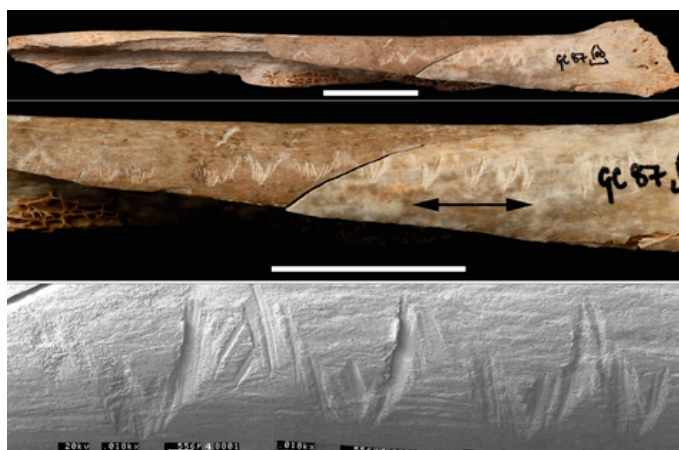


*Marques linéaires produites par un rongeur
@Fernandez-Jalv_2016*

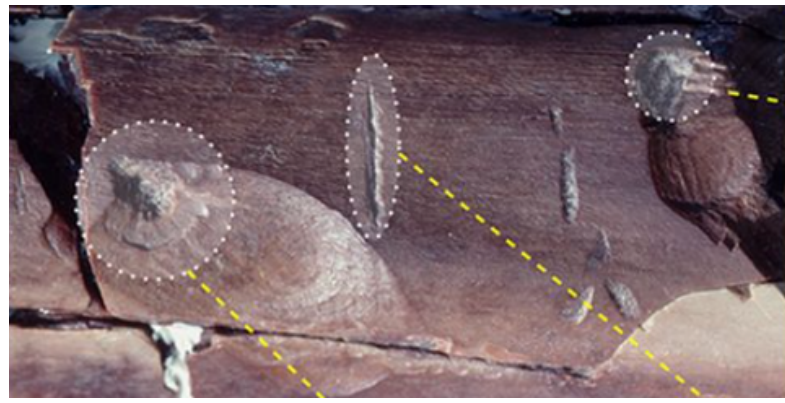
Les marques laissées par d'autres êtres vivants

Les animaux ne sont pas les seuls êtres vivants à laisser des empreintes de leur passage sur les fossiles.

Par exemple, les plantes et les champignons peuvent laisser des marques de dissolution sur les os. Elles ressemblent à de petites cupules et creusent le matériel osseux. Elles sont parfois confondues avec les marques de dissolution laissées par les sols acides ou par les acides d'origine animale (par exemple, les urines). Après l'enfouissement, les racines des plantes peuvent causer des fractionnements. Des champignons peuvent se développer à n'importe quelle étape du processus de taphonomie, y compris après la découverte et l'extraction des fossiles. Au contraire, la majeure partie de l'activité des bactéries a lieu pendant la putréfaction et les premières étapes de dégradation. Lorsque les restes présentent une absence de putréfaction, les champignons se développent plus largement, afin de se nourrir des nutriments. Les bactéries et les champignons creusent de petits pores et forment des tunnels dans les os. En augmentant la porosité, les bactéries exposent les fossiles à une détérioration plus rapide, ainsi qu'à des contaminations pour les études biomoléculaires. Les bactéries sont à l'origine d'une grande partie des altérations biologiques en milieu archéologique, notamment sur les restes humains. Les cyanobactéries ont également un fort impact sur la préservation des fossiles dans un environnement marin.



Diaphyse d'os (radius humain de Grough's Cave) présentant d'importantes marques de découpe ("cut marks"): @Fernandez-Jalvo, 2016



Marques de boucherie provenant du site de Dikika : @Sahle_et_al_2017

Les humains, bien qu'ils soient des animaux, ont une place à part en taphonomie, car ils utilisent des outils. En effet, si certaines marques ont pu être identifiées comme ayant été faites par des dents humaines (notamment dans le cas de cannibalisme), une grande partie d'entre elles a nécessité l'utilisation d'outils plus ou moins sophistiqués. Elles témoignent d'activités symboliques et de boucherie. Les plus anciennes traces de boucherie à ce jour ont été découvertes à Dikika en Afar (Ethiopie) et seraient datées de 3,4 millions d'années. Il s'agit d'incisions en forme de V dissymétrique, avec un côté plus long que l'autre. L'origine de l'auteur de ces traces reste encore au cœur d'un débat à cause de l'équifinalité. Les études taphonomiques ont permis de contribuer à la mise en évidence de l'utilisation d'une chaîne opératoire lors de la préparation des dépouilles. Les comportements symboliques sont plus récents et se sont développés au cours du Paléolithique supérieur (période chronoculturelle datée de 17 000 à 11 000 ans BP environ). Les marques sont notamment des gravures ou des abrasions.

Toutefois, il est important de noter qu'il peut arriver que l'origine humaine de ces traces soit contestée, en raison de ressemblances avec les traces laissées par les griffes des petits carnivores, voire des juvéniles. Ces contestations s'appuient notamment sur l'emplacement des marques, car chaque étape de la chaîne opératoire (dépouillement, décharnement, éviscération, etc.) est pratiquée sur une zone précise, par exemple au niveau des articulations.



Gravures magdaléniennes représentant des lionnes, Grotte de la Vache, Ariège @MAN

Conclusion

Dans cet article, qui était un tour d'horizon de ce qu'est la taphonomie, nous avons voulu vous montrer en quoi cette discipline est essentielle. En effet, la taphonomie est devenue incontournable dans les études archéozoologiques et paléontologiques. Depuis les années 1980, il y a une hausse des études sur le sujet, avec de plus en plus d'atlas et de manuels qui sortent pour apprendre à identifier les traces.

Comme nous l'avons vu, la taphonomie permet de comprendre l'origine des assemblages osseux, mais également l'environnement immédiat du dépôt, sans toutefois nous permettre de le reconstituer dans son entièreté.

Fémur présentant des marques de taphonomies : @Atlas_of_taphonomy

Grâce à la taphonomie, il est possible de reconstituer le climat et son impact, de la création à la découverte du dépôt, et de savoir si les os ont été enfouis rapidement ou au contraire exposés aux intempéries pendant plusieurs années. Elle nous permet aussi de déceler des phénomènes d'alternance entre le gel et le dégel, et de déterminer si des racines sont venues grignoter la surface de l'os, etc. Il est également possible de reconnaître les marques des animaux, et de savoir non seulement quel type d'animal était dans l'environnement, et donc en déduire une information sur le climat. Les marques de piétinement témoignent aussi de comportements grégaires ; les assemblages d'os rongés du passage, voire de l'occupation du site par un grand carnivore. Les modifications humaines renseignent quant à elles sur les comportements de subsistance, de la boucherie au feu en passant sur la consommation de viande ou de moelle.

Bibliographie

- Barroso Ruiz C., Abbassi M., Bailon S., Cheylan M., Desclaux E., El Guennouni K., Fons R., Haquart A., Hernández Carrasquilla F., Moigne A.-M., Paunescu A.-C., Poitevin F., Prodon R., Vilette P. (2006) – Taphonomie, signification paléobiogéographique, paléoécologique et paléoclimatique des faunes de microvertébrés supérieur de la grotte du Boquete de Zafarraya, in La grotte du Boquete de Zafarraya, Málaga, Andalousie Tome III, JUNTA DE ANDALUCÍA. Consejería de Cultura, p.1111.
- Behrensmeyer A.K. (1978) – Taphonomic and ecologic information from bone weathering, *Paleobiology*, 4, 2, p. 150-162.
- Castel J.-C., Coumont M.-P., Boudadi-Maligne M., Prucca A. (2010) – Rôle et origine des grands carnivores dans les accumulations naturelles: le cas des loups (*Canis lupus*) de l'Igue du Gral (Sauliac-sur-Célé, Lot, France), *Revue de Paléobiologie*, 29, 2, p. 411.
- Costamagno S. (1999) – Couloudous II: taphonomie d'un aven-piège. Contribution des accumulations d'origine naturelle à l'interprétation des archéofaunes du Paléolithique moyen, *Anthropozoologica*, 29, p. 13-32.
- Fernandez Jalvo Y., Andrews P. (2003) – Experimental effects of water abrasion on bone fragments, *Journal of Taphonomy*, 1, p. 147-163.
- Fernandez P., Guadelli J.-L. (2008) – Étude préliminaire des grands mammifères du repaire d'hyènes de Redaka II (Bulgarie du nord ouest): paléontologie, paléoécologie et taphonomie, *Quaternaire. Revue de l'Association française pour l'étude du Quaternaire*, vol. 19/1, p. 43-68.
- Jans M.M.E., Nielsen-Marsh C.M., Smith C.I., Collins M.J., Kars H. (2004) – Characterisation of microbial attack on archaeological bone, *Journal of Archaeological Science*, 31, 1, p. 87-95.
- Pokines J.T., King R.E., Graham D.D., Costello A.K., Adams D.M., Pendray J.M., Rao K., Siwek D. (2016) – The effects of experimental freeze-thaw cycles to bone as a component of subaerial weathering, *Journal of Archaeological Science: Reports*, 6, p. 594-602.

Retour d'expérience sur les collections de référence

Qu'est-ce qu'une collection de référence ostéologique et à quoi cela sert en archéozoologie ?

Une collection de référence ostéologique est une collection d'éléments squelettiques de faune moderne ou fossile — c'est-à-dire éteinte. Les squelettes peuvent être plus ou moins complets, et les ossements sont classés par taxon ou par élément anatomique, notamment dans les collections synoptiques. En archéozoologie, mais aussi en paléontologie, ces collections servent ensuite de référence pour l'anatomie comparée. Un ossement fossile mis au jour lors de fouilles, ou découvert lors d'un décapage ou de prospections, est comparé avec la collection de référence, afin de déterminer de quel élément squelettique il s'agit, si c'est un droit ou un gauche (latéralisation), s'il existe une pathologie osseuse et surtout, à quel taxon il appartient.



Os de caprinés © Jo Seshat

Le travail en bref

Au premier semestre de l'année universitaire 2022/2023, nous avons travaillé sur la préparation d'os de vertébrés, de la terre dans laquelle ils étaient jusqu'alors enfouis jusqu'à leur entrée en collection. En particulier, ce travail — placé sous la direction du docteur Marjan Mashkour, a contribué à la collection de référence du laboratoire AASPE, UMR 7209.

Bon à savoir ! Le MNHN est doté d'une collection patrimoniale qui sert à tou.s.tes les spécialistes manifestant le besoin de confronter leur matériel fossile avec du matériel de comparaison. Comme pour consulter un livre en bibliothèque, il est possible de faire une demande d'accès aux collections ostéologiques patrimoniales du Muséum !

Contexte général de notre travail

Tous les ossements que nous avons préparés ont été trouvés et récupérés chez un éleveur d'ânes de Touraine, Jacky Davezé.

L'objectif de la mission était de récupérer les ossements de jeunes caprinés qui avaient été mis à mort pour une précédente étude sur leurs dents. Jacky Davezé disposait également du cadavre de plusieurs de ses ânes ; aussi, il a proposé qu'ils soient récupérés en même temps. Les différents squelettes ont été enfouis dans de la terre et recouverts par du fumier pendant deux ans. Enfin, en amont de la mission, il a récupéré et mis de côté plusieurs animaux qu'il a trouvés morts dans son jardin ou sur le bord de la route, tels que de petits rongeurs, un hérisson ou encore une chouette.



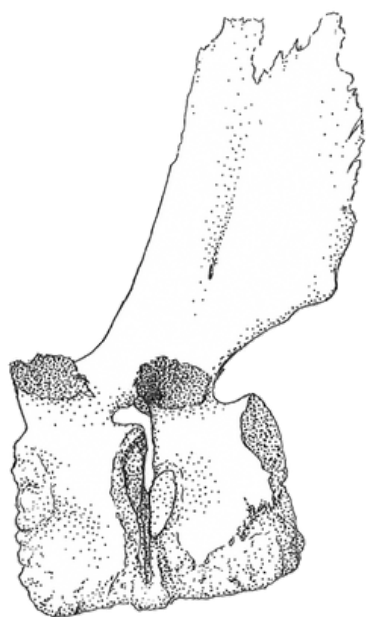
Crânes et mandibules

(© ALTOMEDIA Productions, G. Frydman & P.— A. Paul)

La préparation d'ossements pour une entrée dans les collections

Préparation préliminaire des ossements : enterrer, faire bouillir ou tremper

Enterrer les ossements permet aux micro-organismes présents dans le sol de les débarrasser naturellement de toute la chair. Cette méthode est très longue (plusieurs années), mais elle est considérée comme la plus efficace pour nettoyer des ossements. Ensuite, selon l'état dans lequel on récupère les os lors de l'exhumation, il est aussi possible de les mettre à tremper dans l'eau pendant plusieurs semaines à plusieurs mois, ou bien de les faire bouillir afin de ramollir les derniers tissus organiques, qui se détachent ensuite d'eux-mêmes. Un scalpel et une pince peuvent être utilisés.



Vertèbres de capriné en connexion © Jo Seshat

Laver les ossements à l'eau avec ou sans brosse ou brosse à dents, puis les sécher à l'air libre

Les ossements dépouillés des chairs sont lavés à l'eau tiède, éventuellement avec une brosse à dents pour nettoyer la surface de l'os. Ensuite, il faut les laisser sécher plusieurs jours. Des grilles recouvertes de papier journal servent aux chercheurs et aux étudiants.tes pour laisser sécher les ossements nettoyés.

Vérifier les attributions, faire du recollement, finaliser l'attribution aux différents individus

Une fois les os propres et bien secs, il faut vérifier les attributions proposées pour les ossements récupérés. Ceci s'est avéré essentiel pour les petits animaux, qui avaient été enterrés tous ensemble dans un baquet de terre (à l'exception d'un blaireau et d'un hérisson). Chaque squelette était plus ou moins circonscrit dans une zone du baquet, mais les préidentifications fournies par Jacky et confirmées en partie par la «fouille» du baquet nécessitaient d'être précisées. Les squelettes déjà présents dans les collections du laboratoire AASPE vont servir à cela !

Marquer les ossements et les mettre en sachet

Le marquage s'effectue ensuite avec des stylos pour ancrage fin de différentes tailles en fonction de l'ossement, de son envergure et des parties anatomiques à préserver absolument (comme les surfaces articulaires, les dents, les éléments distinctifs ou fortement diagnostics, etc.). Ce travail suit des normes définies par le laboratoire pour les collections déjà existantes.

Les faire entrer dans la base de données de la collection

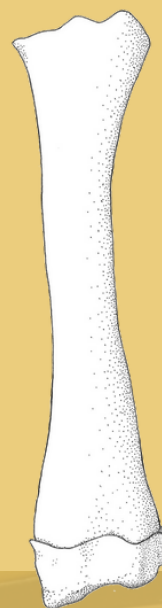
Il s'agit d'une étape précieuse pour la mémoire des collections. Cette base de données sert aux chercheurs pour identifier les os présents dans la collection, afin de pouvoir comparer des taxons ou des individus de taille, de sexe ou de classe d'âge différents. Elle sert aussi aux responsables des collections pour effectuer des recollements, c'est-à-dire pour vérifier l'exhaustivité de la collection dans le temps, identifier les manquants, les lacunes, signaler les éléments trop abîmés et faire les remplacements nécessaires.

Présentation des ossements des animaux que nous avons préparés

Des caprinés juvéniles (*Capra hircus* et *Ovis aries*), élevés pour la recherche et rapidement sacrifiés pour une étude sur les dents,

Des ânes (*Equus asinus*), élevés sans but commercial et morts naturellement,

De petits animaux (un blaireau, un hérisson, plusieurs taupes et oiseaux), morts naturellement ou accidentellement et trouvés dans le jardin ou sur le bord de la route.



Os long et détail des surfaces articulaires © Jo Seshat



L'expérience d'Angela Nosedà

Angela est étudiante en deuxième année de master Quaternaire, Préhistoire, Bioarchéologie (QPB) au Muséum national d'Histoire naturelle. Avec son encadrante de mémoire, le Dr. Marjan Mashkour, elle s'est rendue en Touraine à la rencontre d'un éleveur d'ânes pour récupérer des ossements.

Comment meurent les animaux dont les ossements se retrouvent dans les collections archéozoologiques ? Quel choix leur est laissé ?

La constitution d'une collection de référence en archéozoologie passe par une étape incontournable : la mort d'un animal. En préparant et récupérant les corps de ces animaux sentients, nous en faisons des objets d'étude.

Septembre 2022. Dans le cadre de mon année de M2 BEE, parcours Quaternaire, Préhistoire et Bioarchéologie, j'ai accompagné mon encadrante

de mémoire Marjan Mashkour, sa doctorante Adeline Vautrin, une de ses anciennes doctorantes Margaux Spruyt et son amie et collègue Emmanuelle Vila en Touraine chez un éleveur d'ânes pour récupérer des ossements d'animaux qui devaient être ajoutés aux collections archéozoologiques du laboratoire AASPE et aux collections patrimoniales du MNHN.

Arrivées dans le jardin de Jacky Davezé, qui nous a généreusement accueillies, nous étions venues récupérer des ossements de jeunes caprinés — «morts pour la science» — et d'ânes —compagnons et amis de Jacky. Nous sommes reparties avec en plus dans nos valises les restes d'un blaireau, d'un hérisson, d'un pic vert, d'un pic épeiche, d'une chouette effraie, d'un écureuil et de plusieurs taupes.

Les animaux domestiques sont là pour nous — pour nous servir ou pour nous tenir compagnie. Les agneaux et les chevreaux ont été tués quelques mois seulement après leur naissance, dans le cadre d'une étude sans rapport avec la récupération des ossements qui a été décidée après. Les ânes de Jacky sont morts naturellement. Tous ces animaux ont été enterrés les uns après les autres, directement dans la terre. Le but était d'en retirer toutes les chairs afin qu'il ne reste que l'os, avec des surfaces articulaires et d'insertions musculaires bien visibles.

Quant aux animaux sauvages, ils sont contraints à la liminarité, dépositaires d'un statut flou, « plus tout à fait ceci, mais pas encore tout à fait cela ». Les écureuils, les blaireaux et les hérissons sont des animaux sauvages connus de tous, notamment parce qu'ils cohabitent avec nous. Les arbres qu'ils occupent poussent non loin des zones urbanisées, si ce n'est à l'intérieur ! Les forêts qu'ils habitent sont traversées par des routes (on parle d'effet de coupure ou de fragmentation des habitats/écosystèmes).

Tous les os d'animaux sauvages que nous avons récupérés viennent d'individus qui ont été écrasés au bord de la route ou blessés. Une fois récupérés, ils ont eux aussi été enterrés avec les autres, ou pour certains dans un baquet rempli de terre pour éliminer plus efficacement les tissus organiques.

En suivant un plan qui avait été reporté sur du papier, nous avons localisé les quatre individus qui avaient été enterrés. Ils ont passé plusieurs années dans le sol — un milieu en constant remaniement et qui fourmille de vie sous la forme, par exemple, de terriers de campagnols, que nous avons brièvement croisés lors de la fouille. Ils avaient établi leur domicile entre les côtes et les fémurs des ânes et des jeunes caprinés.

L'expérience de Chloé Aubry

Chloé est étudiante en deuxième année de master Systématique, Évolution, Paléontologie (SEP) à Sorbonne Université. Elle s'est lancée depuis 2011 dans la création d'un petit musée - chez elle et en ligne, dans lequel elle expose des fossiles, des moulages et ses propres remontages de squelettes.

Cela fait plusieurs années maintenant que j'élabore ma propre collection ostéologique, plus précisément je reconstitue des squelettes d'animaux que je trouve morts dans la nature. C'est une passion que j'ai depuis toute petite et c'est vraiment à l'âge de dix ans que j'ai commencé à ramasser des os par-ci par-là (mes tout premiers étaient les os d'une aile de sterne trouvés sur une plage). Et au fur et à mesure, je suis passée à des animaux complets dont il était intéressant de reconstituer le squelette en entier. Je prends également des crânes que j'expose dans une petite vitrine, ce qui me permet d'avoir une référence pour les différentes espèces. J'ai un blog, Squelettes Story, sur lequel je partage cette passion, mes reconstitutions (ainsi que les étapes pour arriver au 3D).

C'est une passion qui prend du temps, de la place, qui demande de la patience, mais c'est une passion qui vaut le coup et qui est très enrichissante lorsque l'on s'intéresse au côté scientifique et pas seulement au côté esthétique !

Bien que cela puisse paraître contradictoire pour certains, une de mes passions principales est les animaux ainsi que la vie sauvage, la nature. J'aime énormément la photographie animalière et l'étude du comportement de tous ces animaux. Je suis très attachée à leur protection. Reconstituer des squelettes est pour moi un moyen de les appréhender différemment que dans leur vie quotidienne. J'apprends des choses à partir de ces ossements à l'échelle de l'individu, mais également à l'échelle de l'espèce. Je peux voir notamment s'ils ont subi des accidents, des fractures qui se sont ressoudées, des maladies, des « anomalies » squelettiques...

J'ai déjà eu des cas assez impressionnants. Je peux aussi déterminer l'âge des individus. Je le fais notamment beaucoup avec les sangliers, j'ai un panel assez important qui me permet, en fonction de cet âge, de voir les différences au niveau du crâne notamment. L'anatomie comparée est très intéressante entre les espèces : il y a de petites caractéristiques ostéologiques que l'on ne voit pas forcément sur les animaux vivants, mais qui permettent de comprendre notamment leur comportement. J'aime le faire particulièrement sur les oiseaux qui sont intéressants à étudier à ce niveau-là (différence entre les oiseaux marins, des marais, les rapaces...).

Il faut savoir que je ne tuerai jamais d'animaux pour réaliser ma passion et ne prendrai non plus d'animal domestique, par respect pour leurs propriétaires.



L'expérience de Barbara Jambin

Barbara est étudiante en deuxième année de master Quaternaire, Préhistoire, Bioarchéologie (QPB) au Muséum national d'Histoire naturelle. Dans le cadre de son mémoire sur l'archéo-ichtyofaune du Nil, elle s'est rendue au Soudan avec le Dr. Philippe Béarez pour collecter des spécimens de référence.

Étudiante en M2 QPB, j'ai eu l'opportunité au mois de novembre de partir en mission archéologique au Soudan durant deux semaines, accompagnée de mon maître de stage P. Béarez. Le principal objectif de cette pérégrination était de ramener de nouveaux spécimens de poissons d'eau douce du Nil, afin de compléter la collection de référence du MNHN. Ce travail de collecte d'échantillons permettra par la suite la réalisation d'études en anatomie comparée ou tout travail de recherche scientifique sur le sujet.

La préparation d'une collection de référence est une tâche rigoureuse, qui nécessite des connaissances en taxinomie, en écologie des poissons et un estomac bien accroché !

La collecte et l'identification

Des poissons de diverses tailles peuvent être collectés à partir d'habitats très différents afin de refléter au mieux la diversité intraspécifique de la faune aquatique sur place. Pour cela, nous nous sommes rendus dans un premier temps sur divers marchés aux poissons des localités de Khartoum, de Jebel Aulia, d'Omdurman et de Kosti. Il est important de vérifier au préalable la provenance des spécimens. Ceux-ci doivent provenir de bassins naturels, pour cela rien de mieux que d'aller se renseigner directement auprès des pêcheurs locaux.

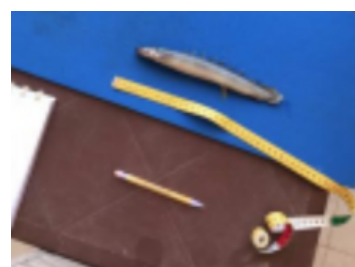
Une fois que les spécimens recherchés sur le marché parviennent à être identifiés, nous les transportons de préférence dans une glacière afin de conserver le plus longtemps leur fraîcheur.

Prise des mesures et inventaire

Intervient alors une étape cruciale de prise de mesure très précises et standardisées. Nous devons indiquer la date et le lieu de capture du poisson, puis mesurer sa longueur totale, sa longueur standard, sa longueur à la fourche et enfin son poids. Il est également important de photographier le spécimen encore frais en le posant à plat, en dégageant ses nageoires, parfois à l'aide d'épingles, sur un fond uni et muni d'une bonne source de lumière naturelle.

Découpe

Une fois la phase d'enregistrement réalisée, nous pouvons passer au traitement de la carcasse. Pour cela, une première étape consiste à retirer les filets (que vous aurez l'opportunité de manger plus tard) et les organes de l'appareil digestif et reproducteur, à l'aide d'un couteau adapté.



Crédits des photographies : @Barbara Jambin, @Philippe Béarez, @D. Usai, 2022

Extraction des tissus mous

L'étape du nettoyage des os demande plus de minutie afin de ne laisser aucun ossement de côté, surtout lorsqu'il s'agit de petits spécimens. Après avoir fait bouillir le restant du poisson pendant quelques minutes, les tissus mous se verront être facilement retirés à l'aide d'outils, de préférence des pinces en métal.

Macération

Plus tard, les os seront laissés à tremper dans des récipients étanches pour la traditionnelle étape de la macération à l'eau. L'idéal est de placer les bocaux dans un endroit sec, chaud et à l'abri de la lumière, afin que les bactéries et les enzymes présentes dans l'eau décomposent parfaitement les chairs restantes pendant plusieurs semaines. Enfin, il peut être nécessaire de remplacer l'eau de temps à autre afin d'éviter la stagnation. Une fois la macération terminée, les os sont rincés à l'eau claire puis séchés à l'air libre.

Intégration à la collection

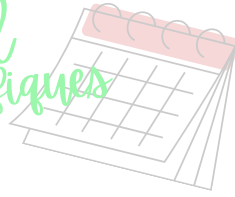
Désormais ils peuvent intégrer définitivement la collection de référence, dans des contenants séparés et avec toutes les indications nécessaires à leur fiche d'identification. Une collection demande évidemment un entretien constant, pour éviter toute détérioration ou mélange de celle-ci.



Crâne d'équidé © Marjan Mashkour, Angela Nosedá, Adeline Vautrin



Calendrier Mars & Avril des prochaines animations scientifiques



Du 22/03/2023 au 07/01/2024 : Exposition "Félins", Grande Galerie de l'évolution

Samedi 25/03, 14h30 : Jérôme Sueur de l'ISYEB invité des Amis du Muséum, Grand Amphithéâtre d'Entomologie,
(<https://isyeb.mnhn.fr/fr/agenda/jerome-sueur-de-lisyeb-invite-des-amis-du-museum-8966>)

Lundi 27/03, 10h : Journée des doctorants de l'ISYEB, Auditorium de la Grande Galerie de l'Évolution
(<https://isyeb.mnhn.fr/fr/agenda/journee-des-doctorants-de-lisyeb-9027>)

Lundi 27/03, 17h30 : Initiation au tricot par Caroline D'Hailly, Local du BDEM (63 rue Buffon) sur inscription

Du 29/03 au 31/03/2023 : 8ème congrès de l'Evolutionary Demography Society sous la présidence de Samuel Pavard, UMR 7206 EA, au MNHN (<https://evodemo2023.sciencesconf.org/>)

Jeudi 30/03, 18h : Conclusions de la COP15 sur le Protocole de Nagoya relatif à l'accès aux ressources génétiques : focus Amérique latine, Web formation au barreau de Paris, en ligne sur inscription
(http://dl.avocatparis.org/news_letters_co/newslettersCOI/Am%C3%A9rique%20latine300323.html)

Mardi 04/04, 10h : Séminaire d'archéobotanique (UMR 7209 AASPE), Grand bureau d'Anatomie comparée
<https://archeozoo-archeobota.mnhn.fr/fr/actualites/seminaire-darcheobotanique-du-4-avril-2023-9140>

Samedi 08/04, 8h45 (Gare de Lyon) : Sortie naturaliste à la découverte de la Forêt de Fontainebleau, animée par les étudiants en M1 ECIRE/EEVEF sur inscription avant le 26/03

Mardi 11 & Mercredi 12/04 : Journées d'études "Tackling climate change - The politics of Carbon Dioxide Removals (CDR)", Campus Condorcet (Aubervilliers), Centre des colloques, salle 100, sur inscription
(<http://koyre.ehess.fr/index.php?4061>)

Jeudi 13 & Vendredi 14/04 : Journées d'études "Faire l'histoire des réseaux du soin : acteurs, espaces et pratiques de l'Antiquité à nos jours", Campus Condorcet (Aubervilliers), Bâtiment sud, salle 0.015, sur inscription (<http://koyre.ehess.fr/index.php?4053>)

Mercredi 19/04, 10h30 : Débats du CAK (19-2) "Le crédit des approches sociales des sciences ?", Campus Condorcet Campus, Bâtiment EHES, salle 50 (RdC), sans inscription (<http://koyre.ehess.fr/index.php?4066>)

Du 25/04 au 14/05/2023 : Exposition, Conférences, Ateliers "À la découverte des pôles sur les traces des expéditions scientifiques de Jean-Baptiste Charcot", Ferme de Bressieux, 297 route de la Ferme 73000 Bassens
(<https://paleo.mnhn.fr/fr/agenda/la-decouverte-des-poles-sur-les-traces-des-expeditions-scientifiques-de-jean-baptiste>)



Prochain apérosience

Organisés par Benjamin Renaud et Alexis Chevalier (M2 Systématique, Evolution, Paléontologie au MNHN/SU) les **3èmes jeudis du mois à 18h30** ! Prochain rdv le 20 avril à la cantine du MNHN* (43 rue Buffon) en ligne : <https://meet.jit.si/AperoScienceBDEM> :



Caroline Bouvier
Le vieillissement des peintures
anciennes



Eduardo Blanco
Services écosystémiques &
urbanisme

Et un rendez-vous gourmand organisé par **Yves le Dantec** (M2 QPB) et **Chloé Nolibois** (M1 QPB) sur une idée origine de **Utpala Rousselot** (M1 QPB) et **Aoife Hopkins** (M1 SEB) pour le BDEM

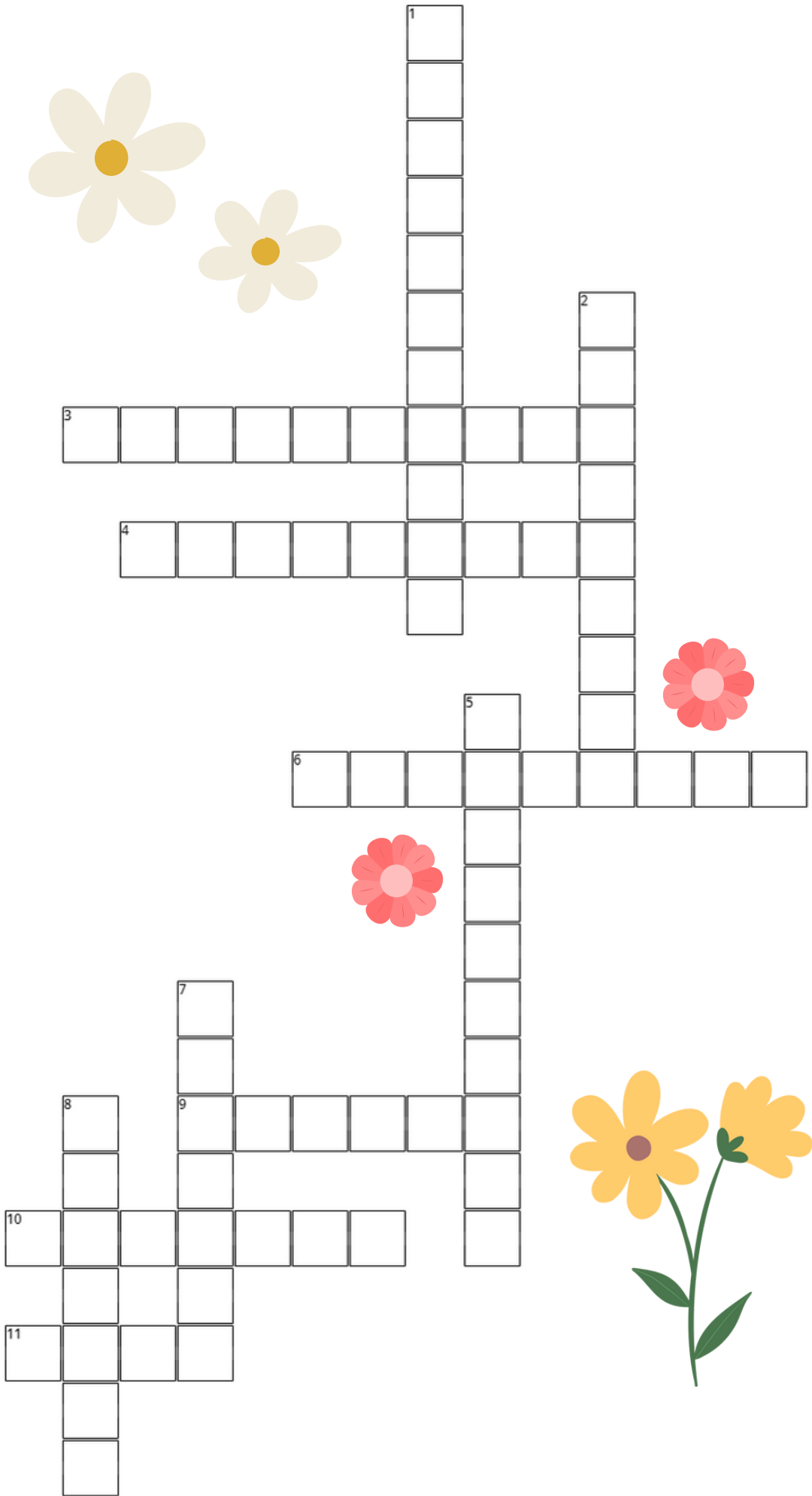
Dessin :
Yves le Dantec



Gôter lorain & breton
7 avril 2023, Salle Betsch

Mots croisés

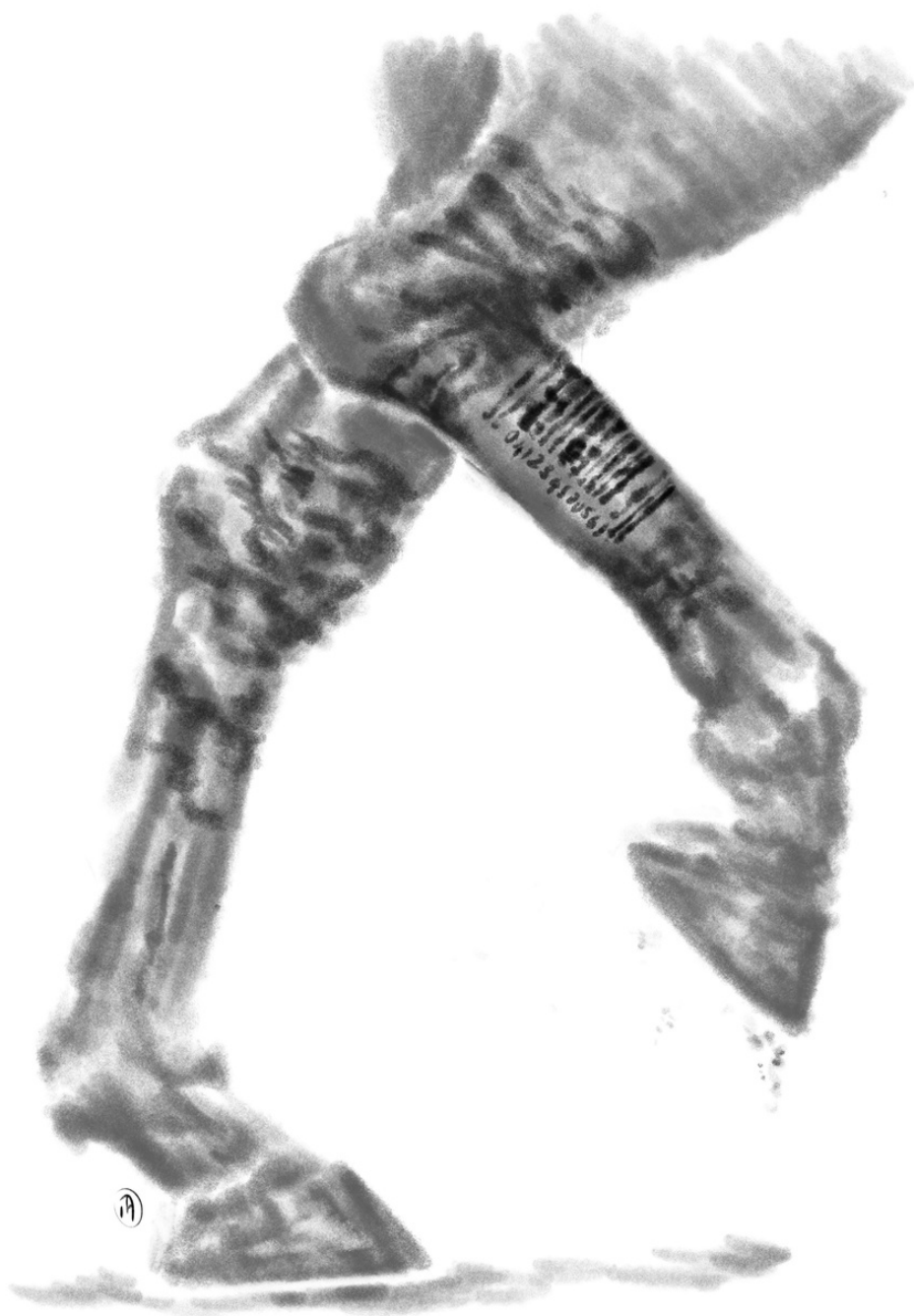
- 1 : opération à coeur (battant) ouvert, réputé "pour la science".
- 2 : d'après les restes, il apparait que le lapin blanc avait faim
- 3 : espèce en voie d'apparition
- 4 : discipline pratiquée par la primatologue qui vivait avec les chimpanzés
- 5 : connaissance immédiate de sa propre activité psychique
- 6 : action de résoudre un puzzle, mais avec des os
- 7 : objet d'étude, du latin 'fodere', ce qui est fouillé
- 8 : nom de la primatologue en question
- 9 : Barbara s'y est rendue, mais pas Tintin
- 10 : grand singe dont la différence fut notamment de ne pas marcher sur ses deux pieds, mais sur ses deux poings
- 11 : airbnb peu confortable de moins d'1m2 où Michael Scofield aurait séjourné s'il n'avait pas été un humain



Un mot pour finir et pour causer de l'édition 6

C'est ici qu'on s'arrête. L'édition 5 est dans les fourneaux, et portera sur la Mer, ses monstres et ses insondables mystères. C'est un sujet qui vous intéresse, qui vous occupe, même, dans le cadre de vos stages ? Témoignez ! Participez ! Du labo aux stations marines, à 20 mètres sous la surface, plongez. Pour participer au journal, peu importe la forme (un flash de 100, 200, 300 mots, un article, une photo, un dessin, un poster, etc.), contactez nous à l'adresse suivante : camille.lacorne@edu.mnhn.fr !

Quant à nous, on vous laisse avec ce magnifique dessin de *Marie-Aimée Allard, doctorante (AIS-MNHN-CNRS)* :



*Coordination : Camille lac
Mise en page : Nolwenn Emonet, Camille Lac, Jo Seshat
Correction de l'orthographe : Camille lac, Jo Seshat*

Merci au Dr. Marjan Mashkour pour son encadrement, son enthousiasme et ses conseils !

