

**Documentation et caractérisation de l'état de dégradation
de peaux de mammifères : évaluation d'un corpus conservé
au Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel**

Mémoire présenté par :
Anne-Catherine Goetz

Pour l'obtention du

Bachelor of Arts HES-SO en Conservation
Objets archéologiques et ethnographiques

Année académique 2015-2016

Remise du travail : 25.07.2016

Jury : 30.08.2016

Nombre de pages : 102

« J'atteste que ce travail est le résultat de ma propre création et qu'il n'a été présenté à aucun autre jury que ce soit en partie ou entièrement. J'atteste également que dans ce texte toute affirmation qui n'est pas le fruit de ma réflexion personnelle est attribuée à sa source et que tout passage recopié d'une autre source est en outre placé entre guillemets. »

Neuchâtel, le 25/07/2016

Anne-Catherine Goetz

Remerciements

Je tiens à remercier Celia Bueno, conservatrice responsable des collections de vertébrés et de mollusques, ainsi que toute l'équipe du Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel, pour leur accueil, leur disponibilité et leur confiance.

J'adresse un remerciement particulier à Martin Zimmerli, taxidermiste au Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel, pour son vif intérêt pour le sujet et le partage de ses connaissances et de son expérience sur la préparation des spécimens d'histoire naturelle.

Je souhaite également remercier Régis Bertholon, responsable du domaine de Conservation-restauration à la Haute École Arc et enseignant référent de ce mémoire, pour son encadrement et ses conseils.

Mes remerciements vont également à Tobias Schenkel, professeur à la Haute École Arc et membre de jury du Bachelor, pour la réalisation des analyses FRX, sa disponibilité et ses nombreuses explications.

Je remercie également l'ensemble du collège des enseignants, Valentin Boissonnas et Thierry Jacot, ainsi que tous les enseignants de la Haute École Arc, pour l'ensemble des connaissances transmises au cours de ces trois dernières années, qui m'ont permis d'aboutir à ce travail de mémoire.

Mes remerciements les plus sincères s'adressent à Laura Brambilla, docteure en chimie et cheffe de projet à la Haute École Arc, pour la réalisation des analyses IRTF, sa très grande disponibilité, son professionnalisme, ses nombreuses explications et pour la mise à disposition du logiciel de traitement des spectres.

Je souhaite remercier Elke Mentzel, professeure à la Haute école des arts de Berne, de m'avoir permis de disposer de l'équipement nécessaire à la détermination des températures de rétraction et pour m'avoir accompagné dans les premiers essais.

Mes remerciements vont également à Domingos Costa, professeur de Physique/Chimie du domaine d'Ingénierie à la Haute École Arc, pour m'avoir permis d'occuper le laboratoire de chimie et d'utiliser le matériel nécessaire à la détermination du pH.

Je remercie aussi Jacques Cuisin, responsable de la Plate-forme de préparation et de restauration au Musée National d'Histoire Naturelle de Paris, pour son accueil, ses informations et ses observations relatives à la dégradation des peaux dans les collections du Muséum de Paris.

Je souhaite également remercier Martin Troxler, taxidermiste au Musée d'histoire naturelle de Berne, pour son retour d'expérience quant à la méthode de désacidification des peaux expérimentée au Musée d'histoire naturelle de Berne.

J'adresse mes remerciements à Laurianne Robinet, ingénieure de recherche au pôle Cuirs et Parchemins du Centre de recherche sur la conservation de Paris, pour son intérêt pour le sujet, sa relecture et ses conseils.

Je remercie Manon Rais, pour la mise à disposition du matériel de la Haute École Arc, ainsi que toute l'équipe de la bibliothèque, pour leur aide et leurs conseils de recherche.

Pour finir, je remercie mes joyeux camarades de promotion, pour tous les moments heureux passés ensemble, mais aussi pour leur aide et leur soutien dans les mauvais jours ; mes collègues de travail pour leur bonne humeur perpétuelle ; mes amis aux quatre coins de la France qui malgré les années et la distance sont toujours présents ; mon père pour tout ce qu'il a pu me transmettre ; ma mère pour son soutien inébranlable.

Et à Brahim...Merci.

Table des matières

Résumé	5
Abstract	6
Introduction	7
1 Présentation du contexte de conservation	9
1.1 Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel (MHNN)	9
1.2 Collections	9
2 Présentation de la taxidermie	10
2.1 Historique et valeurs culturelles	10
2.2 Traitements de préservation des spécimens	13
2.2.1 Dépouillage	13
2.2.2 Dégraissage	13
2.2.3 Préservation des peaux	14
2.2.4 Reverdissage	15
2.2.5 Picklage	15
2.2.6 Tannage	15
2.2.7 Neutralisation	17
2.2.8 Étapes de finition	17
2.2.9 Montage	17
2.3 Précautions à prendre lors des manipulations de spécimens d'histoire naturelle	17
3 Présentation du corpus d'étude	18
3.1 Critères de choix des spécimens	18
3.2 Identification et constat d'état des 17 spécimens	18
3.3 Identification des traitements de préservation	21
3.3.1 Méthode par spectrométrie de fluorescence X (FRX)	21
3.3.2 Méthode par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en réflexion totale atténuée (IRTF-RTA)	21
3.3.3 Résultats	22
3.3.4 Interprétation	25
4 Pronostic	27
4.1 Identification des processus de dégradation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en réflexion totale atténuée (IRTF-RTA)	27
4.1.1 Méthode	27
4.1.2 Résultats	30
4.1.3 Interprétation	31
4.2 Détermination du pH de la peau avec un pH-mètre	33

4.2.1	Méthode	33
4.2.2	Résultats et interprétation	34
4.3	Identification des causes de dégradation non fonctionnelles* des peaux	35
5	Évaluation des stades de dégradations des peaux	38
5.1	Test de grattage	38
5.1.1	Méthode	38
5.1.2	Résultats	39
5.2	Détermination de la température de rétraction des fibres avec la méthode <i>Micro Hot Table</i> (MHT)	39
5.2.1	Méthode	39
5.2.2	Résultats et interprétation	40
5.3	Corrélation des données	42
5.4	Rappel des recommandations de conservation	45
	Synthèse et discussion	46
	Conclusion	48
	Références bibliographiques	49
	Glossaire	54
	Listes des abréviations	56
	Liste des figures	57
	Liste des tableaux	59
	Liste des graphiques	60
	Annexes	61
	Annexe 1 : Photographies	62
	Annexe 2 : Tableaux	63
	Annexe 3 : Fiches d'identification et de constat d'état	69
	Annexe 4 : Protocoles	81
	Annexe 5 : Graphiques	92
	Annexe 6 : Documentations complémentaires	96
	Annexe 7 : Liste des documents sur clé USB	102

Résumé

La taxidermie est l'art de mettre en forme une peau animale en lui donnant l'apparence de la vie, tout en assurant sa conservation. Cela va de la préparation de la peau de l'animal jusqu'à son montage. Le choix et l'application des méthodes de préparation de la peau sont des étapes primordiales et déterminantes, car ce sont elles qui vont conditionner la stabilité du spécimen sur le long terme.

Une grande part des peaux conservées dans les musées d'histoire naturelle sont dans un mauvais état de conservation. Dans les pires des cas, la perte des spécimens est totale. Leur dégradation entraîne la modification des données qualitatives et quantitatives nécessaires à leur étude. Ils perdent ainsi leur rôle scientifique et de ce fait, la valeur pour laquelle ils sont conservés dans les musées.

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'état de dégradation d'un corpus de 17 peaux plates (non montées) de mammifères, conservées au Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel.

Pour ce faire, nous avons d'abord effectué un examen visuel des spécimens à l'œil nu, puis des fibres de collagène avec la microscopie optique. Nous avons également déterminé les méthodes de préservation des peaux grâce aux observations macroscopiques, mais aussi au moyen d'analyses par spectrométrie de fluorescence X et par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier. L'ensemble des résultats, couplés à la détermination de la température de rétraction des spécimens, nous ont permis de déterminer les mécanismes et l'état de dégradation de chaque peau et de les corrélérer avec leur méthode de préparation.

Au terme de l'étude, nous avons établi que 47% des peaux étudiées sont dans un état de conservation inacceptable. De plus, 40% des spécimens ne peuvent plus faire l'objet de traitements aqueux, au risque de subir une dénaturation complète. Ils sont également très sensibles à des taux élevés d'humidité.

Au vu de ces résultats, nous avons brièvement rappelé les conditions de conservation adaptées à de telles collections. Celles-ci ne font toutefois que ralentir leur dégradation.

Les résultats montrent donc l'importance de poursuivre les recherches dans le domaine de la conservation des spécimens d'histoire naturelle, afin de trouver des solutions pour leur stabilisation et leur conservation sur le long terme.

Abstract

The taxidermy is the art of shaping an animal skin to give it the appearance of life, while ensuring its preservation. This goes from the preparation of the skin to its mounting. The choice and application of skin preservation methods are essential and decisive stages, because they will influence the stability of the specimen in the long term.

A large share of skins stored in museums of natural history are in poor condition. In the worst cases, the loss of the specimens is total. Their deterioration changes the qualitative and quantitative evidences for their study. They lose their scientific function and therefore the value for which they are stored in museums.

The aim of this study is to assess the state of degradation of 17 flat skins (unmounted) of mammals stored in the Museum of Natural History in Neuchâtel. For this purpose, we first performed a visual inspection to the naked eye and collagen fibers with optical microscopy. We also determined the processing techniques of skins through macroscopic observation but also using X-ray fluorescence analysis and Fourier transform infrared spectroscopy. All the results, coupled with the determination of the shrinkage temperature allowed us to determine the mechanism and the state of degradation of each skin. They are then correlated with their processing technique.

At the end of the study, we found that 47% of the skins are in an unacceptable state of preservation. Furthermore, 40% of the specimens can no longer be subject to aqueous treatment, without the risk of a complete denaturation. They are also very sensitive to high humidity.

Given these results, we have summarized storage conditions adapted to the preservation of such collections. However, they only slow down the deterioration.

The results show therefore the importance of further researches in the field of preservation of natural history specimens, to find solutions for their stabilization and preservation in the long term.

Introduction

Depuis le XVIII^{ème} siècle, les collections des musées d'histoire naturelle n'ont cessé de s'accroître grâce au perfectionnement des procédés de taxidermie*¹ et au progrès de la science. À cette époque, les peaux sont systématiquement présentées sous forme de montage*, afin de leur redonner l'apparence de la vie. À partir du XX^{ème} siècle, l'accumulation des peaux de Vertébrés devient tellement considérable que leur montage n'est plus automatique dans les musées, principalement par manque de place. Après traitement, les peaux sont alors simplement conservées telles quelles dans des tiroirs ou des caisses. En 1921, Édouard Louis Trouessart, professeur au Muséum d'histoire naturelle de Paris, décrivait déjà des peaux « entassées et resserrées, ce qui les expose, peut-être encore plus que les montages des Musées, aux détériorations [...] ». Il est donc nécessaire de veiller sans cesse à leur conservation². » Ainsi, il soulignait déjà l'importance des conditions de stockage dans les réserves pour la conservation des peaux. Néanmoins, les conditions de stockage et par extension, les conditions environnementales de conservation dans les réserves, ne sont pas les seuls facteurs responsables de la grande fragilité des peaux conservées dans les musées d'histoire naturelle.

En effet, la faiblesse des spécimens* dépend également de leur nature et des procédés de préservation qui y ont été appliqués.

La peau est constituée principalement de matière organique qui est vouée à disparaître dès la mort de l'individu si aucune intervention technique n'est rapidement effectuée.

En outre, nous savons aujourd'hui que la stabilité des peaux dépend directement de leurs techniques et méthodologies de préparation. Beaucoup de peaux conservées dans les musées ont été préparées avec des techniques souvent incomplètes, mal maîtrisées et non documentées. Leur processus de dégradation est alors irrémédiable.

Le Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel ne fait pas exception à cette problématique. Il possède une collection scientifique de peaux plates* réservées à l'étude. Certaines de ces peaux sont dans un mauvais état de conservation. Leur fragilisation, voire leur désintégration est un problème récurrent au MHNN, et il porte atteinte à leur valeur de recherche.

L'étape préalable à toute action de conservation est d'acquérir une meilleure connaissance des procédés de préservation qui ont été appliqués aux peaux et des processus de dégradation qu'ils ont initiés. Dans cette optique d'étude, nous avons sélectionné 17 peaux plates de mammifère conservées au MHNN.

¹ Les termes marqués d'un astérisque sont définis dans le glossaire, p.55-56.

² Boudarel et Didier, 1981, p.7.

Comme c'est le cas pour la majorité des collections d'histoire naturelle, ces peaux sont peu documentées.

Les objectifs de ce travail seront donc : d'identifier les traitements de préservation, d'identifier les processus et les facteurs de dégradation qui ont amené à la dégradation des peaux, d'évaluer leurs stades de dégradation. Le croisement des résultats nous permettra de déterminer l'influence qu'ont eue les procédés de préparation des peaux sur leur état actuel. Au terme de l'étude, nous rappellerons les mesures de conservation adaptées à la conservation des spécimens.

Ce mémoire se présente de la manière suivante : en premier lieu, nous présenterons le Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel et ses collections. Nous nous intéresserons ensuite à l'histoire de la taxidermie et aux différents traitements de préservation des peaux. Nous présenterons les spécimens du corpus d'étude et les méthodes de préservation dont ils ont fait l'objet. Subséquemment, nous identifierons leurs processus et leurs facteurs de dégradation. Pour finir, nous évalueront leurs états de conservation.

1 Présentation du contexte de conservation

1.1 Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel (MHNN³)



*Fig. 1 : Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel
©MHNN, 2016*

Le Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel⁴ est créé en 1835 par Louis Coulon et Louis Agassiz, dans le Collège Latin (actuelle Bibliothèque publique et universitaire). Il s'agit d'ailleurs de l'un des plus anciens musées d'histoire naturelle de Suisse, après celui de Berne. La direction est prise par Paul Godet et jusqu'au début du XX^{ème} siècle, les collections connaîtront un accroissement important. Durant cette période, le Muséum devient l'un des plus importants de Suisse.

En 1917, les collections de géologie sont transférées à l'Institut de géologie de l'Université et en 1918, celles de botanique sont transférées à l'Institut de botanique. Jusqu'en 1960, les collections vont peu s'accroître, notamment à cause du manque d'espace dû aux transferts.

Une nouvelle impulsion va être donnée au Musée, lorsque Archibald Quartier va en prendre la direction. Il va entièrement revoir la muséographie, en faisant construire des dioramas* présentant la faune des mammifères et des oiseaux en Suisse. 120 dioramas présentant environ 200 espèces vont être créés. Cela va s'accompagner par le transfert progressif des collections dans le bâtiment de l'actuel musée, entre 1978 et 2000. Ce bâtiment⁵, datant de 1853, se situe au centre-ville de Neuchâtel. Il possède une surface de 3974 m², dont 2037m² sont réservés à l'accueil et aux salles d'expositions, 863m² sont occupés par l'administration, les laboratoires de recherche et les ateliers et 1074m² par les collections scientifiques et la bibliothèque⁶.

1.2 Collections

Le MHNN regroupe ses collections en plusieurs départements⁷ : l'Entomologie, la Géologie et la Paléontologie, les Mollusques, les Vertébrés et, pour finir, les Archives et artefacts. Ces collections sont nées en 1795, lorsque le général Charles-Daniel de Meuron fit don de son Cabinet d'histoire naturelle à la ville. Il s'agissait alors d'une accumulation d'animaux naturalisés et d'objets ethnographiques.

³ Liste des abréviations, p.56.

⁴ Histoire du muséum, 2016 [en ligne].

⁵ Dufour et Haenni, 1985, p.2.

⁶ Ibidem, p.69.

⁷ Histoire du muséum, 2016 [en ligne].

En 1835, ces collections vont d'ailleurs être séparées entre le Musée d'histoire naturelle et le Musée d'ethnographie.

Elles vont ensuite être progressivement complétées tout au long du XIX^{ème} siècle par des voyages scientifiques, des dons, des échanges avec d'autres musées, des achats et des collections privées. Les nouvelles collections vont également être tributaires des apports de Louis Agassiz, fondateur du musée, et de Johann-Jakob von Tschudi. Ce dernier fut mandaté par le Muséum en 1838 pour faire un voyage autour du monde et récolter des collections d'histoire naturelle. Il restera cinq ans au Pérou, d'où il ramènera, entre autres, plusieurs centaines de Vertébrés. Durant la première moitié du XX^{ème} siècle, l'accroissement des collections va connaître un fort ralentissement, jusqu'en 1960 où les récoltes se dirigeront principalement vers la faune régionale.



Fig. 2 : Spécimen de Grand Pingouin conservé au MHNN ©MHNN, 1985

Le Muséum possède une riche collection dont certaines pièces sont d'un grand intérêt historique et scientifique. Nous pouvons citer un spécimen monté de Grand Pingouin⁸, dont l'espèce est éteinte depuis 1844. Il ne reste plus qu'une dizaine de spécimens de cette espèce dans les musées du monde.

Les collections sont également constituées de spécimens types* de poissons notamment.

Les peaux que nous avons sélectionnées pour notre étude sont des peaux de mammifères, qui font donc partie du département des Vertébrés. Ce département est composé d'environ 20500 spécimens, dont 2500 spécimens de mammifères. La majorité de ces spécimens datent du XIX^{ème} siècle.

2 Présentation de la taxidermie

2.1 Historique et valeurs culturelles

Le mot taxidermie vient du grec *taxis*, qui signifie « ordre, arrangement » et *derma*, « peau ». Il s'agit de « l'art de rendre aux animaux, dépouillés de leurs viscères et de leur chair, l'apparence de la vie, en ne conservant que la peau qui recouvre ces organes, de manière à faire figurer ces animaux sous leurs formes naturelles dans les Musées zoologiques⁹. » En ce sens, il désigne tout le processus de naturalisation des animaux vertébrés, du dépouillage, jusqu'au montage de la peau.

⁸ Dufour et Haenni, 1985, p.14.

⁹ Boudarel et Didier, 1981, p.3.

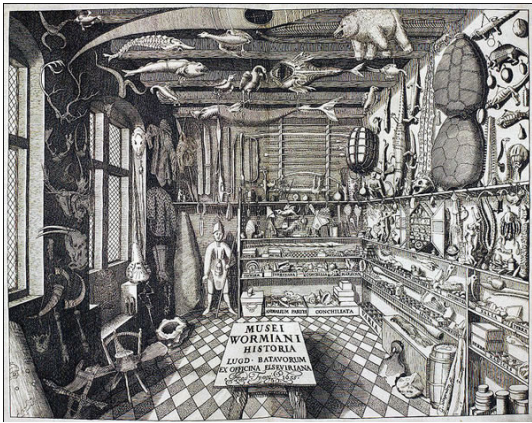


Fig. 3 : Frontispice du Museum Wormianum montrant l'intérieur du cabinet de curiosités de Ole Worm (1588-1654) ©Image Courtesy Smithsonian Libraries

La taxidermie¹⁰ en tant que technique de conservation existe depuis le XVI^{ème} siècle en Europe, notamment grâce à l'émergence des premiers montages de spécimens et des cabinets de curiosités. Ces cabinets servent à conserver et à exposer des collections d'objets d'histoire naturelle et ethnographiques, collectés lors de voyages par leurs riches propriétaires. Le but de ces collections est surtout d'émerveiller les spectateurs grâce à leur rareté et parfois leur étrangeté. En effet, il n'est pas rare de trouver des cornes de licorne, des sirènes et autres objets mythologiques dans ces cabinets.

À partir du XVII^{ème} siècle¹¹, la notion de collection prend un caractère beaucoup plus scientifique avec la mise en place d'une classification du vivant. L'utilisation systématique de la nomenclature binominale* va largement aider à répertorier, nommer et hiérarchiser les espèces vivantes. Les naturalistes prennent part à des expéditions à travers le monde, afin d'inventorier, d'examiner et de décrire les spécimens. Ces derniers sont récoltés et envoyés en Europe, dans le but de constituer des collections d'histoire naturelle. Afin d'assurer la conservation des spécimens, les scientifiques vont chercher activement des techniques pour assurer la pérennité des peaux et de leur montage, ce qui va grandement contribuer au développement de la taxidermie. Les collections d'histoire naturelle deviennent ainsi sujets d'étude et de description.

À la fin du XIX^{ème} siècle¹², les dioramas sont mis en place dans les musées. Il s'agit de mettre en scène les spécimens naturalisés dans des reconstitutions tridimensionnelles de leur environnement naturel. Cette forme de présentation est principalement réservée à l'exposition et donc à la diffusion des connaissances scientifiques auprès du public.

À partir du XX^{ème} siècle¹³, la quantité de peaux accumulées dans les réserves des musées d'histoire naturelle devient tellement importante, que leur montage devient de moins en moins systématique. La plupart des spécimens sont simplement mis en peau* pour la recherche scientifique ou conservés tels quels dans des tiroirs ou des caisses.

¹⁰ Péquignot, 2002, p.35.

¹¹ Ibidem, p.36.

¹² Ibidem, p.38.

¹³ Boudarel et Didier, 1981, p.7.

Ainsi, les valeurs culturelles attribuées aux spécimens d'histoire naturelle se sont multipliées au fil des siècles. Les significations et l'intérêt que représente ce type particulier de bien culturel, et donc les raisons de leur conservation, se sont diversifiés.

Les spécimens ont tout d'abord une valeur de recherche, scientifique. En effet, les collections d'histoire naturelle sont mises à disposition des spécialistes pour l'étude et la recherche. Les spécimens naturalisés ou simplement mis en peau restent des éléments essentiels de la classification des espèces. L'identification de nouvelles espèces inconnues est faite en fonction des anciennes collections de référence et repose sur les données qu'elles fournissent. Les types et les mises en peau¹⁴ permettent aux chercheurs d'avoir accès à des données qualitatives, comme les couleurs du spécimen, ou quantitatives, comme les mesures morphologiques. De plus, depuis la fin du XX^{ème} siècle, l'ADN des spécimens peut être extrait et séquencé, afin de les caractériser et de les comparer moléculairement.

Les collections d'histoire naturelle¹⁵ sont également le témoin des changements qui ont eu lieu dans les milieux naturels et modifiés ces derniers siècles et montrent la nécessité de valoriser et d'analyser le patrimoine naturel. La plupart des espèces disparues ne sont connues que grâce aux spécimens conservés dans les musées d'histoire naturelle. En ce sens, elles possèdent une valeur historique et de rareté.



*Fig. 4 : Diorama du tigre au Musée zoologique de Finlande d'Helsinki
©Finnish Museum of Natural History, 2016*

Les montages de taxidermie¹⁶ utilisés autrefois à des fins scientifiques sont principalement employés, aujourd'hui, dans un but muséographique. Ils ont donc une valeur pédagogique. Leur exposition permet de vulgariser les résultats des recherches scientifiques pour les transmettre au public, lui présenter la diversité de la Nature et le sensibiliser à son environnement. Les dioramas ont été conçus dans la même optique. Nous pouvons toutefois leur attribuer une valeur esthétique supplémentaire, car ces dioramas sont le fruit d'un travail souvent très poussé sur le décor, l'éclairage et les

ambiances visuelles et sonores. Il en est de même pour les spécimens naturalisés, car bien qu'ils doivent répondre à des exactitudes anatomiques, ils doivent également transmettre l'élégance des attitudes de l'animal et donner l'apparence de vie, ce qui nécessite une sensibilité esthétique de la part du taxidermiste.

¹⁴ Gagnier, 2002, p.48.

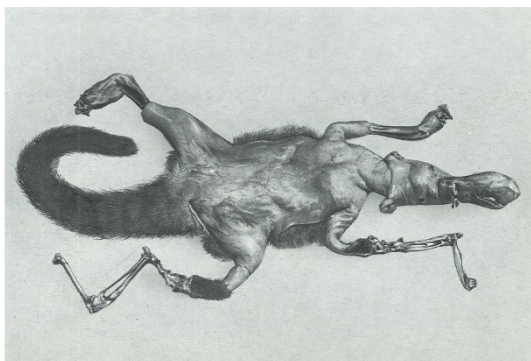
¹⁵ Ibidem, p.49.

¹⁶ Ibidem, p.46.

2.2 Traitements de préservation des spécimens

Les traitements développés dans cette partie sont loin d'être exhaustifs. Nous avons choisi de principalement décrire les traitements de préservation dont nous savons ou suspectons qu'ils ont été appliqués sur les spécimens de notre corpus d'étude. Une description de la structure de la peau est consultable en annexe (Annexe 6, p.96-97).

2.2.1 Dépouillage



*Fig. 5 : Peau de mammifère à l'étape du dépouillage
©Éditions Lechevalier, Boudarel et Didier, 1981*

Cette étape a pour but de retirer la peau du corps de l'animal. Pour les petits mammifères, une incision est effectuée sur la peau de la pointe du sternum jusqu'à l'anus¹⁷, ainsi que sur toute la longueur de la plante des pieds. Chez les grands mammifères, elle est pratiquée de la pointe du menton à l'extrémité de la queue, puis de la pointe des pieds jusqu'à rejoindre la ligne médiane en angle droit. La peau est ensuite décollée du corps. Les membres postérieurs sont désarticulés au niveau de la hanche et les membres antérieurs, au niveau de

l'épaule. Les chairs sont enlevées des os. Ces derniers peuvent être conservés attachés à la peau ou retirés. Il est tout de même recommandé de les enlever¹⁸, car il est difficile de les dégraisser entièrement. Un tannage aurait pour effet de fixer sur les os les graisses qui risqueraient d'imprégner la peau à long terme.

2.2.2 Dégraissage

Il s'agit d'enlever les tissus graisseux de la peau en raclant le côté chair* avec un scalpel, un grattoir ou un couteau¹⁹. Cela permet également d'amincir la peau. Il s'agit d'une étape délicate, car il y a des risques de perforer la peau ou de la déchirer. La peau peut être saupoudrée de plâtre, de cendres ou de sciures pour éviter que la graisse ne glisse sur le poil et y laisse des taches. La peau est ensuite elle-même dégraissée par bains successifs²⁰. Une peau correctement dégraissée rendra les traitements tannants plus efficaces.

¹⁷ Boudarel et Didier, 1981, p.39.

¹⁸ Larsen, 1945, p.81.

¹⁹ Boudarel et Didier, 1981, p.41.

²⁰ Cuisin, 2004, p.16.

2.2.3 Préservation des peaux

Séchage : La peau est simplement séchée à l'air²¹, de préférence exposée au soleil, jusqu'à ce qu'elle soit entièrement déshydratée. Parfois, des poudres absorbantes sont ajoutées pour accélérer la déshydratation. Il s'agit de l'une des plus anciennes méthodes de préservation des peaux. L'inconvénient est qu'un séchage trop lent provoque le développement de bactéries qui cause la putréfaction de la peau. Le séchage de la peau²² est réversible, car celle-ci peut être réhydratée par reverdissage. Néanmoins le processus de décomposition est réamorcé, ce qui provoque la chute des poils. Afin de rendre la matière imputrescible²³, la peau peut être fixée préalablement avec une solution d'acide, de sublimé corrosif (HgCl_2) ou de sels.

Salage : Le salage²⁴ peut s'effectuer à sec en appliquant uniformément du chlorure de sodium sur le côté chair de la peau fraîchement dépouillée. Le sel va naturellement s'humidifier en absorbant l'eau liée* présente dans la peau. Les bactéries, n'ayant plus d'eau à disposition pour se développer, vont stopper leur activité. Cela sous-entend que dès que la peau est réhydratée l'activité reprend.

Le salage²⁵ peut également être réalisé avec une solution aqueuse de chlorure de sodium. Il prend alors

le nom de saumurage. Avant de plonger la peau dans la solution, les deux côtés en sont frottés. Après quatre jours d'imprégnation, la peau est séchée en la frottant avec du sel sec. Il est très difficile de réhydrater et de redonner de la souplesse aux peaux conservées au sel.



*Fig. 6 : Cuve à saumure et peaux de mammifères
©Éditions de la Frégate, Larsen, 1945*

Préservatifs : Les préservatifs ne sont pas des substances tannantes. Il s'agit de substances antiseptiques qui possèdent des propriétés conservatrices, notamment en prévenant les attaques d'insectes et en faisant sécher rapidement la peau, ce qui évite la perte de poils.

L'arsenic est le préservatif le plus utilisé par les taxidermistes entre le XIX^{ème} et la deuxième moitié du XX^{ème} siècle, jusqu'à son interdiction progressive en Europe.

²¹ Covington, 2009, p.76.

²² Ibidem, p.78.

²³ Vallée, 2000, p.18.

²⁴ Covington, 2009, p.78.

²⁵ Boudarel et Didier, 1981, p.41.

En effet, l'invention du savon arsenical par Jean-Baptiste Bécoeur à la fin du XVIII^{ème} siècle²⁶ a été révolutionnaire dans les techniques de la taxidermie. Jusque-là, les spécimens naturalisés ne pouvaient généralement pas être conservés plus de trois ou quatre ans. La principale cause de cette dégradation rapide était l'attaque des peaux par les insectes. Le savon arsenical²⁷, servant de répulsif, aide désormais à pallier ce problème. Ce savon se présente sous forme de pâte composée de camphre, d'arsenic en poudre, de savon blanc, de sel de tartre et de chaux en poudre. Il est appliqué sur le côté chair de la peau encore humide et correctement dégraissée.

2.2.4 Reverdissage

Il consiste à réhydrater progressivement une peau²⁸ conservée par séchage ou par salage en l'immergeant dans l'eau, afin de lui redonner de la souplesse. Dans le but d'éviter un début de putréfaction, il est recommandé d'ajouter un bactéricide au bain.

2.2.5 Picklage

Il s'agit de plonger la peau dans un bain aqueux auquel ont été ajoutés du chlorure de sodium et de l'acide sulfurique ou chlorhydrique²⁹. Le pH de ce bain acide est environ de 2. Cette étape a pour objectif de fixer par liaisons hydrogène* des molécules d'eau aux groupes polaires du collagène, afin de faire gonfler la peau, de favoriser la fixation des agents tannants et d'assurer leur pénétration uniforme sur toute la surface de la peau. Le gonflement de la peau va également aider à la désépaissir mécaniquement.

Le phénomène de gonflement³⁰ s'initie lorsque le pH de la peau s'éloigne du point isoélectrique qui est d'environ 5. Le point d'équilibre ionique, appelé point isoélectrique est défini comme le pH d'une solution auquel la charge nette d'une protéine est nulle. Le collagène est amphotère. Il comprend à la fois des groupements acides et des groupements basiques. En milieu neutre, ces groupements se compensent. Pour le tanneur, il s'agit d'une valeur importante. Elle définit le pH au-dessus duquel la peau peut fixer des composés cationiques et le pH au-dessous duquel elle fixe des composés anioniques. Le point isoélectrique du collagène va être modifié en fonction du tannage utilisé. Il varie entre 4.7 et 8.

2.2.6 Tannage

Le principe du tannage³¹ est d'établir des liaisons covalentes entre les agents tannants et la matière organique, pour assurer une stabilité physique, biologique et chimique à la peau.

²⁶ Thiney, 2014, p.60.

²⁷ Ibidem, p.58.

²⁸ Jullien et Walter, 2002, p.14.

²⁹ Thiney, 2014, p.160.

³⁰ Chahine, 2013, p.38.

³¹ Cuisin, 2004, p.16.

Tannage végétal : La peau est tannée dans des bains d'écorces, de feuilles, de fruits, de gommes, de bois...

Tannage à la fumée³² : La peau est tendue à proximité d'un feu de bois vert, afin qu'elle se déshydrate et que le collagène forme des liaisons stables avec les aldéhydes* et les phénols* dégagés par la fumée. Cette méthode tend à rigidifier la peau, c'est pourquoi elle est ensuite huilée pour retrouver sa souplesse. Les spécimens tannés à la fumée sont également résistants à l'eau et leur derme brunit.

Semi-tannage à l'alun : Les peaux tannées à l'alun sont immergées dans un bain aqueux d'alun et de chlorure de sodium³³. L'alun est un sulfate double d'aluminium et de potassium.

Durant le processus, le sulfate d'aluminium est hydrolysé partiellement par l'eau. Il se décompose en hydroxyde d'aluminium et en acide sulfurique. Comme nous l'avons vu précédemment, l'acide sulfurique va faire gonfler le collagène. Des sulfates basiques vont se former grâce au chlorure de sodium, au sulfate d'aluminium non dissocié et au sulfate de potassium. Ces sulfates basiques vont précipiter dans les fibres de collagène, néanmoins ils restent solubles dans l'eau. Par conséquent, ce traitement est réversible et souvent qualifié de semi-tannage. Les peaux tannées à l'alun sont souvent dures, car les fibres restent agglomérées et elles sont sensibles aux variations d'humidité et de température. Pour donner plus de souplesse à la peau, des nourritures* peuvent être ajoutées au bain.

Durant les voyages³⁴, il est conseillé d'utiliser une solution aqueuse d'alun en poudre et de chlorure de sodium, appliquée directement sur la peau côté poils et côté chair. La peau est ensuite étalée sur le dos. Les pattes, la tête et la queue sont repliées sur la face interne, puis le tout est enroulé. La peau est laissée ainsi à l'ombre et au frais, puis séchée sur une branche ou une corde, jusqu'à dessiccation* complète. Parfois, la peau est encore badigeonnée avec du savon arsenical. De retour de voyage, elle est trempée dans une solution d'alun et de chlorure de sodium pour compléter le tannage.

Aujourd'hui, l'alun a été remplacé par le sulfate d'aluminium associé à des acides organiques.

Tannage au chrome³⁵ : La peau est immergée dans des bains aqueux de chlorure ou de sulfate de chrome. L'oxyde basique de chrome constituant la molécule va former des complexes stables avec le collagène de la peau. Le tannage peut s'effectuer dans un ou plusieurs bains.

Ce type de tannage donne une couleur bleue à la peau. Actuellement, il s'agit d'un procédé couramment utilisé dans l'industrie du tannage.

³² Chahine, 2013, p.93.

³³ Ibidem, p.132.

³⁴ Boudarel et Didier, 1981, p.45.

³⁵ Jullien et Walter, 2002, p.15.

Tannage synthétique³⁶ : Le tannage est réalisé au moyen de produits chimiques complexes à base de formol, d'urée, de naphthaline, de phénol, d'aluminium ou d'hydrocarbures. Ils ont l'avantage d'avoir une bonne vitesse de pénétration dans la peau et de former des liaisons stables. La peau n'est pas colorée.

2.2.7 Neutralisation

La peau est mise dans un bain de neutralisation³⁷ aqueux de chlorure de sodium et d'un composé basique tel que le bicarbonate de sodium. Elle atteint un pH de 4.7 à 8, selon le traitement.

2.2.8 Étapes de finition

La peau est nourrie au moyen d'huiles, pour lui donner de la souplesse. Aujourd'hui, des huiles synthétiques sont utilisées, mais avant des graisses végétales étaient employées. Après cette opération, la peau est souvent mise dans un tonneau contenant des sciures de bois afin de l'assouplir et de dégraisser et donner de la brillance à la fourrure. Pour achever le dégraissage, le tanneur peut ajouter des solvants à la sciure de bois.

2.2.9 Montage

Une fois la peau préparée, celle-ci peut être conservée telle quelle ou être montée. Pour cette étude, nous n'allons pas développer cette étape.

2.3 Précautions à prendre lors des manipulations de spécimens d'histoire naturelle

Comme nous l'avons vu précédemment, les spécimens conservés dans les musées d'histoire naturelle peuvent être traités avec un préservatif à base d'arsenic. D'ailleurs, nous savons que huit des peaux sélectionnées pour l'étude ont été enduites de savon arsenical (Chapitre 3.3.4, p.25).

L'arsenic³⁸ est un agent chimique dangereux, qui peut être très toxique pour l'Homme. Il est donc important de se protéger en portant des équipements de protection individuelle (EPI)³⁹, lors du transport, de l'examen et des prises photographiques des spécimens, mais également durant les prises d'échantillons pour les analyses.

L'équipement de protection individuelle est constitué de gants en nitrile ou PVC, d'un masque à poussière FFP3 et d'une combinaison intégrale en Tyvek® (Annexe 1, Fig. 22, p.62).

Lors de la manipulation des échantillons, il faudra également mettre des gants en nitrile ou en PVC et nettoyer les outils avec de l'éthanol après chaque utilisation.

³⁶ Jullien et Walter, 2002, p.15.

³⁷ Thiney, 2014, p.162.

³⁸ De Beaulieu, 2010, p.92.

³⁹ Ibidem, p.134.

3 Présentation du corpus d'étude

La collection de Mammifères du MHNN est composée de dioramas, de montages de peaux et de montages ostéologiques, de mises en peau et de peaux plates. Les peaux plates⁴⁰ font partie de la collection scientifique du Musée. Elles sont réservées à l'étude et ont principalement une valeur scientifique, de recherche. Certaines de ces peaux sont dans un mauvais état de conservation, notamment à cause de la nature et de la qualité de leurs préparations. Leur fragilisation, voire leur désintégration est un problème récurrent au MHNN, mais plus globalement dans tous les Musées d'histoire naturelle.

Dans le but d'identifier les facteurs favorisant la dégradation des peaux, nous avons sélectionné 17 spécimens représentatifs de la collection de peaux de mammifères.

3.1 Critères de choix des spécimens

Les 17 spécimens ont été sélectionnés avec Martin Zimmerli selon les critères suivants :

- Les peaux sont non bourrées et non montées. Les matériaux de rembourrage et de montage présentent des facteurs supplémentaires de dégradation⁴¹ qui ne seront pas traités dans cette étude.
- Les dates de préparation des peaux sont les plus variées possible. Elles s'étendent de la première moitié du XIX^{ème} siècle jusqu'à la fin du XX^{ème} siècle. Cela nous garantit une variété des méthodes de préparation des peaux, puisque ces méthodes changent selon les époques. De plus, nous pourrons comparer les états de dégradation des spécimens anciens avec ceux des spécimens plus récents.
- Les états généraux de conservation des peaux sont visuellement les plus variés possible. Ils vont d'un bon état de conservation pour certaines, jusqu'à un état inacceptable pour d'autres. Les définitions des différents états de conservation sont en annexe (Annexe 3, p.69).

3.2 Identification et constat d'état des 17 spécimens

Les peaux sélectionnées pour l'étude sont conservées dans la réserve Mammifère du MHNN, occupant les combles du Musée, au 3^{ème} étage. Elles sont stockées dans les tiroirs d'armoires métalliques mobiles, de type Compactus® (Annexe 1, Fig.23 et 24, p.62).

Des numéros d'identification propres à l'étude ont été attribués aux 17 spécimens sélectionnés, allant de 1 à 17, dans l'ordre chronologique de leurs années de préparation. L'année de préparation des spécimens est parfois connue. Dans le cas contraire, elle correspond à l'année de don du spécimen ou à la période de vie du légataire. Les peaux sont ainsi datées de 1828 à 1991.

⁴⁰ Zimmerli, 2016.

⁴¹ Bénesteau, 2015.

Aucune information de datation n'a été obtenue pour un des spécimens. Nous avons donc décidé de lui attribuer le numéro 17.

N° spécimen	Numéro d'inventaire MHNN
1	94.1933
2	94.2435
3	94.1117
4	94.1389G
5	94.1338
6	94.1682A
7	94.1418B
8	94.2660A
9	94.1804
10	94.1710
11	94.2493
12	94.1681
13	94.1706
14	94.2031
15	94.2534
16	94.2536
17	94.2960

Tableau 1 : Mise en relation des numéros d'identification des spécimens, propres à l'étude, avec leurs numéros d'inventaire du MHNN ©HECR Arc, Goetz, 2016

Dans un premier temps, nous avons procédé à l'identification du spécimen en nous aidant des informations disponibles sur la base de données du Musée. Elles donnent des renseignements sur le numéro d'inventaire du spécimen, sur la famille, l'espèce, le sexe et le lieu de collecte de l'animal, sur la date de préparation et le légataire de la peau (Annexe 2, Tableau 13, p.63).



Fig. 7 : Spécimen n°6, côté chair ©HECR Arc, Goetz, 2016



Fig. 8 : Spécimen n°6, côté poils ©HECR Arc, Goetz, 2016

Les 17 spécimens ont ensuite fait l'objet d'un examen individuel.

Nous avons d'abord effectué un examen macroscopique, à l'œil nu, côté chair et côté poils des peaux.

Au niveau microscopique, nous avons observé l'aspect de surface du derme avec un microscope numérique portable (Dino-Lite) à grossissement d'environ 40x, puis nous avons examiné les fibres de collagène immergées dans l'eau sous microscope optique (Zeiss Axioskop 2 MAT), à grossissement de 100 à 200x. Durant cet examen, des altérations récurrentes ont été relevées et ont été intégrées dans une fiche type d'identification et de constat d'état des spécimens. Un exemplaire de fiche est disponible en annexe et les autres sont consultables sur clé USB (Annexe 3, p.78-80 ; Annexe 7, p.102). Un glossaire visuel des altérations est aussi intégré en annexe (Annexe 3, p.70-77).

Altérations structurelles	Rigide
	Cassure
	Déchirure
	Trou
	Plissement
	Manque
	Parties mobiles
	Translucide
Altérations de surface	Jaunissement
	Brunissement
	Fendillement
	Délamination
	Effritement
	Efflorescence
	Dépôt poudreux
Altérations des poils	Ternissement
	Décoloration
	Pelage parsemé
	Dépôts exogènes
Altérations microscopiques	Effilochement
	Déroulement
	Aplanissement
	Fragmentation
	Rétrécissement
	Agglomération
	Aspect gélatineux
	Dissolution

Tableau 2 : Altérations types observées sur les spécimens étudiés ©HECR Arc, Goetz, 2016

Pour finir, nous avons évalué l'état de dégradation des spécimens (passable, moyen, mauvais, inacceptable). Au terme de l'étude, nous pourrions ainsi comparer les états de dégradation, évalués visuellement, avec ceux définis avec des méthodes scientifiques.

Les examens et analyses complémentaires effectués au cours de l'étude sont également renseignés dans les fiches d'identification et de constat d'état de chaque spécimen. Elles indiquent les méthodes utilisées, la date à laquelle elles ont été effectuées, la zone de prélèvement, la quantité d'échantillons prélevée et les résultats obtenus.

3.3 Identification des traitements de préservation

3.3.1 Méthode par spectrométrie de fluorescence X (FRX)



*Fig. 9 : Utilisation de l'analyseur FRX sur une peau plate
©HECR Arc, Goetz, 2016*

Des analyses FRX ont été réalisées sur les 17 peaux sélectionnées pour l'étude. Ces analyses ont été effectuées avec l'analyseur de fluorescence X portable disponible à la Haute École Arc. En plus d'être un moyen d'analyse facilement disponible dans notre cas et rapide, il est également non destructif et non invasif, puisqu'il ne nécessite pas de prise d'échantillons sur les spécimens.

L'objectif des analyses était de détecter certains éléments⁴² présents dans les traitements de préservation généralement utilisés en taxidermie, afin de déterminer quels traitements ont été réalisés sur chaque peau du corpus étudié. Ainsi, la détection d'aluminium (Al) indique que les peaux ont été traitées à l'alun, le chrome (Cr) est détecté lorsqu'elles ont été tannées au chrome et l'arsenic (As) suggère que le savon arsenical a été appliqué comme substance préservatrice sur les spécimens. Dans notre cas, les analyses effectuées sont qualitatives. Nous allons donc identifier la présence ou l'absence d'un élément, mais nous n'allons pas déterminer la quantité.

La détection s'est effectuée côté chair, entre les deux membres antérieurs de chaque spécimen (Annexe 4, Fig. 30, p.84). Des exemples des spectres de fluorescence X obtenus se trouvent en annexe et tous les autres sont consultables sur clé USB (Annexe 5, Graphe 6 et 7, p.92-93 ; Annexe 7, p.102).

3.3.2 Méthode par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en réflexion totale atténuée (IRTF-RTA)

Des analyses IRTF ont été réalisées sur onze des peaux sélectionnées pour l'étude. En effet, la méthode IRTF peut parfois prendre beaucoup de temps et nous n'avions qu'une journée pour réaliser ces analyses. Nous avons donc sélectionné onze spécimens qui semblaient les plus représentatifs du corpus, mais qui présentaient également des altérations plus spécifiques.

⁴² Thomson *et al.*, 2006, p.59.

De plus, nous avons essayé de sélectionner des spécimens dont l'état de dégradation et les valeurs de pH étaient les plus variés possible (Chapitre 4.2, p.33). Ainsi, les spécimens 1, 5, 6, 7, 9, 11, 12, 14, 15, 16 et 17 ont fait l'objet d'analyses IRTF.

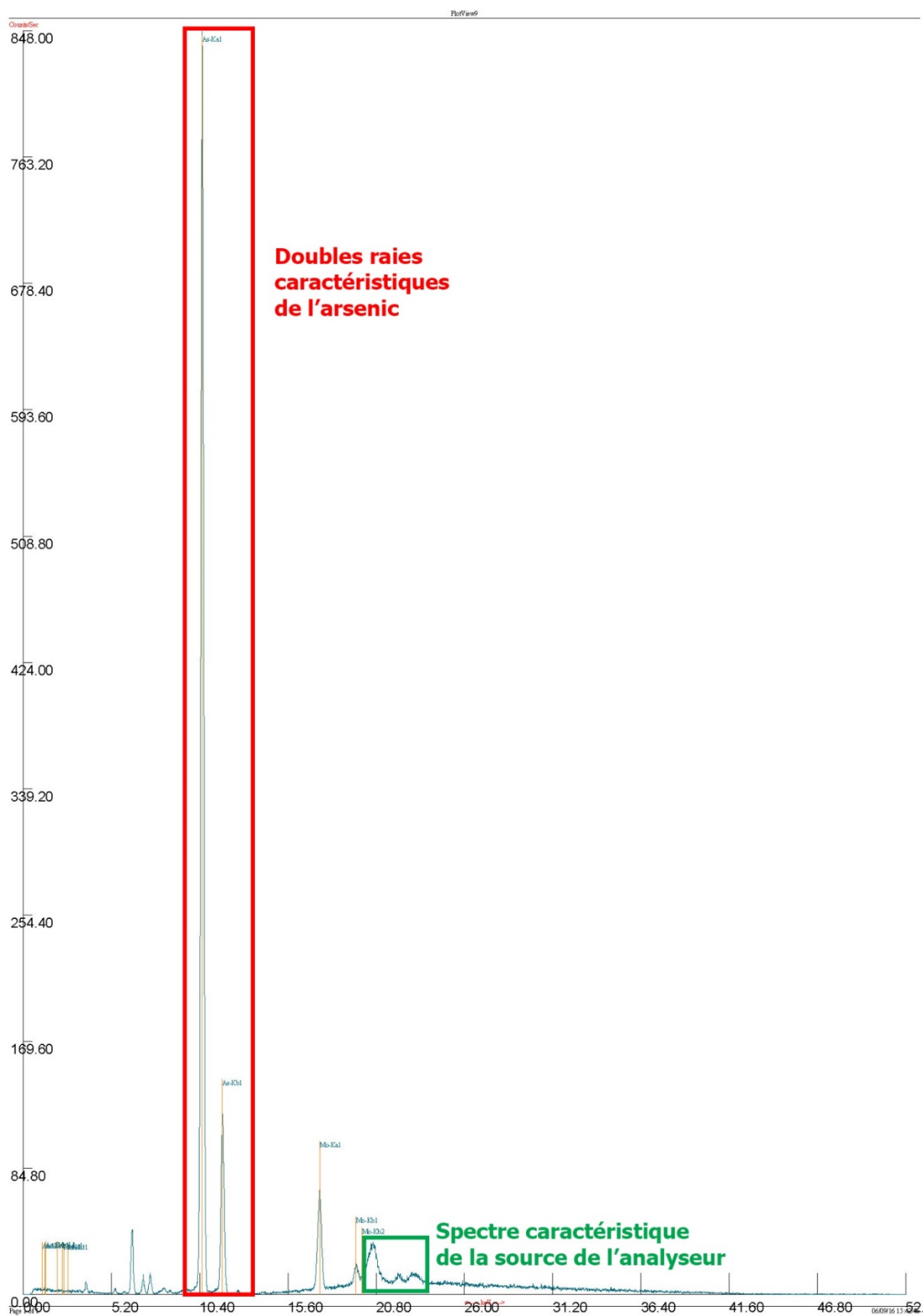
En plus d'être un moyen d'analyse facilement disponible dans notre cas, la spectroscopie IRTF est également non destructive et ne nécessite qu'une faible quantité d'échantillons (<2 mg). Elle fournit des informations qualitatives, grâce à la caractérisation des groupes chimiques présents dans le matériau analysé. De plus, elle permet d'analyser des matériaux aussi bien organiques qu'inorganiques. Au départ, les analyses IRTF étaient effectuées pour déterminer la nature de la dégradation des peaux étudiées (Chapitre 4.1, p.27), mais finalement les résultats obtenus ont été également d'une grande aide pour l'identification de leurs traitements de préservation.

Environ 2 mg d'échantillons ont été prélevés côté chair de chaque peau analysée (Annexe 4, p.81-82). Le protocole d'analyse est décrit en annexe (Annexe 4, p.86-87). Des exemples des spectres IRTF obtenus se trouvent en annexe et tous les autres sont consultables sur clé USB (Annexe 5, Graphe 8,9 et 10, p.94-95 ; Annexe 7, p.102).

3.3.3 Résultats

N° spécimen	Analyses FRX	Analyses IRTF-RTA	Traitements supposés
1	As	Stéarate de calcium Calcite	Savon arsenical, Séchage à l'air avec matériau fibreux absorbant
2	As		Savon arsenical, Tannage à la fumée
3	As, Hg		Savon arsenical, Tannage à la fumée
4	As		Savon arsenical, Séchage à l'air
5	As	Alun	Semi-tannage à l'alun, Savon arsenical
6	-	Alun	Semi-tannage à l'alun
7	As	-	Savon arsenical
8	As		Savon arsenical, Semi-tannage à l'alun ?
9	-	-	?
10	-		?
11	-	Farine de bois	Lubrification de la peau, Dégraissage de la fourrure avec sciure de bois et solvant
12	As	Monooléate de glycéryle	Savon arsenical, Huile de nourriture composée de monooléate de glycéryle
13	-		Séchage à l'air ?
14	-	-	Salage ou saumurage
15	-	-	Séchage à l'air ?
16	-	-	?
17	-	Alun	Semi-tannage à l'alun

Tableau 3 : Récapitulatif des résultats de l'identification des traitements de préservation ©HECR Arc, Goetz, 2016



Graph 1 : Spectre du spécimen 1 avec détection d'arsenic ©HECR Arc, Goetz, 2016

Les résultats de l'analyse FRX montrent la présence d'arsenic sur huit des peaux. Même si nous ne cherchions pas cet élément, il faut tout de même signaler la détection de mercure (Hg), sur le spécimen 3, en raison de sa toxicité.

Certains autres spécimens avaient des spectres de fluorescence X présentant des pics d'arsenic de très faible intensité, mais nous avons décidé de ne pas tenir compte des pics détectés en dessous de 10 coups par seconde, car nous jugeons que cela représente une part trop infime de l'élément⁴³. Ces pics peuvent être le fait d'une contamination des peaux par d'autres spécimens dans les réserves, d'une contamination des films plastiques dans lesquels sont conservées les peaux ou de particules d'arsenic qui se seraient déposées sur le film Mylar® devant la fenêtre du détecteur durant les analyses.

En plus des raies caractéristiques de la source de l'analyseur (Graphe 1), les spectres obtenus présentent dans la plupart des cas les raies caractéristiques du molybdène (Mo), mais parfois aussi celles du nickel (Ni) et du fer (Fe). Ces résultats ne sont pas pris en compte, car il s'agit d'éléments qui composent la table en acier inoxydable sur laquelle ont été faites les analyses. La plupart des peaux étant fines, l'analyseur a également détecté ces éléments. Le spectre de cette table est mis en annexe (Annexe 5, Graphe 6, p.92).

Les éléments Al et Cr n'ont pas été détectés durant l'analyse.

Les analyses IRTF ont indiqué la présence d'un matériau protéinique pour quasiment tous les spécimens. Comme le derme de la peau est constitué de fibres de collagène essentiellement⁴⁴, nous pouvons déduire que le signal provient du collagène. D'ailleurs pour 5 des spécimens, il s'agit de l'unique composé détecté. Le spectre caractéristique du collagène n'a pas été mis en évidence pour les spécimens 11, 12 et 17. Cela est lié au fait que les spectres du collagène sont masqués par les spectres des autres éléments présents.

Sur trois des spécimens, nous avons trouvé de l'alun.

Enfin, les analyses ont permis d'identifier du stéarate de calcium et de la calcite sur le spécimen 1, les composés de la farine de bois sur le spécimen 11 et du monooléate de glycéryle sur le spécimen 12.

Comme les analyses IRTF ont indiqué la présence d'alun sur certaines des peaux, nous avons réessayé d'analyser par FRX deux échantillons prélevés sur des spécimens (n°5 et n°17) dont nous savions qu'ils avaient été traités à l'alun. Pour cela, nous avons utilisé l'analyseur de fluorescence X portable en chambre hermétique (Annexe 4, p.85) et nous avons augmenté la durée d'analyse à 4 minutes. Ce nouveau protocole n'a, encore une fois, pas permis de détecter l'élément Al.

L'analyseur de fluorescence X portable n'est donc pas un outil adapté à la détection de peaux traitées à l'alun. L'élément Al ayant une masse atomique très faible, l'analyseur n'arrive pas à le détecter.

⁴³ Schenkel, 2016.

⁴⁴ Chahine, 2013, p.18.

Pour cela, il faudrait utiliser un spectromètre de fluorescence X de laboratoire qui a un niveau de précision beaucoup plus élevé pour ce genre d'analyses⁴⁵.

3.3.4 Interprétation

L'identification des traitements de préservation des peaux est réalisée en fonction des résultats obtenus par analyses FRX et IRTF, mais également grâce aux observations macroscopiques et microscopiques effectuées sur les peaux.

Les analyses FRX indiquent que huit spécimens ont été préservés avec du savon arsenical. La peau du spécimen 3 a peut-être été préalablement fixée avec du chlorure de mercure.

Bien que nous ne souhaitions pas obtenir de résultats semi-quantitatifs, nous pouvons dire que les spécimens 1, 2 et 4 sont ceux qui présentent la plus grande proportion d'arsenic (Annexe 2, Tableau 15, p.64). Elles présentent un taux d'arsenic situé entre 0.6 et 1.7 %, ce qui correspond à un niveau modéré à élevé⁴⁶. Il s'agit de trois des quatre spécimens qui ont été préparés sur le terrain, lors d'expéditions au XIX^{ème} siècle.



Fig. 10 : Fibres à la surface de la peau indiquant un bourrage du spécimen 1 ©HECR Arc, Goetz, 2016

Ces peaux ont probablement été séchées par déshydratation au soleil ou tannées à la fumée. Les trous de suture et les fibres visibles à la surface du côté chair du spécimen 1 laissent penser qu'il a séché à l'air, bourré d'un matériau absorbant.

Le bourrage a également servi à lui donner du volume.

Nous pensons que les peaux 2 et 3 ont été tannées à la fumée, et que le spécimen 4 a été séché à l'air, comme l'indiquent leurs couleurs brunes et jaunes (Tableau 12, p.45) et les trous laissés par les fils qui ont servi à les tendre sur un cadre. Ces quatre peaux ont également été abondamment enduites de savon arsenical afin d'éviter la décomposition des tissus organiques et les attaques d'insectes.



Fig. 11 : Peau brune et fil indiquant un tannage à la fumée pour le spécimen 3 ©HECR Arc, Goetz, 2016

⁴⁵ Schenkel, 2016.

⁴⁶ Dangeon, 2014, p.27.

En outre, seulement un des huit spécimens traités avec du savon arsenical a été préparé après 1960. Son taux est de 0.25 %, ce qui est considéré comme un niveau modéré. Enfin, les quatre autres spécimens ont des taux se situant en dessous de 0.05 % d'arsenic, ce qui représente un état de trace. Notons qu'aucune des peaux préparées après l'interdiction de l'utilisation de l'arsenic, en 1986⁴⁷, en Suisse, n'a été traitée à l'arsenic.

Les analyses IRTF ont permis de détecter la présence d'alun sur trois spécimens, ce qui nous indique qu'ils ont été tannés à l'alun. Le spécimen 8 semble avoir subi le même traitement que le spécimen 17. Le côté chair des deux spécimens est tourné vers l'extérieur et ils étaient stockés ensemble dans les réserves. Ils ont donc peut-être été tous les deux tannés à l'alun, à la même période. L'absence de datation du spécimen 17 ne nous permet pas de confirmer cette hypothèse.



Fig. 12 : Spécimen n°8 ©HECR Arc, Goetz, 2016



Fig. 13 : Spécimen n°17 ©HECR Arc, Goetz, 2016

Le stéarate de calcium détecté sur le spécimen 1 est un composé résultant du réchauffement de l'acide stéarique, en présence d'oxyde de calcium⁴⁸. L'acide stéarique est un acide gras saturé utilisé dans la fabrication du savon, mais également présent dans la graisse animale. L'oxyde de calcium est le composé de la chaux, ingrédient du savon arsenical (Chapitre 2.2.3, p.15). Nous pouvons donc déduire que le stéarate de calcium est soit un produit de dégradation des composés du savon arsenical, soit le produit d'une réaction de la chaux du savon avec les graisses naturelles du spécimen.

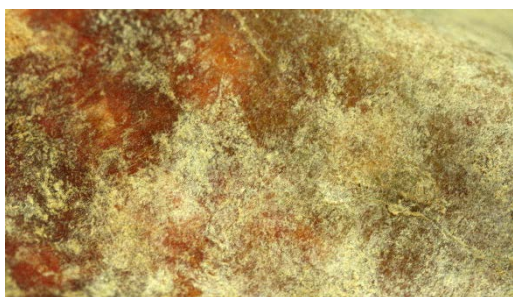


Fig. 14 : Dépôt poudreux blanc visible à la surface du côté chair de la peau 1 ©HECR Arc, Goetz, 2016

La présence de calcite (CaCO_3) peut s'expliquer par la carbonatation de la chaux (CaO) du savon arsenical. En effet, en présence de vapeur d'eau, le dioxyde de carbone (CO_2) présent dans l'air va se fixer à la chaux qui va se transformer en calcite. Le dépôt poudreux visible à la surface du côté chair de la peau 1 peut donc être du stéarate de calcium ou de la calcite.

⁴⁷ Conseil fédéral suisse, 2004 [en ligne].

⁴⁸ Nora et Koenen, 2002 [en ligne].

La farine de bois, détectée et visible à l'œil nu sur le spécimen 11, indique que la fourrure a été dégraissée avec des sciures de bois et peut-être avec un solvant. Cela nous laisse donc penser que la peau a préalablement subi un traitement de lubrification (Chapitre 2.2.8, p.17).

Le monooléate de glycéryle⁴⁹, identifié sur le spécimen 12, est un surfactif* utilisé en émulsion aqueuse. Il s'agit d'une huile de nourriture qui sert à lubrifier la peau. L'application de la préparation s'effectue généralement en bain sur une peau humide.



Aucun élément ou composé n'a été détecté sur la peau 14, néanmoins les épais cristaux visibles côté chair indiquent qu'elle a sans doute été traitée par salage ou par saumurage. Le chlorure de sodium⁵⁰ est transparent aux rayons infrarouges, ce qui explique que le composé n'a pas été détecté. Les trous présents sur le pourtour du spécimen indiquent que la peau a ensuite été tendue avec des épingles et séchée.

Fig. 15 : Épais cristaux visibles à la surface du derme du spécimen 14 ©HECR Arc, Goetz, 2016

Les peaux sur lesquelles aucun tannin n'a été détecté n'ont peut-être pas été tannées, mais sans analyse complémentaire aucune affirmation ne peut être formulée.

En outre, le fait qu'aucun des spécimens n'ait été tanné au chrome n'est pas surprenant, car aucune des peaux n'a la couleur bleue caractéristique de ce type de tannage.

4 Pronostic

4.1 Identification des processus de dégradation par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en réflexion totale atténuée (IRTF-RTA)

4.1.1 Méthode

Comme nous l'avons mentionné précédemment (Chapitre 3.3.2, p.21), onze des peaux ont fait l'objet d'analyses IRTF, dont huit présentent les bandes d'absorption caractéristiques du spectre du collagène. Nous ne pourrions donc identifier les processus de dégradation que grâce aux spectres des spécimens 5, 6, 7, 9, 11, 14, 15 et 16.

⁴⁹ Chahine, 2013, p.164.

⁵⁰ Brambilla, 2016.

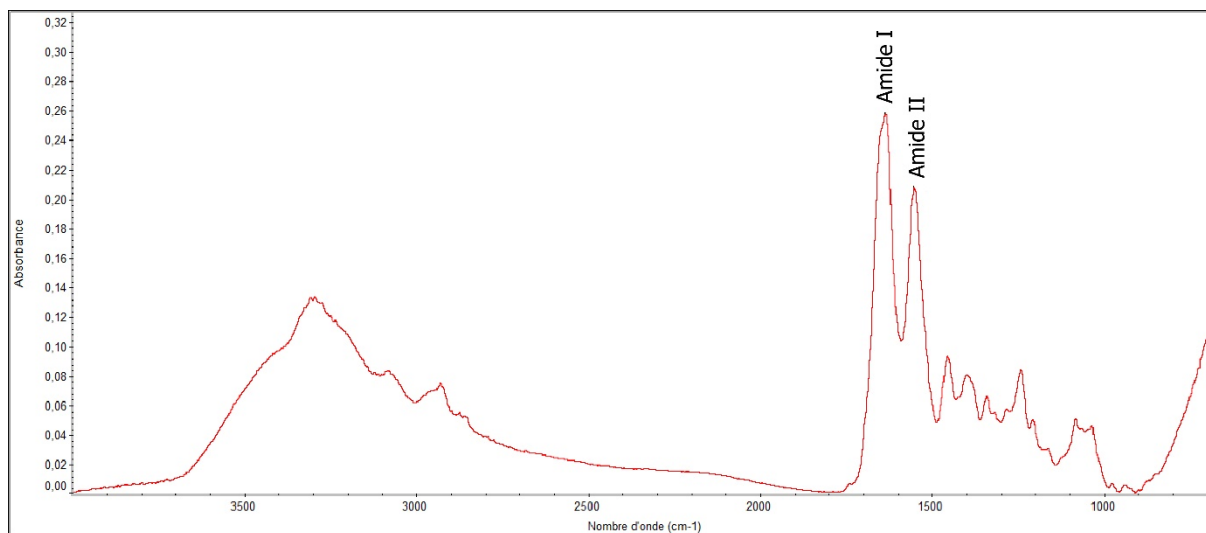
Afin d'identifier les processus de dégradation des peaux de ces derniers spécimens, nous avons examiné l'intensité et la position des bandes d'absorption amide I et amide II caractéristiques du spectre du collagène, car elles peuvent indiquer des modifications de la protéine⁵¹. Grâce à cette méthode, nous pouvons également avoir des indications sur le stade de dégradation physique et chimique des échantillons.

Les trois majeurs processus de dégradation du collagène sont la dénaturation, l'hydrolyse et l'oxydation (Annexe 6, p.99-100).

Bande	Nombre d'onde (cm ⁻¹)	Liaison et mode de vibration
Amide A	3300 cm ⁻¹	N-H élongation
Amide B	3070 cm ⁻¹	N-H déformation harmonique
Amide I	1650 cm ⁻¹	C=O élongation
Amide II	1550 cm ⁻¹	N-H déformation, C-N élongation

Tableau 4 : Caractéristiques spectrales du collagène ©Derrick, 1991

Pour nous aider, nous avons prélevé un échantillon de peau fraîche sur une hermine conservée par congélation au MHNN. Il nous servira d'échantillon de référence.



Graph 2 : Spectre de l'échantillon de référence de collagène frais ©HECR Arc, Goetz, 2016

⁵¹ Derrick, 1991 [en ligne] ; Vornicu *et al.*, 2015, p.81.

Lors de la dénaturation du collagène en gélatine⁵², le changement le plus notable visible sur le spectre infrarouge est que la bande amide II se décale de 1550 cm^{-1} à 1530 cm^{-1} . Ce décalage correspond à une augmentation de la séparation des bandes amide I et II à 1650 et 1550 cm^{-1} . La différence de nombre d'ondes ($\Delta\nu$) entre la bande amide I et la bande amide II est calculée pour pouvoir comparer simplement la séparation entre les deux bandes de tous les échantillons et ainsi évaluer leurs stades de dégradation.

Le processus d'hydrolyse peut survenir sur le collagène ou sur la gélatine. Sur le spectre infrarouge, l'hydrolyse se caractérise par une augmentation de l'élongation O-H ou de la déformation des fréquences à 3400 cm^{-1} et à 1650 cm^{-1} . Puisque la bande amide I se trouve aux environs de 1650 cm^{-1} , une augmentation de la bande O-H à 1650 a pour résultat une augmentation de l'intensité d'absorption ou de la hauteur de la bande amide I. Cela peut se voir en comparant l'intensité d'absorption relative de la bande amide I avec celle de la bande amide II par calcul de leur rapport relatif (A_I/A_{II}). Une comparaison des résultats obtenus pour chaque échantillon peut alors être effectuée, afin d'évaluer leurs stades de dégradation.

L'oxydation de la chaîne polypeptidique peut entraîner la formation de composés carbonyles qui vont absorber dans le domaine infrarouge entre 1700 et 1750 nombre d'ondes. Cela se traduit par un léger épaulement de la bande carbonyle amide I dans cette région, qui engendre une augmentation de l'étendue de la bande. Dans notre cas, le spectre de référence du collagène frais peut être comparé aux spectres des échantillons des spécimens (Annexe 5, Graphe 10, p.95), pour déterminer si ces derniers sont oxydés. Cette méthode est plus empirique que les précédentes et ne donne pas d'indications quantitatives sur le stade de dégradation des échantillons. L'analyse des acides aminés du collagène par chromatographie en phase liquide à haute performance⁵³ donne des résultats plus fiables pour répondre à cet objectif.

La spectroscopie IRTF en mode RTA a déjà été utilisée pour identifier les modifications du collagène sur des spécimens d'histoire naturelle⁵⁴. Cette étude a eu lieu dans le cadre du chantier de restauration de la Grande Galerie de l'évolution du Muséum national d'histoire naturelle de Paris.

⁵² Derrick, 1991 [en ligne] ; Vornicu *et al.*, 2015, p.81-82.

⁵³ Derrick, 1991 [en ligne].

⁵⁴ Robinet *et al.*, 2014, p.108-109.

4.1.2 Résultats

N° spécimen	A _I	A _{II}	A _I /A _{II}	v _{AI}	v _{AII}	$\Delta v = v_{AI} - v_{AII} \text{ (cm}^{-1}\text{)}$	Dégradations
1	Inexploitable						
5	0.131	0.069	1.9	1643	1546	97	- Hydrolyse - Oxydation - Dénaturation
6	0.059	0.033	1.8	1653	1560	93	- Hydrolyse - Dénaturation
7	0.150	0.103	1.46	1636	1547	89	- Hydrolyse - Oxydation - Dénaturation
9	0.053	0.038	1.39	1651	1543	108	- Hydrolyse - Oxydation - Dénaturation
11	0.043	0.019	2.26	1649	1551	98	- Hydrolyse - Dénaturation
12	Inexploitable						
14	0.171	0.120	1.43	1635	1548	87	- Hydrolyse - Oxydation - Dénaturation
15	0.228	0.143	1.59	1637	1547	90	- Hydrolyse - Oxydation - Dénaturation
16	0.058	0.041	1.41	1638	1548	90	- Hydrolyse - Dénaturation
17	Inexploitable						
Collagène frais	0.257	0.207	1.24	1632	1550	82	-

Tableau 5 : Récapitulatif des résultats obtenus grâce à l'intensité et à la position des bandes d'absorption
©HECR Arc, Goetz, 2016

L'échantillon de référence a une séparation entre les bandes de 82 cm⁻¹. Tous les autres spécimens ont une séparation entre les bandes supérieure à 87 cm⁻¹. Pour le spécimen 9, la séparation est supérieure à 100 cm⁻¹.

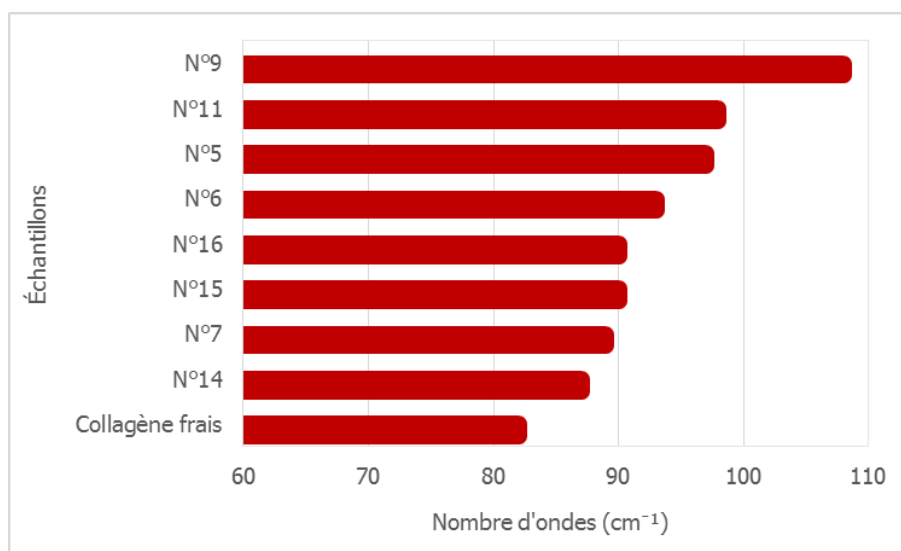
L'échantillon de référence a un rapport d'intensité des bandes de 1.24, tandis que les rapports d'intensité des bandes des spécimens se situent entre 1.39 et 2.26.

Les spectres des spécimens 5, 7, 9, 14 et 15 présentent un épaulement dans le domaine infrarouge entre 1700 et 1750 nombre d'ondes.

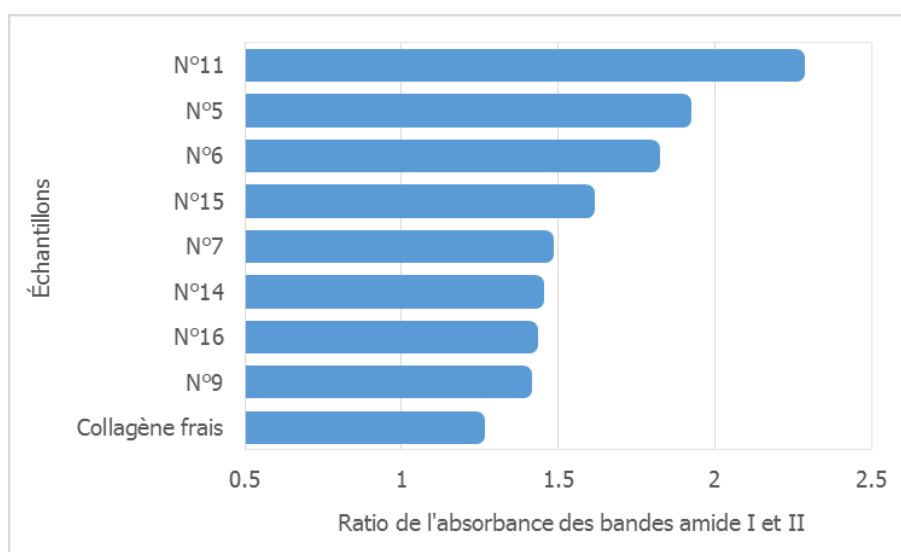
4.1.3 Interprétation

En comparaison des résultats obtenus sur l'échantillon de référence, nous supposons que tous les spécimens ont subi une amorce du processus de dénaturation et une hydrolyse du collagène. Seuls les spécimens 5, 7, 9, 14 et 15 semblent avoir été touchés par une oxydation du collagène.

Les Graphes 3 et 4 présentent les résultats obtenus par différence de position et par rapport entre les hauteurs des bandes amide I et amide II des spectres des échantillons. Ils permettent de comparer les stades de dégradation des échantillons entre eux.

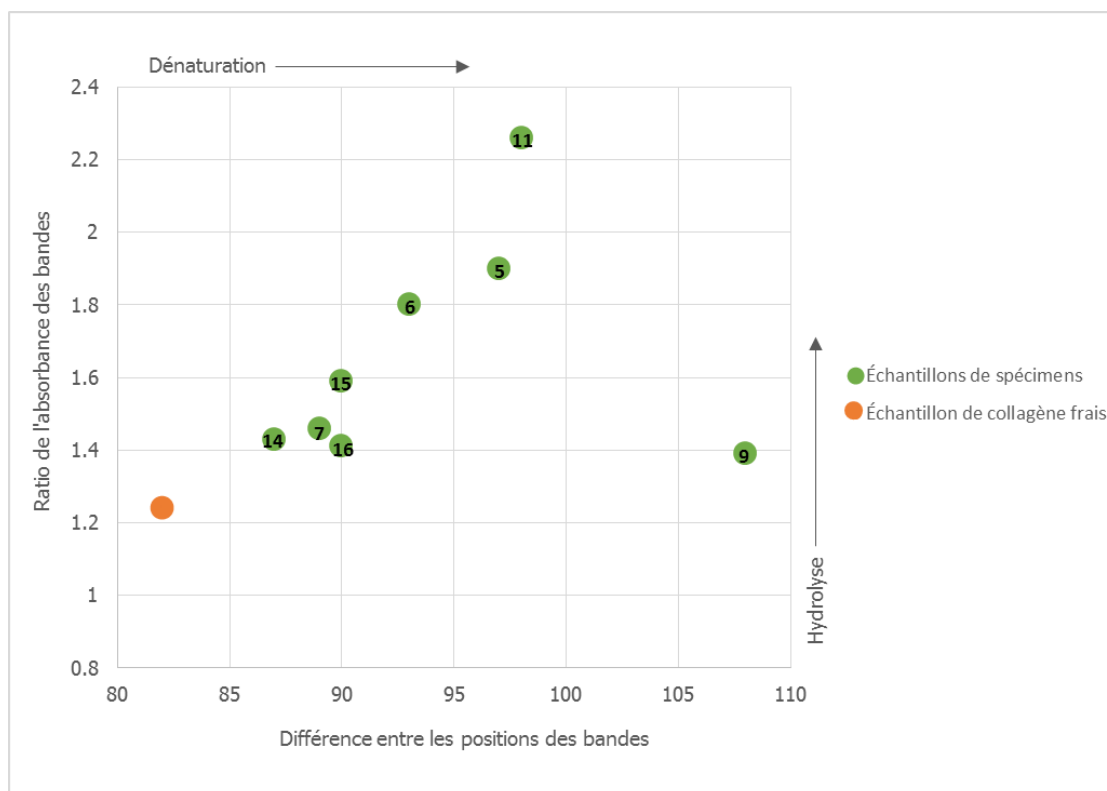


Graph 3 : Différence entre les positions des bandes amide I et II des échantillons ©HECR Arc, Goetz, 2016



Graph 4 : Rapport entre les hauteurs des bandes amide I et amide II des échantillons ©HECR Arc, Goetz, 2016

Le Graphe 5 contient les résultats combinés des échantillons analysés par IRTF. Il nous indique que les spécimens 11, 5 et 6 seraient les plus dégradés. Les spécimens 16, 7 et 14 le sont moins. Aucun des spécimens n'est dans un aussi bon état de conservation que l'échantillon de collagène frais de référence. Globalement, le niveau de dégradation des échantillons par hydrolyse se corrèle bien avec leur niveau de dégradation par dénaturation. Seul le spécimen 9 a un niveau de dégradation par dénaturation beaucoup plus élevé que son niveau de dégradation par hydrolyse. Cela peut s'expliquer par le fait que le collagène a été fortement détérioré par oxydation. La modification des chaînes peptidiques résultante a ainsi favorisé le processus de dénaturation du collagène.



Graphe 5 : Résultats combinés des changements de position et de hauteur des bandes amide I et amide II indiquant des modifications du collagène dues à la dénaturation et à l'hydrolyse ©HECR Arc, Goetz, 2016

Il faut toutefois être prudent dans l'interprétation de ces données. La reproductibilité des positions de bande⁵⁵ indique généralement une marge d'erreur de $\pm 3 \text{ cm}^{-1}$. C'est pour cela qu'un changement de position de bandes inférieur à 6 cm^{-1} n'est pas significatif.

Il faut aussi être prudent avec les rapports d'intensité calculés sur les spectres des peaux ayant subi différents traitements⁵⁶. En effet, les spectres des éléments de traitement peuvent interférer avec le spectre du collagène.

⁵⁵ Derrick, 1991 [en ligne].

⁵⁶ Robinet, 2016.

4.2 Détermination du pH de la peau avec un pH-mètre

4.2.1 Méthode

Des mesures de pH ont été réalisées sur les échantillons de seize des peaux sélectionnées pour l'étude. Avec Martin Zimmerli⁵⁷, nous avons décidé de ne pas mesurer le pH du spécimen 3.

Ce spécimen a été collecté au XIX^{ème} siècle par Johann-Jakob von Tschudi, personnage important dans l'histoire des collections du MHNN (Chapitre 1.2, p.10). Il possède donc une importante valeur historique et une forte valeur d'association avec Johann-Jakob von Tschudi. Ce dernier a collecté une grande quantité de spécimens pour le MHNN, parfois au péril de sa vie⁵⁸. Le spécimen étant de petite taille avec une peau très fine, la prise d'échantillon de 100 mg nécessaire pour effectuer une mesure de pH aurait engendré une perte d'environ un tiers de la peau.

Trois échantillons ont été prélevés sur le spécimen 17 dans trois zones distinctes, afin de voir s'il existe une homogénéité des résultats. De plus, les mesures ont été effectuées deux fois sur les spécimens 5, 9, 16 et 17. Pour chaque spécimen, deux échantillons distincts ont été prélevés sur la même zone, afin d'avoir une idée du degré de reproductibilité de la méthode. Cela a été effectué avec les spécimens sur lesquels nous pouvions prélever une quantité d'échantillons suffisante, sans trop engendrer d'effets visibles. Les résultats des premiers et des deuxièmes essais sont consultables en annexe (Annexe 2, Tableau 16, p.65).

Pour déterminer le pH des peaux, nous avons utilisé la méthode de détermination du pH et de l'indice de différence d'un extrait aqueux de cuir, décrite dans la norme NF EN ISO 4045 (Annexe 4, p.87-90), afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats. Les indices de différence des échantillons sont déterminés lorsque le pH mesuré est inférieur à 4. Cet indice permet de déterminer si les peaux contiennent des acides forts ou des acides faibles.

Le protocole d'échantillonnage est disponible en annexe (Annexe 4, p.81-82).

Le pH d'une peau n'est pas à lui seul représentatif de son état de dégradation, mais il peut être un facteur dégradant. En effet, un pH bas peut accélérer certaines réactions de dégradation, telle que l'hydrolyse acide⁵⁹. De même, la mesure du pH peut donner des pistes pour définir des conditions de mise en réserve adaptées. Il est donc important de le mesurer.

⁵⁷ Zimmerli, 2016.

⁵⁸ Dufour et Haenni, 1985, p.14.

⁵⁹ Thomson *et al.*, 2006, p.38.

4.2.2 Résultats et interprétation

N° spécimen	pH	Indice de différence
1	4.05	-
2	3.83	0.63
3	-	-
4	4.61	-
5	3.42	0.45
6	3.52	0.43
7	3.31	0.38
8	3.82	0.43
9	3.66	0.18
10	3.72	0.34
11	3.82	0.6
12	3.47	0.46
13	4.09	-
14	5.03	-
15	3.45	0.4
16	3.92	0.58
17 (P1)	3.64	0.46
17 (P2)	3.65	0.38
17 (P3)	3.68	0.4

*Tableau 6 : Récapitulatif des valeurs de pH et des indices de différence moyens obtenus avec un pH-mètre
©HECR Arc, Goetz, 2016*

Les valeurs de pH de nos échantillons sont globalement acides. Elles s'étendent de 3.31 à 5.03. Quatorze des spécimens ont des valeurs de pH inférieures à 4.

Les spécimens 5, 6, 7, 12 et 15 ont les valeurs de pH les plus acides. Elles sont inférieures à 3.52.

Les valeurs de pH les moins acides ont été mesurées sur les spécimens 1, 4, 13, 14 et 16. Elles se situent au-dessus de 3.92.

Les mesures de pH effectuées sur les échantillons du spécimen 17 prélevés à différentes zones montrent une certaine homogénéité des résultats. L'acidification de cette peau est donc homogène. En effet, les valeurs de pH se situent entre 3.64 et 3.68.

La double mesure effectuée sur certains spécimens indique des variations de résultats allant de 0.07 à 0.23 unité de pH.

Aucun des indices de différence n'est supérieur à 0.7. Les peaux ne contiennent donc pas une quantité notable d'acides forts.

L'année de préparation des spécimens ne se corrèle pas avec leur valeur de pH (Annexe 2, Tableau 20, p.68). Les trois spécimens préparés au XIX^{ème} siècle ont par exemple une valeur de pH plus élevée que les trois spécimens préparés dans la première moitié du XX^{ème} siècle. Il faut toutefois être prudent dans cette interprétation, car des cuirs fortement dégradés par les effets conjoints de l'oxydation et de l'acidité peuvent libérer de l'ammoniac en se décomposant⁶⁰. L'ammoniac va réagir avec les acides forts présents, ce qui va aboutir à la formation de sulfate d'ammonium et à l'augmentation du pH. Les cuirs contiennent alors une grande quantité de sulfates. Ils ont pu avoir ultérieurement une valeur de pH basse due à la présence d'acide sulfurique par exemple, puis l'acide s'est plus tard neutralisé.

Les traitements de préservation ne semblent pas non plus avoir une influence notable sur les résultats, mais comme nous n'avons pas connaissance de toutes les substances chimiques utilisées, il est également difficile de se prononcer.

4.3 Identification des causes de dégradation non fonctionnelles* des peaux

Les spécimens de notre corpus d'étude ont tous été exposés aux mêmes conditions environnementales de conservation, puisqu'ils sont conservés dans la même réserve au MHNN.

Les facteurs environnementaux de dégradation, tels que la température, l'humidité relative, la lumière et les polluants, ne seront par conséquent pas développés ici, car nous pouvons supposer qu'ils ont eu un impact similaire sur l'état de dégradation des peaux. Leurs différents stades de dégradation ne peuvent donc pas s'expliquer par ces seuls facteurs. Néanmoins, ils jouent un rôle prépondérant dans les processus de dégradation des spécimens d'histoire naturelle.

Les différents processus impliqués dans la dégradation du collagène de la peau sont la dénaturation, l'hydrolyse et l'oxydation (Annexe 6, p.99-100). Ils ont en commun de casser les liaisons chimiques du collagène à différents niveaux structuraux. Le résultat est que la géométrie des fibres de collagène est modifiée, ce qui change les propriétés physiques, chimiques et mécaniques de la peau. Au niveau macroscopique, cela se traduit à terme par l'effritement total de la peau.

Nous allons traiter dans cette partie des facteurs d'altération « de façon » ou de façonnage⁶¹. Il s'agit des altérations propres à une technique ou une méthodologie spécifique de taxidermie. Plusieurs méthodes de préparation peuvent exister simultanément.

⁶⁰ Thomson *et al.*, 2006, p.62.

⁶¹ Cuisin, 2004, p.12.

Le séchage à l'air et le tannage à la fumée s'effectuent par élimination de l'eau liée aux fibres de collagène. Cela a pour conséquence de modifier la structure spatiale des fibres⁶² qui vont se rétracter les unes sur les autres. Au niveau macroscopique, la peau va se déformer et de nombreux plis vont se former.

Cette altération est bien identifiable sur les spécimens 2, 3 et 4, tannés à la fumée ou séchés à l'air. Cependant, la quasi-totalité des spécimens du corpus d'étude présente d'importants plis, ce qui peut être dû à des variations thermo-hygrométriques importantes dans les réserves.



Fig. 16 : Fendillements visibles à la surface du derme du spécimen 3 ©HECR Arc, Goetz, 2016

En outre, le séchage sous tension⁶³ modifie complètement la structure du derme. Les fibres qui forment normalement un réseau tridimensionnel vont s'orienter dans le sens des forces de traction exercées par l'étirement sur cadre, parallèlement à la surface de la peau. Ce phénomène peut expliquer les fendillements parallèles que nous avons observés sur les spécimens 2, 3 et 4, qui se seraient donc propagés dans le sens des fibres.

Environ 90% des spécimens de notre corpus d'étude présentent des trous plus ou moins grands. Cela résulte d'un amincissement de la peau trop important. Dans certains des cas, les bases des poils sont visibles côté chair. Notons que nous n'avons pas observé de trous résultant d'infestations antérieures d'insectes.

Les acides⁶⁴ utilisés lors de la préparation des peaux peuvent initier une hydrolyse acide. Au contact de l'eau, l'acide va se dissocier. L'ion hydrogène (H^+) résultant de cette dissociation va réagir avec les molécules d'eau pour former des ions hydronium (H_3O^+) qui vont casser les liaisons entre les acides aminés de la chaîne peptidique du collagène. L'importante délamination du derme observée sur le spécimen 11 peut être le fait d'un traitement antérieur à l'acide.



Fig. 17 : Délamination du derme observée sur le spécimen 11 ©HECR Arc, Goetz, 2016

⁶² Vallée, 2000, p.51.

⁶³ Chahine, 2013, p.182.

⁶⁴ Thomson *et al.*, 2006, p.38.

Comme nous l'avons vu précédemment, le pelage du spécimen a sans doute été dégraissé à la sciure de bois avec ajout d'un solvant, qui pourrait dans ce cas être un acide.

Les acides peuvent également provenir des polluants présents dans l'air ou des produits de dégradation des substances de préparation utilisées. C'est le cas des spécimens 5, 6, 8 et 17 qui ont été tannés à l'alun. Comme décrit auparavant, le sulfate d'aluminium de l'alun se décompose en hydroxyde d'aluminium et en acide sulfurique, qui va à son tour dégrader le collagène.

Un mauvais dégraissage de la peau peut laisser des graisses qui deviennent facteur de dégradation en s'oxydant⁶⁵. Ces graisses peuvent également provenir de substances de préparation qui ont pour but de redonner de la souplesse aux spécimens. Les graisses sont principalement composées de triglycérides qui résultent de la combinaison d'une molécule de glycérol avec trois acides gras. Au contact de l'air, ces graisses vont s'oxyder, ce qui va engendrer la formation de radicaux libres* et de peroxydes*, qui vont eux-mêmes oxyder les protéines adjacentes comme le collagène, par rupture de la chaîne peptidique. Le résultat de ce processus est la



*Fig. 18 : Surface collante du derme du spécimen 12, caractéristique de l'oxydation de graisses
©HECR Arc, Goetz, 2016*

formation à la surface de la peau d'une couche collante ou dure qui va jaunir et le dégagement d'une odeur de rancissement. Ces dégradations sont observées sur les spécimens 9, 10 et 12. Le spécimen 9 a sans doute été dégradé par les graisses naturelles de la peau, puisqu'aucune graisse synthétique n'a été détectée par FTIR. L'importante dégradation mécanique du spécimen 12 est due à l'oxydation d'une substance de nourriture à base de monooléate de glycérile.

Ce phénomène est également observé sur les spécimens dont les os des pattes ont été conservés. Dans la plupart des cas, les os sont mal écharnés, car les pattes sont des zones difficilement accessibles. Les graisses restantes sur les os vont s'oxyder et se transférer sur la peau avec laquelle elles sont en contact. Le collagène de la peau va donc à son tour s'oxyder. Cette altération est flagrante sur le derme du spécimen 15 qui a fortement bruni au contact des os.



Fig. 19 : Brunissement du derme du spécimen 15 au contact de l'os ©HECR Arc, Goetz, 2016

⁶⁵ Thomson et al., 2006, p.40.

Les efflorescences et les dépôts poudreux⁶⁶ observés côté chair et sur les poils de la peau sont dus à la migration de substances préservatrices. L'alun et le chlorure de sodium sont utilisés dans les traitements de préservation des peaux sous forme de sels hydratés. Si la peau se déshydrate durant le séchage par exemple, les sels vont migrer vers la surface en même temps que l'eau. Ils vont ensuite cristalliser, lorsque cette dernière va s'évaporer. L'arsenic aurait également la capacité de migrer en surface.

Ces altérations sont visibles sur les spécimens 1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 14, 15 et 17, dont nous savons qu'ils ont été traités au chlorure de sodium, à l'alun ou au savon arsenical. Celles-ci sont nuisibles à leur valeur esthétique. Néanmoins, elles n'altèrent pas leur valeur de recherche, car les données quantitatives et qualitatives des spécimens sont toujours accessibles aux scientifiques.

Le pelage des spécimens peut également se détériorer à cause des techniques de préservation des peaux.

La perte des poils peut se produire juste après la mort de l'animal, lorsque le processus de putréfaction et de décomposition enzymatique de la matière organique débute. En effet, ce processus de décomposition de la peau, appelé autolyse⁶⁷, démarre au niveau de la membrane basale située entre l'épiderme et le derme. La chute des poils peut donc être très rapide si la peau n'est pas traitée rapidement.

Les traitements des peaux au chlorure de sodium et à l'alun décolorent les poils de l'animal⁶⁸. En plus d'altérer la valeur esthétique du spécimen, cela réduit sa valeur de recherche, car une partie des données qualitatives du spécimen sont perdues. La lumière va également décolorer les poils par processus de photo-oxydation.

5 Évaluation des stades de dégradations des peaux

5.1 Test de grattage

5.1.1 Méthode

Nous avons choisi, dans un premier temps, d'évaluer le stade de dégradation des peaux avec un test mécanique simple.

Le test est effectué en grattant le côté chair de chaque spécimen dans le but d'évaluer la cohérence de surface des peaux et de les classer selon leur stade de dégradation. Durant la réalisation du test, nous rappelons qu'il est important de se munir de gants, à cause de la présence d'arsenic sur certains spécimens.

⁶⁶ Vallée, 2000, p.55.

⁶⁷ Ibidem, p.49.

⁶⁸ Cuisin, 2004, p.15.

Si les gants sont colorés, cela permettra même d'y voir la quantité de fragments de peaux fixée par force électrostatique qui s'est détachée pendant le test.

	Stades de dégradation			
	1	2	3	4
Cohérence de surface	Aucun fragment ne se détache durant le test	Peu de fragments se détachent durant le test	Plusieurs fragments se détachent facilement durant le test	Beaucoup de fragments se détachent facilement durant le test

Tableau 7 : Échelle de notation et critères associés pour l'évaluation du stade de dégradation des peaux par test de grattage
©HECR Arc, Goetz, 2016

5.1.2 Résultats

N° spécimen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Cohérence de surface	2	2	1	2	4	4	1	3	1	3	1	2	2	1	1	1	4

Tableau 8 : Stades de dégradation attribués à chaque spécimen après le test de grattage ©HECR Arc, Goetz, 2016

Les stades de dégradation attribués à chaque spécimen avec le test de grattage seront comparés plus loin avec les stades de dégradation obtenus avec des méthodes scientifiques (Chapitre 5.3, p.42).

5.2 Détermination de la température de rétraction des fibres avec la méthode Micro Hot Table (MHT)

5.2.1 Méthode

La détermination de la température de rétraction du collagène a été réalisée sur les 17 peaux sélectionnées pour l'étude. Les mesures ont été effectuées selon la méthode MHT (Annexe 4, p.90-91). Elle a l'avantage de pouvoir être effectuée sur des échantillons de faible quantité (environ 0.3 mg). En chauffant dans l'eau⁶⁹, les fibres de collagène vont rétrécir à une température distincte, nommée température de rétraction ou *shrinkage temperature* en anglais (Ts). La stabilité hydrothermique des fibres décroît proportionnellement à l'augmentation du niveau de détérioration. La température de rétraction peut donc aider à déterminer les stades de dégradation des peaux.

⁶⁹ Larsen *et al.*, 2002, p.55.

Pour chaque spécimen, nous allons déterminer la température de rétraction, la température initiale (Ti) à laquelle démarre le processus de rétraction et la température finale (Tf) à laquelle il finit. L'intervalle total de rétrécissement (ΔT), qui est l'intervalle entre le tout premier et le tout dernier signe d'activité de rétraction va également être calculé. Il s'agit de la différence entre Tf et Ti.

Stades de dégradation	Ti	Ts
1	>45°C	>50°C
2	>40°C à ≤45°C	>45°C à ≤50°C
3	>35°C à ≤40°C	>40°C à ≤45°C
4	≤35°C	≤40°C

Tableau 9 : Critères pour l'évaluation du stade de dégradation des peaux avec la méthode MHT ©Morana RTD, Badea et al., 2012 [en ligne]

Les mesures ont été effectuées deux fois sur six des spécimens. Pour cela, deux échantillons distincts ont été prélevés dans la même zone de chaque peau. La méthode préconise d'effectuer deux mesures pour toutes les peaux, mais nous n'avions que trois jours à disposition pour effectuer les mesures qui prennent environ une heure pour chaque échantillon.

5.2.2 Résultats et interprétation

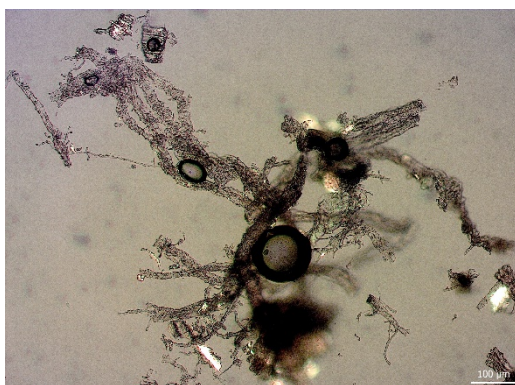
N° spécimen	Températures (°C)				Stades de dégradation		
	Ti	Ts	Tf	ΔT	Ti	Ts	Moyenne
1	44.8	46.4	52.2	7.4	2	2	2
2	39.9	45.6	52.4	12.5	3	2	2.5
3	46.5	48.5	56.1	9.6	1	2	1.5
4	Inexploitable				-	-	-
5	33.1	37.8	53.2	20.1	4	4	4
6	35.8	37.8	51.8	16.1	3	4	3.5
7	31.6	-	76.9	45.3	4	-	4
8	35.6	-	-	-	3	-	3
9	33.6	-	86.9	-	4	-	4
10	34.9	39.2	64.3	29.4	4	4	4
11	39.1	41.5	77.9	38.8	3	3	3
12	34.2	-	-	-	4	-	4
13	37.3	45.2	78.5	41.2	3	2	2.5
14	45.7	59.6	65.3	19.6	1	1	1
15	37.1	-	68.5	31.4	3	-	3
16	55.4	61.8	68.7	13.4	1	1	1
17	33.8	41.2	69.2	35.4	4	3	3.5

Tableau 10 : Récapitulatif des résultats moyens obtenus avec la méthode MHT ©HECR Arc, Goetz, 2016

Les températures de rétraction obtenues s'étendent de 37.8 à 61.8°C.

Nous n'avons pas pu déterminer la température de rétraction du spécimen 4. La rétraction des fibres de l'échantillon était difficilement visible à un grossissement de 40x à cause de leur finesse. Le dispositif de mesure à notre disposition ne permettait pas de grossissement supérieur à 40x.

La température de rétraction n'a pas été observée durant le processus de chauffe des échantillons 9 et 15. Cela s'explique par le fait que les fibres ont déjà subi un rétrécissement important à température ambiante (Figures 20 et 21).



*Fig. 20 : Vue microscopique des fibres du spécimen 9, immergées dans l'eau à température ambiante
©HECR Arc, Goetz, 2016*



*Fig. 21 : Vue microscopique des fibres du spécimen 15, immergées dans l'eau à température ambiante
©HECR Arc, Goetz, 2016*

Pour les spécimens 8 et 12, seule la température initiale a été déterminée. Lors des essais, seulement quelques fibres se sont rétractées, puis l'activité a stoppé. Ce phénomène est dû au fait que la quasi-totalité des fibres de ces échantillons s'est déjà rétractée à température ambiante.

D'ailleurs, les fibres de collagène de ces quatre derniers spécimens ont un aspect gélatineux qui renseigne bien sur leur stade de dégradation avancé.

La température de rétraction n'a pas non plus été observée sur l'échantillon prélevé sur le spécimen 7. Nous n'avons pas d'explications à cela, car à température ambiante les fibres de collagène sont encore relativement peu rétractées.

L'intervalle total de rétrécissement des échantillons varie considérablement. Il s'étend de 7.4 à 45.3°C. Un intervalle de moins de 10°C⁷⁰ indique que les fibres de collagène sont détériorées de manière homogène, ce qui est le cas des spécimens 1 et 3.

Au contraire, un intervalle total de rétrécissement élevé indique des différences de stabilité entre les fibres de collagène d'une même peau⁷¹.

⁷⁰ Badea et al., 2012 [en ligne].

⁷¹ Larsen *et al.*, 2002, p.55.

Ces différences peuvent être dues au traitement initial de la peau et à un tannage ou à un degré de détérioration non uniforme. C'est le cas des spécimens 7 et 13 qui ont un intervalle de plus de 40°C.

Si la température de rétraction du collagène se situe en dessous de 40°C⁷², les traitements aqueux sont à proscrire sur les peaux à cause de la possibilité de dénaturation qu'ils pourraient provoquer. Ces peaux sont également très sensibles à des taux élevés d'humidité, tout comme les spécimens dont la température de rétraction n'a pas été observée. Cela concerne les spécimens 5, 6, 8, 9, 10, 12 et 15. La détermination de la température de rétraction peut donc aider les taxidermistes et les restaurateurs à prendre des décisions quant aux traitements à effectuer et aux mesures de conservation préventives à envisager. Une température de rétraction au-dessus de 40°C indique que des traitements aqueux peuvent être effectués avec sécurité.

D'après les critères définis pour l'évaluation du stade de dégradation, les spécimens 5, 6, 7, 9, 10, 12 et 17 sont dans un état de conservation inacceptable. Cela représente 40 % de notre corpus d'étude. Seuls les spécimens 3, 14 et 16 sont peu détériorés, ce qui correspond à 12% du corpus.

5.3 Corrélation des données

L'ensemble des données obtenues lors de notre étude ont été regroupées dans des tableaux mis en annexe (Annexe 2, Tableaux 18 et 20, p.66 et 68). Nous avons déterminé le nombre d'altérations observées pour chaque spécimen (Annexe 2, Tableau 19, p.67) et l'avons intégré au tableau. Cela nous permettra de déterminer si les détériorations macroscopiques des peaux se corrélaient avec le niveau de détérioration du collagène.

De manière générale, les degrés d'hydrolyse et de dénaturation du collagène se corrélaient bien avec la température de rétraction de chaque spécimen. Les peaux fortement hydrolysées et dénaturées ont de faibles températures de rétraction. En effet, l'altération de la structure du collagène⁷³ provoque l'abaissement de cette température.

Seul le spécimen 7 est peu dégradé par hydrolyse ou par dénaturation, mais selon la méthode MHT, il est dans un état de conservation inacceptable. Cela s'explique par le fait que la température de rétraction du collagène n'a pas été observée durant le test, même après trois essais. Nous avons alors uniquement tenu compte de la température initiale du phénomène pour évaluer le stade de dégradation. Ces résultats peuvent donc être faussés. Il se peut également que la peau soit fortement dégradée par oxydation, ce qui justifierait la basse température initiale.

⁷² Young, 1990, p.627.

⁷³ Chahine, 2013, p.42.

Globalement, les degrés d'hydrolyse et de dénaturation du collagène se corrélaient également avec le pH des peaux. Effectivement, le degré d'hydrolyse⁷⁴ dépend à la fois du pH de la peau et de l'humidité relative du milieu de conservation. Une diminution du pH va accélérer la détérioration des peaux, qui vont perdre de leur résistance. Cela explique aussi qu'un pH bas réduit grandement la température de rétraction des peaux.

Un peu plus de la moitié des températures de rétraction se corrélaient avec les stades de dégradation obtenus par test de grattage. Une faible température de rétraction, par conséquent des fibres de collagène fortement dégradées, se traduit au niveau macroscopique par un important effritement de surface et inversement.

Pour finir, le nombre d'altérations observées sur les peaux ne se corrélaient pas réellement avec les stades de dégradation obtenus par méthode scientifique. En effet, les caractéristiques macroscopiques des peaux ne donnent pas vraiment d'indications sur leurs stades de dégradation au niveau microscopique. Ces caractéristiques macroscopiques sont souvent induites par les traitements de préservation⁷⁵ qui modifient la structure du collagène et agissent donc sur les propriétés initiales de la peau.

Néanmoins, nous pouvons affirmer que les spécimens, dont les fibres observées sous microscope se sont déjà fortement rétractées à température ambiante, font partie des plus dégradés du corpus d'étude. Il s'agit des spécimens 8, 9, 12 et 15.

Le Tableau 11 qui regroupe les stades de dégradations définis avant et après étude montre bien que l'évaluation visuelle de l'état de conservation d'un spécimen ne suffit pas et qu'il est important d'effectuer des analyses complémentaires pour mieux cibler les mesures de conservation à prendre.

En conclusion, les spécimens dans un état de dégradation inacceptable montrent une forte hydrolyse et une forte dénaturation. De plus, ils ont une température de rétraction et, généralement, une valeur de pH basses.

⁷⁴ Horie, 1990, p.118.

⁷⁵ Vallée, 2000, p.50.

N° spécimen	État de conservation défini au début de l'étude	État de conservation défini à la fin de l'étude
1	Inacceptable	Passable
2	Mauvais	Passable
3	Inacceptable	Passable
4	Mauvais	Passable
5	Inacceptable	Inacceptable
6	Bon	Inacceptable
7	Passable	Inacceptable
8	Mauvais	Mauvais
9	Passable	Inacceptable
10	Passable	Inacceptable
11	Inacceptable	Inacceptable
12	Inacceptable	Inacceptable
13	Passable	Mauvais
14	Inacceptable	Bon
15	Passable	Mauvais
16	Bon	Bon
17	Inacceptable	Inacceptable

Tableau 11 : Comparaison des états de conservation déterminés visuellement au début de l'étude, avec ceux évalués par méthodes scientifiques ©HECR Arc, Goetz, 2016

Les quatre spécimens traités à l'alun sont tous dans un état de conservation inacceptable (stade de dégradation 4), tout comme le spécimen 11, qui a sans doute été dégraissé avec un solvant, et le spécimen 12, dont la peau a été assouplie.

Les trois plus vieux spécimens qui ont simplement été séchés à l'air ou tannés à la fumée, puis enduits de savon arsenical sont dans un état de conservation passable. De même, le spécimen simplement traité par salage est dans un bon état de conservation.

Nous pouvons conclure qu'en général⁷⁶ les peaux qui ont subi peu de traitements chimiques de préservation se conservent mieux que celles qui ont été fortement modifiées au cours de leur préservation et de leur tannage. Les dates auxquelles ont été préparés les spécimens n'influencent pas leur état de détérioration.

Au terme de cette étude, nous avons identifié certaines caractéristiques qu'ont les peaux selon leur traitement de préservation. Nous avons consigné ces caractéristiques dans le tableau 12.

⁷⁶ Horie, 1990, p.121.

	Peau séchée	Peau salée	Tannage à l'alun	Tannage à la fumée	Peau lubrifiée
Substances	Traitement à l'arsenic	Chlorure de sodium	Alun	Aldéhydes de la fumée de bois Arsenic	Graisses, huiles
Couleur après traitement	Blanche à jaune	Blanche	Blanche	Jaune à brun	Jaune-orangé
Effet de l'eau	Rigidification Dissolution du collagène Rend la peau transparente	Rigidification Résistant à l'eau	Rigidification Solubilisation l'alun	Résistant à l'eau	Dépend des autres traitements réalisés
Ts des peaux neuves (°C)	65	70	50-63	75-85	Dépend des autres traitements réalisés
Ts des peaux du corpus (°C)	46.4	59.6	37.8-41.2	45.6-48.5	Température ambiante
pH des peaux du corpus	4.05-4.61	5.03	3.42-3.68	3.83	3.47
Altérations spécifiques	Rigide, plissement translucide, jaunissement, délamination, dépôts poudreux	Rigide, jaunissement, efflorescence	Rigide, effritement par grattage à l'ongle, efflorescence, dépôts poudreux	Rigide, plissement, translucide, brunissement, fendillement, dépôt poudreux, trous des fils de tension	Déchirure, translucide, jaunissement, surface collante, odeur rance
État de conservation du corpus	Passable	Bon	Inacceptable	Passable	Inacceptable

Tableau 12 : Caractéristiques des peaux selon les traitements de préservation ©HECR Arc, Goetz, 2016

5.4 Rappel des recommandations de conservation

Le MHNN a déjà mis en place des moyens pour assurer des conditions de conservation adaptées aux collections d'histoire naturelle, d'autant plus que des échanges sont régulièrement effectués avec la Haute École Arc. Nous allons néanmoins brièvement les rappeler⁷⁷ :

- Température idéalement située entre 18 et 22°C, mais ne doit jamais excéder 25°C (dénaturation et oxydation). Des températures situées entre 13 et 15°C sont toutefois acceptables si l'humidité relative se situe en dessous de 45%.
- Humidité relative située entre 40 et 60%, mais ne doit jamais excéder 65% (hydrolyse).
Le plus important reste toutefois d'éviter au maximum les changements brusques d'humidité.
- Stockage à l'abri de la lumière, dans des boîtes ou dans des tiroirs comme au Muséum. Ne surtout pas stocker les peaux pliées ou empilées les unes sur les autres.
- La plupart des spécimens sont fragiles, rigides, cassants, perdent des poils. Il faut donc accorder une attention toute particulière à leur manipulation. La première chose à faire est d'éviter toute manipulation inutile. Si celle-ci est toutefois inévitable, il est fortement recommandé de placer la peau sur un panneau rigide et de la recouvrir d'une housse de polyester ou de polyéthylène.
- Aucune recommandation n'est donnée ici pour les infestations. Un contrôle mensuel des réserves est déjà mis en place au MHNN.

⁷⁷National Park Service, 1996 [en ligne] ; Notes de l'ICC 8/3, 2015 [en ligne] ; Thomson *et al.*, 2006, p.139.

Synthèse et discussion

Après examen macroscopique des 17 peaux plates de notre corpus d'étude, nous avons relevé différentes altérations. Ces altérations sont pour la plupart liées aux mises en œuvre des peaux et à leurs techniques de préservation, comme nous l'ont révélé les analyses d'identification des méthodes de préservation.

Les peaux du XIX^{ème} siècle ont été séchées à l'air, tannées à la fumée et préservées au savon arsenical. Le dernier spécimen du corpus à avoir été traité au savon arsenical date de 1975.

Les peaux du XX^{ème} siècle ont été tannées à l'alun, conservées au sel, enduites de nourriture assouplissante et peut-être également simplement séchées à l'air. Ces informations nous ont permis de mettre en relation des altérations types avec les procédés de préparation identifiés. Néanmoins, cette partie de l'étude est partiellement incomplète, car nous n'avons sans doute pas identifié tous les procédés appliqués aux peaux. Des analyses complémentaires permettraient de creuser davantage la question des types de dégradation qu'entraînent les traitements de taxidermie.

L'identification des stades de détérioration des peaux nous a permis de conclure que ces altérations ne sont pas toujours signe de leur mauvais état de conservation. En effet, une peau qui semble macroscopiquement dégradée et instable, ne l'ai pas forcément au niveau moléculaire. Les altérations types aident néanmoins à l'identification des techniques de préservation et permettent de déterminer les risques qu'elles représentent pour les spécimens.

Nous avons utilisé deux méthodes simples qui peuvent, dans une certaine mesure, aider à l'identification des spécimens fortement dégradés. Si la peau s'effrite facilement par simple grattage à l'ongle, nous pouvons affirmer qu'elle est dans un état de grande fragilité. De même, si des fibres de collagène immergées dans l'eau et observées sous microscope sont déjà rétractées à température ambiante, cela signifie que la peau sur laquelle elles ont été prélevées est dans un état de conservation inacceptable.

L'identification des processus de dégradation sur huit des spécimens du corpus d'étude indique qu'ils ont tous déjà subi une hydrolyse et une dénaturation du collagène. Même s'ils sont touchés à des degrés divers, nous pouvons conclure que l'hydrolyse et la dénaturation du collagène sont des processus de dégradation inévitables, quelles que soient les techniques de taxidermie utilisées pour les conserver. Outre cette constatation, les peaux de notre corpus sont globalement acides. Cette acidité parfois excessive va amplifier les phénomènes d'hydrolyse du collagène.

Depuis plusieurs dizaines d'années, des recherches sont effectuées dans le but de trouver des méthodes de désacidification des cuirs de tannage végétal⁷⁸, afin de les stabiliser. Différents composés ont été expérimentés : les alcoxydes d'aluminium, les sels d'acides organiques, les bases alcalines, l'ammoniac. Mais aucun ne s'est montré réellement satisfaisant. Ils apportent dans certains cas des dégradations supplémentaires, dans d'autres une neutralisation éphémère. En 2002⁷⁹, Martin Troxler, taxidermiste au Musée d'histoire naturelle de Berne, a expérimenté sur des spécimens d'histoire naturelle un procédé de désacidification de masse généralement appliqué au papier. Ce procédé est basé sur l'utilisation d'alcoolates de magnésium et de titane dissous dans de l'hexaméthylidisiloxane. Mais là encore, les résultats sont mitigés. La description et les résultats de ce procédé sont consultables en annexe (Annexe 6, p.100-101).

Une étude sur l'hydrolyse acide des peaux de spécimens naturalisés a également eu lieu dans le cadre du chantier de restauration de la Grande Galerie de l'évolution du Muséum national d'histoire naturelle de Paris⁸⁰. Des tests ont été effectués pour déterminer l'action de divers adhésifs sur des peaux fortement hydrolysées. Dans certains cas, ces adhésifs ont permis de renforcer mécaniquement les peaux, tout en servant de matériau barrière contre l'humidité.

⁷⁸ Chahine, 2013, 356.

⁷⁹ Troxler, 2016.

⁸⁰ Robinet *et al.*, 2014.

Conclusion

Les techniques de préservation en taxidermie ont un impact sur la vitesse et le type de dégradation des peaux conservées dans les musées d'histoire naturelle. Si elles agissent dans un premier temps contre le processus de putréfaction des tissus mous, elles peuvent devenir ultérieurement des agents de détérioration.

L'étude que nous avons menée a permis d'avoir une meilleure connaissance des peaux plates de mammifères appartenant à la collection scientifique du Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel.

Sur les 17 peaux plates de mammifères étudiées, 8 sont dans un état de conservation inacceptable. Cela représente quasiment la moitié du corpus d'étude. L'état de la collection nuit grandement à la valeur de recherche attribuée à ces peaux. En effet, les altérations peuvent entraîner la perte de données qualitatives, comme les couleurs du spécimen, ou de données quantitatives, comme les mesures morphologiques. Dans les cas extrêmes, la perte totale du spécimen est inévitable. Il est donc d'une importance capitale d'avoir une meilleure connaissance des méthodes de préparation et des processus de dégradation de ces collections, afin d'adapter au mieux les méthodes de conservation.

Nous avons vu que la détermination de la température de rétraction d'une peau est un outil intéressant pour les restaurateurs ou les taxidermistes. Comme beaucoup d'opérations s'effectuent en solution aqueuse, cette température peut les aider à prendre des décisions quant aux choix des traitements. Les traitements aqueux sont à proscrire sur les spécimens dont la température de rétraction est inférieure à 40°C, à cause de la possibilité de dénaturation qu'ils pourraient provoquer. Ces spécimens seront également très sensibles à des taux élevés d'humidité. 40 % des peaux de notre corpus d'étude sont dans ce cas de figure.

Il existe des principes de conservation qui ralentissent les processus de dégradation du collagène, mais ils peuvent rarement les stopper. Quelques travaux de recherches ont été effectués dans le domaine de la conservation des spécimens d'histoire naturelle, mais ceux-ci en sont encore à leur balbutiement. Il sera donc important dans le futur de poursuivre sur cette voie, dans un travail de collaboration étroite avec les taxidermistes qui sont les meilleurs connaisseurs de ces collections.

Dans notre cas, l'étude pourrait être complétée par une identification plus précise des traitements de préservation des peaux. De plus, nous pourrions davantage nous intéresser au processus d'oxydation que nous n'avons pas pu réellement identifier avec les analyses FTIR. L'analyse des acides aminés du collagène par chromatographie en phase liquide à haute performance⁸¹ peut être un moyen d'approfondir cette question.

⁸¹ Derrick, 1991 [en ligne].

Références bibliographiques

Liste des ouvrages

Badea *et al.*, 2012 [en ligne] : Badea, Elena *et al.* « Damage Ranking of Historic Parchment : From Microscopic Studies of Fibre Structure to Collagen Denaturation Assessment by Micro DSC ». In *Morana RTD* [En ligne]. E-Preservation Science, 2012 [consulté le 12 mars 2016]. <http://www.morana-rtd.com/e-preservation-science/2012/Badea-31-12-2012.pdf>

Bénesteau, 2015 : Bénesteau, Gaëlle. *Étude et identification des matériaux de rembourrage des spécimens naturalisés anciens : le cas des collections du Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel*. Mémoire pour l'obtention du Bachelor of Arts HES-SO en Conservation d'objets archéologiques et ethnographiques, Neuchâtel, 2015, *non publié*.

Boudarel et Didier, 1981 : Boudarel, André et Didier, Robert. *L'art de la taxidermie au XX^e siècle : Recueil de technique pratique de taxidermie pour naturalistes, professionnels, amateurs et voyageurs*. Cinquième tirage. Éditions Lechevalier, Paris, 1981. Encyclopédie Biologique.

Chahine, 2013 : Chahine, Claire. *Cuir et parchemin, ou la métamorphose de la peau*. CNRS Éditions, Paris, 2013.

Conseil fédéral suisse, 2004 [en ligne] : Conseil fédéral suisse. « Ordonnance sur les substances dangereuses pour l'environnement (Ordonnance sur les substances, Osubst) du 9 juin 1986 (État le 7 septembre 2004) ». In *Confédération suisse* [En ligne]. Confédération suisse, 2004 [consulté le 26 juin 2016]. <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/19860123/200409010000/814.013.pdf>

Constat d'état, 2011 [en ligne] : *Constat d'état* [En ligne]. Centre de conservation du Québec, 2011 [consulté le 16 mai 2016]. <http://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=147>

Covington, 2009 : Covington, Anthony D. *Tanning Chemistry : The Science of Leather*. Royal Society of Chemistry, Cambridge, 2009.

Cuisin, 2004 : Cuisin, Jacques. « Fragilités des *naturalia* : risques non-fonctionnels des collections de mammifères et d'oiseaux ». *Conservation-restauration des biens culturels*, N°22, 2004, p.11-26.

Dangeon, 2014 : Dangeon, Marion. *Conservation des collections naturalisées traitées aux biocides : étude de la collection Mammifères et Oiseaux du Muséum d'Histoire Naturelle de Neuchâtel*. Mémoire pour l'obtention du Bachelor of Arts HES-SO en Conservation d'objets archéologiques et ethnographiques, Neuchâtel, 2014, *non publié*.

Deacidification plant, 2016 [en ligne] : *Deacidification plant* [En ligne]. Rheinmetall AG, 2016 [consulté le 17 mai 2016].
http://www.nitrochemie.com/en/papersave/deacidification_plant/besichtigung_der_anlage/index.php

De Beaulieu, 2010 : De Beaulieu, Marie. *Étude et restauration d'un spécimen naturalisé et d'un squelette de lémurien du Museum National d'Histoire Naturelle (MNHN). Étude et mise en place d'un dispositif de protection contre l'arsenic à l'usage des restaurateurs*. Mémoire de diplôme de restaurateur du patrimoine de l'Institut National du Patrimoine, Paris, 2010, *non publié*.

Derrick, 1991 [en ligne] : Derrick, Michele. « Evaluation of the State of Degradation of Dead Sea Scroll Samples Using FT-IR Spectroscopy ». In *Conservation OnLine* [En ligne]. The American Institute for Conservation, 1991 [consulté le 19 mai 2016]. <http://cool.conservation-us.org/coolaic/sg/bpg/annual/v10/bp10-06.html>

Derrick *et al.*, 1999 : Derrick, Michele R. *et al. Infrared spectroscopy in conservation science*. The Getty Conservation Institute, Los Angeles, 1999. Scientific tools for conservation.

Dufour et Haenni, 1985 : Dufour, Christophe et Haenni, Jean-Paul. *Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel : À travers les richesses de ses collections, deux siècles d'histoire et de vie scientifique*. Éditions Gilles Attinger, Hauterive, 1985.

Gagnier, 2002 : Gagnier, Pierre-Yves. « La taxidermie, toujours au service de la recherche scientifique ». *La Lettre de l'OCIM*, Hors-série n°3, 2002, p.45-51.

Glossaire visuel des altérations, 2013 [en ligne] : *Glossaire visuel des altérations* [En ligne]. Centre de conservation du Québec, 2013 [consulté le 16 mai 2016].
<http://www.ccq.gouv.qc.ca/index.php?id=90>

Histoire du musée, 2016 [en ligne] : *Histoire du musée* [En ligne]. Musée d'Histoire Naturelle Neuchâtel, 2016 [consulté le 6 juin 2016]. <http://www.museum-neuchatel.ch/index.php/approfondir/connaitre-le-museum/histoire-du-museum>

Horie, 1990 : Horie, Charles Velson. « Deterioration of skin in museum collections ». *Polymer Degradation and Stability*, Volume 29, n°1, 1990, p109-133.

Jullien et Walter, 2002 : Jullien, Franz et Walter, Yves. « Le tannage ». *La Lettre de l'OCIM*, Hors-série n°3, 2002, p.13-17.

Larsen, 1945 : Larsen, Henry. *La taxidermie moderne : éléments de la technique pour la préparation et le montage des animaux : conseils pour chasseurs, explorateurs et amateurs*. Éditions de la Frégate, Genève, 1945.

Larsen *et al.*, 2002 : Larsen, René *et al.* « The Hydrothermal Stability (Shrinkage Activity) of Parchment Measured by the Micro Hot Table Method (MHT) ». In Larsen, René (éd.). *Microanalysis of Parchment*. Archetype Publications, London, 2002, p. 55-62.

Le grand dictionnaire terminologique, 2012 [en ligne] : *Le grand dictionnaire terminologique (GDT)* [En ligne]. Office québécois de la langue française, 2012 [11 juillet 2016]. <http://www.granddictionnaire.com/>

National Park Service, 1996 [en ligne] : National Park Service. « Appendix S : Curatorial Care of Objects Made From Leather and Skin Products ». In *Museum Management Program* [En ligne]. National Park Service, 1996 [consulté le 22 juin 2016]. <https://www.nps.gov/museum/publications/MHI/Appendix%20S.pdf>

Nora et Koenen, 2002 [en ligne] : Nora, Angelo et Koenen, Gunther. « Metallic Soaps ». In *Wiley Online Library* [En ligne]. John Wiley & Sons, 2002 [consulté le 29 juin 2016]. http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14356007.a16_361.pub2/pdf

Notes de l'ICC 8/3, 2015 [en ligne] : *Le soin des spécimens naturalisés et des peaux – Notes de l'Institut canadien de conservation (ICC) 8/3* [En ligne]. Institut canadien de conservation, 2015 [consulté le 11 juillet 2016]. <http://canada.pch.gc.ca/fra/1439925170320>

Péquignot, 2002 : Péquignot, Amandine. « La taxidermie dans l'histoire des musées d'Histoire naturelle ». *La Lettre de l'OCIM*, Hors-série n°3, 2002, p.35-41.

- Péquignot, 2008 : Péquignot, Amandine. « Évaluation de la toxicité des spécimens naturalisés ». *La Lettre de l'OCIM*, n°116, 2008, p.4-9.
- Robinet *et al.*, 2014 : Robinet, Laurianne *et al.* « Chantier de de la Grande Galerie de l'évolution : la problématique des spécimens naturalisés ». *Support/Tracé*, n°14, 2014, p.101-111.
- Thiney, 2014 : Thiney, Jack. *Mort ou vif : chronique d'une taxidermie contemporaine*. Éditions de La Martinière, Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 2014.
- Thomson *et al.*, 2006 : Thomson, Roy *et al.* *Conservation of Leather and Related Materials*. Butterworth-Heinemann, Oxford, 2006.
- Tse, 2007 [en ligne] : Tse, Season. « Bulletin technique n°28 : Lignes directrices pour la mesure du pH en conservation ». In *Institut canadien de conservation* [En ligne]. Institut canadien de conservation, 2007 [consulté le 28 juin 2016]. <http://www.cci-icc.gc.ca/resources-ressources/publications/downloads/technicalbulletins/Fra/bt28-Lignes-directrices-pour-la-mesure-du-pH-en-conservation.pdf>
- Vallée, 2000 : Vallée, Karen. *Influence des traitements chimiques sur la conservation des objets d'histoire naturelle ; un exemple parmi les vertébrés supérieurs*. Travail de fin d'étude de l'École supérieure d'arts appliqués du canton de Neuchâtel, filière des Hautes Écoles Spécialisées de conservation-restauration, spécialisation archéologie-ethnographie, La Chaux-de-Fonds, 2000, non publié.
- Vornicu *et al.*, 2015 : Vornicu, Nicoleta *et al.* « Analytical Techniques Used for the Characterization and Authentification of Six Ancient Religious Manuscripts (XVIII-XIX Centuries) ». *Microscopy Research and Technique*, 78, 2015, p.70-84.
- Young, 1990 : Young, Gregory S. « Microscopical hydrothermal stability measurements of skin and semi-tanned leather ». In *ICOM Committee for Conservation, 9th Triennial Meeting, Dresden, German Democratic Republic, 26-31 august 1990 : Preprints, vol. II*. ICOM Committee for Conservation, Paris, 1990, p.626-631.

Liste des communications personnelles, orales et écrites

Brambilla, 2016 : Brambilla, Laura. Docteure en chimie. Cheffe de projet à la HE-Arc. Communications orales, Neuchâtel, 2016.

Robinet, 2016 : Robinet, Laurianne. Ingénieure de recherche au pôle Cuir et Parchemins du Centre de recherche sur la conservation de Paris. Communications écrites, 2016.

Schenkel, 2016 : Schenkel, Tobias. Enseignant à la HE-Arc. Conservateur-restaurateur, spécialisation objets techniques et scientifiques. Communications orales, Neuchâtel, 2016.

Troxler, 2016 : Troxler, Martin. Taxidermiste au Musée d'histoire naturelle de Berne. Communications orales, Berne, 2016.

Zimmerli, 2016 : Zimmerli, Martin. Taxidermiste au Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel. Communications orales, Neuchâtel, 2016.

Glossaire

Sauf mention contraire, les termes sont issus du grand dictionnaire terminologique⁸².

Aldéhyde : Corps chimique obtenu par oxydation de l'alcool, de formule brute R-CHO.

Côté chair : Face intérieure de la peau d'un animal, par opposition au côté fleur.

Dégradation non fonctionnelle⁸³ : Dégradation liée à la composante matérielle d'un objet.

Dessiccation : Enlèvement de l'eau contenue dans une substance, à l'aide de la chaleur, du vide ou d'une matière hygroscopique.

Diorama⁸⁴ : Différents procédés muséographiques qui tendent à reconstituer, de façon tridimensionnelle, un environnement naturel.

Eau liée : Eau fixée à la périphérie d'éléments colloïdaux ou de micelles hydrophiles ou de molécules, formant des hydrates.

Liaison covalente : Liaison entre deux atomes résultant de la mise en commun de deux électrons provenant séparément de chacun d'eux.

Liaison hydrogène : Interaction entre un atome très électronégatif (Oxygène, Fluor, Azote) d'une molécule et un atome d'hydrogène électropositif appartenant à une autre molécule (liaison hydrogène intermoléculaire) ou à un autre groupement chimique de la même molécule (liaison hydrogène intramoléculaire).

Mise en peau⁸⁵ : La peau du spécimen prélevé est tannée et simplement remplie d'ouate afin de conserver le volume de l'animal, sans intention de recréer l'aspect de la vie.

Montage⁸⁶ : Peau mise en forme dans le respect de la morphologie de l'animal, grâce à un support interne.

⁸² Le grand dictionnaire terminologique, 2012 [en ligne].

⁸³ Cuisin, 2004, p.12.

⁸⁴ Péquignot, 2002, p.38.

⁸⁵ Gagnier, 2002, p.48.

⁸⁶ Vallée, 2000, p.14.

Nomenclature binominale⁸⁷ : Chaque espèce reçoit un nom constitué de deux mots latins ou latinisés : le premier est le nom du genre, suivi d'un terme descriptif ou géographique pour caractériser l'espèce.

Nourriture : Produit utilisé dans l'opération ayant pour objet d'incorporer au cuir ou pelleterie des quantités plus ou moins importantes de matières grasses, de dérivés de corps gras ou de produits de synthèse, en vue de communiquer au cuir ou pelleterie des propriétés particulières (souplesse, imperméabilité) etc.).

Peau plate : Peau qui après avoir subi un traitement de préservation n'est ni remplie et ni montée. Elle est principalement destinée l'étude.

Peptide : Composé de faible poids moléculaire constitué de la condensation d'au moins deux résidus d'acides aminés ou d'un nombre limité de ces résidus qui s'unissent sur un plan linéaire par des liaisons peptidiques entre la fonction amine libre du premier résidu et la fonction carboxyle intacte du dernier résidu de la chaîne.

Peroxyde : Composé chimique où un élément est combiné avec une quantité d'oxygène plus grande qu'elle ne serait nécessaire pour former un oxyde. L'eau oxygénée est un peroxyde d'hydrogène.

Phénol : Nom générique des dérivés hydroxylés des noyaux aromatiques.

Radical libre : État intermédiaire que prend un atome, un ion ou une molécule, qui laisse un électron libre sur son orbite externe, et qui a pour effet d'accroître sa réactivité à l'égard des molécules voisines.

Spécimen : Individu, objet, élément donnant une idée de l'espèce à laquelle il appartient.

Surfactif⁸⁸ : Dérivé des corps gras, d'acides gras ou d'autres substances hydrophobes. Il est obtenu en y greffant un groupement hydrophile.

Type⁸⁹ : Spécimen porte-nom qui sert d'étalon de référence pour déterminer l'application d'un nom scientifique à une espèce. Il est nommé holotype, car il est unique.

⁸⁷ Thiney, 2014, p.72.

⁸⁸ Chahine, 2013, p.449.

⁸⁹ Gagnier, 2002, p.47.

Taxidermie : Méthode de conservation d'un animal dans son attitude naturelle, avec son pelage ou son plumage. Opération par laquelle on donne à un animal mort l'apparence de la vie en assurant sa conservation.

Listes des abréviations

ADN : Acide désoxyribonucléique

EPI : Équipement de protection individuelle

FRX : Spectrométrie de fluorescence X

IRTF-RTA : Spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en réflexion totale atténuée

MHNN : Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel

MHT : *Micro Hot Table*

Liste des figures

Fig. 1 : Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel ©MHNN, 2016	9
Fig. 2 : Spécimen de Grand Pingouin conservé au MHNN ©MHNN, 1985.....	10
Fig. 3 : Frontispice du Museum Wormianum montrant l'intérieur du cabinet de curiosités de Ole Worm (1588-1654) ©Image Courtesy Smithsonian Libraries	11
Fig. 4 : Diorama du tigre au Musée zoologique de Finlande d'Helsinki ©Finnish Museum of Natural History, 2016	12
Fig. 5 : Peau de mammifère à l'étape du dépouillage ©Éditions Lechevalier, Boudarel et Didier, 1981	13
Fig. 6 : Cuve à saumure et peaux de mammifères ©Éditions de la Frégate, Larsen, 1945	14
Fig. 7 : Spécimen n°6, côté chair ©HECR Arc, Goetz, 2016	19
Fig. 8 : Spécimen n°6, côté poils ©HECR Arc, Goetz, 2016	19
Fig. 9 : Utilisation de l'analyseur FRX sur une peau plate ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	21
Fig. 10 : Fibres à la surface de la peau indiquant un bourrage du spécimen 1 ©HECR Arc, Goetz, 2016	25
Fig. 11 : Peau brune et fil indiquant un tannage à la fumée pour le spécimen 3 ©HECR Arc, Goetz, 2016	25
Fig. 12 : Spécimen n°8 ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	26
Fig. 13 : Spécimen n°17 ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	26
Fig. 14 : Dépôt poudreux blanc visible à la surface du côté chair de la peau 1 ©HECR Arc, Goetz, 2016	26
Fig. 15 : Épais cristaux visibles à la surface du derme du spécimen 14 ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	27
Fig. 16 : Fendillements visibles à la surface du derme du spécimen 3 ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	36
Fig. 17 : Délamination du derme observée sur le spécimen 11 ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	36
Fig. 18 : Surface collante du derme du spécimen 12, caractéristique de l'oxydation de graisses ©HECR Arc, Goetz, 2016	37
Fig. 19 : Brunissement du derme du spécimen 15 au contact de l'os ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	37
Fig. 20 : Vue microscopique des fibres du spécimen 9, immergées dans l'eau à température ambiante ©HECR Arc, Goetz, 2016	41
Fig. 21 : Vue microscopique des fibres du spécimen 15, immergées dans l'eau à température ambiante ©HECR Arc, Goetz, 2016	41
Fig. 22 : Équipement de protection individuelle pour la manipulation des spécimens d'histoire naturelle ©HECR Arc, 2016.....	62
Fig. 23 : Tiroirs d'armoire mobile servant à stocker les peaux au MHNN ©HECR Arc, Goetz, 2016....	62
Fig. 24 : En rouge, armoire mobile servant à stocker les peaux au MHNN ©HECR Arc, Goetz, 2016 .	62
Fig. 25 : Terminologie relative aux différentes parties de l'animal ©HECR Arc, Goetz, 2016	69

Fig. 26 : Fibres effilochées, déroulées, aplanies, fragmentées, rétrécies ©HECR Arc, Goetz, 2016	77
Fig. 27 : Fibres effilochées, déroulées, aplanies, fragmentées, rétrécies, agglomérées et d'aspect gélatineux ©HECR Arc, Goetz, 2016	77
Fig. 28 : Exemples d'échantillons prélevés pour notre étude, conservés dans des flacons en verre ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	82
Fig. 29 : Fonctionnement de l'analyseur Thermo Scientific™ Niton™ XL3t ©Thermo Fisher Scientific Inc.	83
Fig. 30 : Point d'analyse sur les spécimens ©HECR Arc, Goetz, 2016	84
Fig. 31 : Spectromètre IR-TF Thermo Scientific™ Nicolet™ iN™10 MX ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	86
Fig. 32 : Échantillons placés sur la lame porte-objet ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	87
Fig. 33 : Exemples d'échantillons de 100 mg coupés en fragments de 2 x 2 mm ©HECR Arc, Goetz, 2016	88
Fig. 34 : Installation mise en place pour l'agitation des extraits aqueux ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	89
Fig. 35 : Lecture de la valeur de pH après 60 secondes ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	89
Fig. 36 : Dispositif utilisé pour la détermination de la température de rétraction des échantillons ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	91
Fig. 37 : Lecture de la température sur l'écran de la sonde thermique reliée à la lame ©HECR Arc, Goetz, 2016	91
Fig. 38 : Coupe stratigraphique de la peau ©CNRS Éditions, Chahine, 2013	96
Fig. 39 : Molécule de collagène (a : structure secondaire, b : structure tertiaire, c: liaison hydrogène reliant les chaînes d'acides aminés) ©CNRS Éditions, Chahine, 2013	99

Liste des tableaux

Tableau 1 : Mise en relation des numéros d'identification des spécimens, propres à l'étude, avec leurs numéros d'inventaire du MHNN ©HECR Arc, Goetz, 2016	19
Tableau 2 : Altérations types observées sur les spécimens étudiés ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	20
Tableau 3 : Récapitulatif des résultats de l'identification des traitements de préservation ©HECR Arc, Goetz, 2016	22
Tableau 4 : Caractéristiques spectrales du collagène ©Derrick, 1991	28
Tableau 5 : Récapitulatif des résultats obtenus grâce à l'intensité et à la position des bandes d'absorption ©HECR Arc, Goetz, 2016	30
Tableau 6 : Récapitulatif des valeurs de pH et des indices de différence moyens obtenus avec un pH-mètre ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	34
Tableau 7 : Échelle de notation et critères associés pour l'évaluation du stade de dégradation des peaux par test de grattage ©HECR Arc, Goetz, 2016	39
Tableau 8 : Stades de dégradation attribués à chaque spécimen après le test de grattage ©HECR Arc, Goetz, 2016	39
Tableau 9 : Critères pour l'évaluation du stade de dégradation des peaux avec la méthode MHT ©Morana RTD, Badea et al., 2012 [en ligne].....	40
Tableau 10 : Récapitulatif des résultats moyens obtenus avec la méthode MHT ©HECR Arc, Goetz, 2016	40
Tableau 11 : Comparaison des états de conservation déterminés visuellement au début de l'étude, avec ceux évalués par méthodes scientifiques ©HECR Arc, Goetz, 2016	44
Tableau 12 : Caractéristiques des peaux selon les traitements de préservation ©HECR Arc, Goetz, 2016	45
Tableau 13 : Informations récoltées sur la base de données du MHNN, pour chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	63
Tableau 14 : Essais et analyses effectués sur chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	64
Tableau 15 : Récapitulatif des éléments identifiés par analyse FRX et de leurs pourcentages ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	64
Tableau 16 : Récapitulatif des valeurs de pH et des indices de différence obtenus avec un pH-mètre ©HECR Arc, Goetz, 2016	65
Tableau 17 : Récapitulatif des résultats obtenus avec la méthode MHT ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	65
Tableau 18 : Corrélation des traitements de préservation, des processus de dégradation, des valeurs de pH et de la température de rétraction de chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016	66
Tableau 19 : Nombres d'altérations observées pour chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	67
Tableau 20 : Corrélation des différentes données obtenues au cours de l'étude ©HECR Arc, Goetz, 2016	68

Liste des graphiques

Graphe 1 : Spectre du spécimen 1 avec détection d'arsenic ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	23
Graphe 2 : Spectre de l'échantillon de référence de collagène frais ©HECR Arc, Goetz, 2016	28
Graphe 3 : Différence entre les positions des bandes amide I et II des échantillons ©HECR Arc, Goetz, 2016	31
Graphe 4 : Rapport entre les hauteurs des bandes amide I et amide II des échantillons ©HECR Arc, Goetz, 2016	31
Graphe 5 : Résultats combinés des changements de position et de hauteur des bandes amide I et amide II indiquant des modifications du collagène dues à la dénaturation et à l'hydrolyse ©HECR Arc, Goetz, 2016	32
Graphe 6 : Spectre de la table en acier inoxydable sur laquelle ont été effectuées les analyses ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	92
Graphe 7 : Spectre du spécimen 16 sans détection d'arsenic ©HECR Arc, Goetz, 2016	93
Graphe 8 : Spectre du spécimen 5 avec positionnement des pics ©HECR Arc, Goetz, 2016	94
Graphe 9 : Interprétation du spectre du spécimen 5 avec les spectres de référence du collagène et de l'alun ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	94
Graphe 10 : Épaulement du spectre du spécimen 15 entre 1700 et 1750 cm ⁻¹ indiquant une oxydation du collagène de l'échantillon ©HECR Arc, Goetz, 2016.....	95

Annexes

Annexe 1 : Photographies



Fig. 22 : Équipement de protection individuelle pour la manipulation des spécimens d'histoire naturelle ©HECR Arc, 2016



Fig. 23 : Tiroirs d'armoire mobile servant à stocker les peaux au MHNN ©HECR Arc, Goetz, 2016



Fig. 24 : En rouge, armoire mobile servant à stocker les peaux au MHNN ©HECR Arc, Goetz, 2016

Annexe 2 : Tableaux

N° spécimen	Numéro inventaire	Famille	Espèce	Nom commun	Localisation	Sexe	Date	Légitaire
1	94.1933	Sciuridae	<i>Ratufa affinis</i>	Écureuil à ventre doré	Java	féfelle	1828	Borel-Lagnier
2	94.2435	Caviidae	<i>Cavia porcellus</i>	Cochon d'Inde	Brésil		1798-1850	Dubois de Montperreux
3	94.1117	Talpidae	<i>Scalopus aquaticus</i>	Taupe à queue glabre	Amérique du Nord		1838-1862	Tschudi
4	94.1389G	Mustelidae	<i>Mustela erminea</i>	Hermine	Vevey, VD, Suisse		1858	Coulon, Frédéric de
5	94.1338	Canidae	<i>Canis adustus</i>	Chacal à flancs rayés	Angola		12.1932	
6	94.1682A	Canidae	<i>Vulpes vulpes</i>	Renard roux	Chaumont, NE, Suisse	mâle adulte	6.1956	Vuitel, James
7	94.1418B	Mustelidae	<i>Meles meles</i>	Blaireau			1956-1957	Spoerri, Adolphe
8	94.2660A	Mustelidae	<i>Meles meles</i>	Blaireau	NE, Suisse	mâle	3.1.1957	
9	94.1804	Suidae	<i>Sus scrofa</i>	Sanglier	Le Landeron, NE, Suisse	mâle	29.2.1964	Zbinden
10	94.1710	Mustelidae	<i>Lutra lutra</i>	Loutre d'Europe	Finlande		3.3.1969	Granquist Eirik
11	94.2493	Leporidae	<i>Lepus capensis</i>	Lièvre	La Corbatière, NE, Suisse (1080m)	mâle	5.11.1971	Balmer
12	94.1681	Canidae	<i>Vulpes vulpes</i>	Renard roux	Tozeur, Tunisie	féfelle adulte	4.1975	Spatre
13	94.1706	Mustelidae	<i>Meles meles</i>	Blaireau	Cressier, NE, Suisse	mâle	10.9.1985	
14	94.2031	Castoridae	<i>Castor fiber</i>	Castor d'Europe	Vieille Thielle, NE, Suisse	féfelle	10.12.1988	
15	94.2534	Mustelidae	<i>Meles meles</i>	Blaireau	Lignières, NE, Suisse	féfelle	24.3.1990	Hinterman Ph.
16	94.2536	Bovidae	<i>Bison bison</i>	Bison d'Amérique du Nord	Jardin zoologique de Servion, Suisse	mâle	21.3.1991	
17	94.2960	Mustelidae	<i>Meles meles</i>	Blaireau				

Tableau 13 : Informations récoltées sur la base de données du MHNN, pour chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016

N° spécimen	Analyses FRX	Analyses IRTF-RTA	Mesures pH	Méthode MHT
1	X	X	X	X
2	X		X	X
3	X			X
4	X		X	X
5	X	X	X	X
6	X	X	X	X
7	X	X	X	X
8	X		X	X
9	X	X	X	X
10	X		X	X
11	X	X	X	X
12	X	X	X	X
13	X		X	X
14	X	X	X	X
15	X	X	X	X
16	X	X	X	X
17 (P1)	X	X	X	X
17 (P2)			X	
17 (P3)			X	

Tableau 14 : Essais et analyses effectués sur chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016

N° spécimen	Analyses FRX	%
1	As	1.729
2	As	1.351
3	As, Hg	0.049 d'As
4	As	0.626
5	As	0.049
6	-	-
7	As	0.028
8	As	0.013
9	-	-
10	-	-
11	-	-
12	As	0.258
13	-	-
14	-	-
15	-	-
16	-	-
17	-	-

Tableau 15 : Récapitulatif des éléments identifiés par analyse FRX et de leurs pourcentages ©HECR Arc, Goetz, 2016

N° spécimen	1er essai		2e essai		Moyenne	
	pH	Indice de différence	pH	Indice de différence	pH	Indice de différence
1	4.05	*	-	-	4.05	*
2	3.83	0.63	-	-	3.83	0.63
3	-	-	-	-	-	-
4	4.61	*	-	-	4.61	*
5	3.35	0.39	3.48	0.5	3.42	0.45
6	3.52	0.43	-	-	3.52	0.43
7	3.31	0.38	-	-	3.31	0.38
8	3.82	0.43	-	-	3.82	0.43
9	3.54	-	3.77	0.18	3.66	0.18
10	3.72	0.34	-	-	3.72	0.34
11	3.82	0.6	-	-	3.82	0.6
12	3.47	0.46	-	-	3.47	0.46
13	4.09	*	-	-	4.09	*
14	5.03	*	-	-	5.03	*
15	3.45	0.4	-	-	3.45	0.4
16	3.88	0.52	3.95	0.64	3.92	0.58
17 (P1)	3.64	0.46	-	-	3.64	0.46
17 (P2)	3.65	0.38	-	-	3.65	0.38
17 (P3)	3.61	0.45	3.75	0.35	3.68	0.4

* Indice de différence non calculé, car le pH est supérieur à 4.00

Tableau 16 : Récapitulatif des valeurs de pH et des indices de différence obtenus avec un pH-mètre ©HECR Arc, Goetz, 2016

N° spécimen	1er essai				2e essai				Moyenne			
	Ti	Ts	Tf	ΔT	Ti	Ts	Tf	ΔT	Ti	Ts	Tf	ΔT
1	44.8	46.4	52.2	7.4	-	-	-	-	44.8	46.4	52.2	7.4
2	39.9	45.6	52.4	12.5	-	-	-	-	39.9	45.6	52.4	12.5
3	46.5	48.5	56.1	9.6	-	-	-	-	46.5	48.5	56.1	9.6
4	Inexploitable											
5	32.4	38.5	51.8	19.4	33.8	37	54.6	20.8	33.1	37.8	53.2	20.1
6	38.7	39.9	51.6	12.9	32.8	35.6	52	19.2	35.8	37.8	51.8	16.1
7	33.2	*	74.7	41.5	30	*	79.1	49.1	31.6	*	76.9	45.3
8	36.9**				34.2**				35.6			
9	33.6	*	86.9***		-	-	-	-	33.6	*	86.9***	
10	34.9	39.2	64.3	29.4	-	-	-	-	34.9	39.2	64.3	29.4
11	39.1	41.5	77.9	38.8	-	-	-	-	39.1	41.5	77.9	38.8
12	34.2**				-	-	-	-	34.2**			
13	37.3	45.2	78.5	41.2	-	-	-	-	37.3	45.2	78.5	41.2
14	45.3	60.8	64.9	19.6	46	58.3	65.6	19.6	45.7	59.6	65.3	19.6
15	37.1	*	68.5	31.4	-	-	-	-	37.1	*	68.5	31.4
16	52.4	63	67.6	15.2	58.3	60.6	69.8	11.5	55.4	61.8	68.7	13.4
17	33.8	41.2	69.2	35.4	-	-	-	-	33.8	41.2	69.2	35.4

*La température de rétraction n'a pas été observée durant l'essai.

**Quelques fibres se sont rétractées, puis l'activité de rétraction a stoppé.

*** Dernière activité de rétraction observée. La haute température ne nous a pas permis de continuer l'essai.

Tableau 17 : Récapitulatif des résultats obtenus avec la méthode MHT ©HECR Arc, Goetz, 2016

N° spécimen	Date	Traitements supposés	Analyse IRTF	pH	Ts
1	1828	Savon arsenical Séchage à l'air avec matériau fibreuse absorbant		4.05	46.4
2	1798-1850	Savon arsenical Tannage à la fumée		3.83	45.6
3	1838-1862	Savon arsenical Tannage à la fumée		-	48.5
4	1858	Savon arsenical Tannage à la fumée		4.61	-
5	12.1932	Semi-tannage à l'alun Savon arsenical	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.42	37.8
6	6.1956	Semi-tannage à l'alun	•hydrolyse •dénaturation	3.52	37.8
7	1956-1957	Savon arsenical	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.31	*
8	3.1.1957	Semi-tannage à l'alun Savon arsenical		3.82	**
9	29.2.1964	?	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.66	*
10	3.3.1969	?		3.72	39.2
11	5.11.1971	Lubrification de la peau Dégraissage de la fourrure avec sciure de bois et solvant	•hydrolyse •dénaturation	3.82	41.5
12	4.1975	Savon arsenical Huile de nourriture composée de monooléate de glycéryle		3.47	**
13	10.9.1985	Séchage à l'air ?		4.09	45.2
14	10.12.1988	Salage ou saumurage	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	5.03	59.6
15	24.3.1990	Séchage à l'air ?	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.45	*
16	21.3.1991	?	•hydrolyse •dénaturation	3.92	61.8
17 (P1)	-	Semi-tannage à l'alun		3.64	41.2
17 (P2)				3.65	
17 (P3)				3.68	

*La température de rétraction n'a pas été observée durant l'essai.

**Quelques fibres se sont rétractées, puis l'activité de rétraction a stoppé.

Tableau 18 : Corrélation des traitements de préservation, des processus de dégradation, des valeurs de pH et de la température de rétraction de chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016

		Spécimens																
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Altérations structurelles	Rigide	X	X	X	X	X		X	X		X			X	X	X		X
	Cassure	X	X	X	X	X			X									X
	Déchirure			X								X	X					
	Trou	X	X	X	X	X	X	X	X		X	X		X	X	X	X	X
	Plissement		X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X				X
	Manque		X	X	X						X							X
	Parties mobiles		X	X									X					X
	Translucide	X	X	X	X								X			X		
	Jaunissement					X		X	X	X	X	X	X	X	X			
	Brunissement		X	X	X				X			X	X			X		X
	Fendillement		X	X	X													
	Délamination	X	X	X	X	X						X					X	
	Effritement								X									X
	Efflorescence					X	X								X			
	Dépôt poudreux	X	X	X		X	X	X	X							X		X
	Total	6	11	12	9	8	4	5	8	2	5	6	6	4	4	5	2	9
Altérations poils	Ternissement	X		X	X	X								X	X	X		
	Décoloration	X		X	X	X		X		X			X	X	X	X	X	
	Pelage parsemé	X	X	X		X		X	X	X				X	X	X		
	Dépôts exogène					X	X		X						X	X		X
	Total	3	1	3	2	4	1	2	2	2	0	0	1	3	4	4	1	1
Altérations microscopiques	Effilochement	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Déroulement	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Aplanissement	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Fragmentation	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Rétrécissement	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
	Agglomération								X	X	X		X			X		X
	Aspect gélatineux								X	X			X			X		X
	Dissolution																	
	Total	5	5	5	5	5	5	5	7	7	6	5	7	5	5	7	5	7

Tableau 19 : Nombres d'altérations observées pour chaque spécimen ©HECR Arc, Goetz, 2016

N° spécimen	Date	Traitements supposés	Analyse IRTF	pH	MHT	Grattage	Altérations peau	Altérations poils	Altérations microscopiques
1	1828	Savon arsenical Séchage à l'air avec matériau fibreux absorbant		4.05	2	2	6	3	5
2	1798-1850	Savon arsenical Tannage à la fumée		3.83	2.5	2	11	1	5
3	1838-1862	Savon arsenical Tannage à la fumée		-	1.5	1	12	3	5
4	1858	Savon arsenical Tannage à la fumée		4.61	-	2	9	2	5
5	12.1932	Semi-tannage à l'alun Savon arsenical	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.42	4	4	8	4	5
6	6.1956	Semi-tannage à l'alun	•hydrolyse •dénaturation	3.52	3.5	4	4	1	5
7	1956-1957	Savon arsenical	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.31	4	1	5	2	5
8	3.1.1957	Semi-tannage à l'alun Savon arsenical		3.82	3	3	8	2	7
9	29.2.1964	?	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.66	4	1	2	2	7
10	3.3.1969	?		3.72	4	3	5	0	6
11	5.11.1971	Lubrification de la peau Dégraissage de la fourrure avec scture de bois et solvant	•hydrolyse •dénaturation	3.82	3	1	6	0	5
12	4.1975	Savon arsenical Huile de nourriture composée de monooléate de glycérile		3.47	4	2	6	1	7
13	10.9.1985	Séchage à l'air ?		4.09	2.5	2	4	3	5
14	10.12.1988	Salage ou saumurage	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	5.03	1	1	4	4	5
15	24.3.1990	Séchage à l'air ?	•hydrolyse •oxydation •dénaturation	3.45	3	1	5	4	7
16	21.3.1991	?	•hydrolyse •dénaturation	3.92	1	1	2	1	5
17 (P1)	-	Semi-tannage à l'alun		3.64	3.5	4	9	1	7
17 (P2)				3.65					
17 (P3)				3.68					

Tableau 20 : Corrélation des différentes données obtenues au cours de l'étude ©HECR Arc, Goetz, 2016

Annexe 3 : Fiches d'identification et de constat d'état

Terminologie

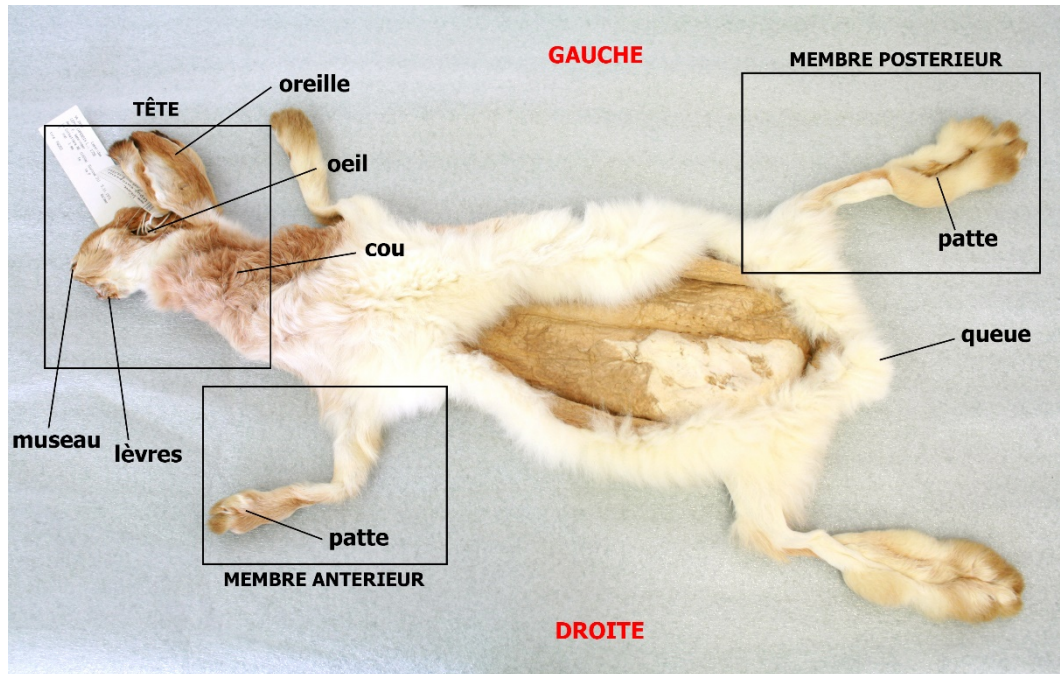


Fig. 25 : Terminologie relative aux différentes parties de l'animal ©HECR Arc, Goetz, 2016

Définition des états de dégradation⁹⁰

Bon : L'objet est dans un bon état général de conservation, est légèrement endommagé, mais stable, et ne nécessite pas une intervention immédiate (correspond au stade de dégradation 1).

Passable : L'objet est endommagé ou déformé, mais stable, et ne nécessite pas une intervention immédiate (correspond au stade de dégradation 2).

Mauvais : L'objet est endommagé, instable, et nécessite une intervention (correspond au stade de dégradation 3).



Inacceptable : L'objet est gravement endommagé, instable, et/ou affaibli ; une action immédiate doit être entreprise (correspond au stade de dégradation 4).

⁹⁰ Constat d'état, 2011 [en ligne].





Glossaire visuel des altérations




Sauf mention contraire, les définitions suivantes sont celles données par le Centre de conservation du Québec⁹¹. Crédits photographiques : ©HECR Arc, Goetz, 2016

Altérations structurelles côté chair





Altération	Description et exemple visuel
Rigide	<p>Peau ferme, qui résiste à la pression ou à la déformation lorsqu'elle est tenue à deux mains.</p> 
Cassure	<p>Généralement observable sur des peaux rigides. Rupture nette et soudaine. La rupture est déjà présente au moment de l'examen ou elle apparaît en rabattant la peau légèrement sur elle-même.</p> 




⁹¹ Glossaire visuel des altérations, 2013 [en ligne].

Déchirure	<p>Généralement observable sur des peaux plus souples. Rupture visible dans la peau, avec des bords irréguliers et effilochés.</p> 
Trou	<p>Ouverture pratiquée dans la peau.</p> 
Plissement	<p>Déformation produisant un ensemble de plis. Un pli est la déformation d'une matière souple rabattue sur elle-même.</p> 
Manque	<p>Perte locale à la suite d'un incident ou d'une détérioration.</p> 

<p>Parties mobiles, descellement</p>	<p>Séparation partielle ou complète du spécimen en deux ou plusieurs éléments à la suite d'un incident ou d'une détérioration.</p> <div data-bbox="568 327 1067 698"></div> <div data-bbox="1083 327 1422 698"></div>
<p>Translucide</p>	<p>Peau qui se laisse traverser par la lumière sans toutefois être transparente.</p> <div data-bbox="692 813 1300 1216"></div>



Altérations de surface côté chair


Altérations	Description et exemple visuel
Jaunissement	<p>Modification uniforme ou irrégulière de la couleur originale de la peau qui prend une teinte jaunâtre, voire jaune-orangé.</p>  <p>Peau non tannée avant et après jaunissement :</p> 
Brunissement	<p>Modification uniforme ou irrégulière de la couleur originale de la peau qui prend une teinte brunâtre, voire noire.</p> 
Fendillement	<p>Formation de nombreuses petites fentes parallèles et rapprochées.</p> 

Délamination	<p>Séparation des couches de la peau.</p> 
Effritement	<p>Disposition de la peau à se réduire en menus fragments, en poudre. Les fragments sont déjà visibles lors de l'examen ou ils se détachent de la peau lorsque la surface est légèrement grattée avec l'ongle.</p> 
Efflorescence	<p>Dépôt de cristaux blancs visibles à la surface de la peau, résultant de l'évaporation d'une eau saturée de sels solubles.</p> 

Dépôt poudreux	<p>Présence d'une fine poudre blanche à la surface du côté chair, en plus ou moins grande quantité.</p> 
----------------	--

Altérations des poils

Altérations	Description et exemple visuel
Ternissement	<p>Diminution générale de l'éclat, du brillant du pelage.</p> 
Décoloration	<p>Perte d'intensité de la couleur du pelage. Il est conseillé d'évaluer la perte d'intensité en comparant le spécimen avec des photographies d'animaux vivants de la même espèce.</p>  <p>© Larousse</p>

Pelage parsemé	<p>Perte locale des poils à la suite d'un incident ou d'une détérioration.</p> 
Dépôt exogène	<p>Résidu qui s'est déposé et a adhéré au poil.</p> 

Altérations microscopiques

Altérations	Description
Effilochement	État d'une fibre qui s'effile, dont les fibrilles sont visibles.
Déroulement	La fibre n'est plus torsadée et s'est étendue en longueur.
Aplanissement	La fibre est plane et unie. Les inégalités et aspérités ont disparu.
Fragmentation	Partie détachée de la fibre à la suite d'une cassure.
Rétrécissement	Déformation occasionnant la diminution des dimensions originales de la fibre.
Agglomération	Les fibres adhèrent les unes aux autres. Leur séparation est difficile, voire impossible.
Aspect gélatineux	Les fibres ont la consistance et les caractères de la gélatine.
Dissolution	Dispersion à l'état moléculaire de la fibre dans l'eau en obtenant un milieu homogène.

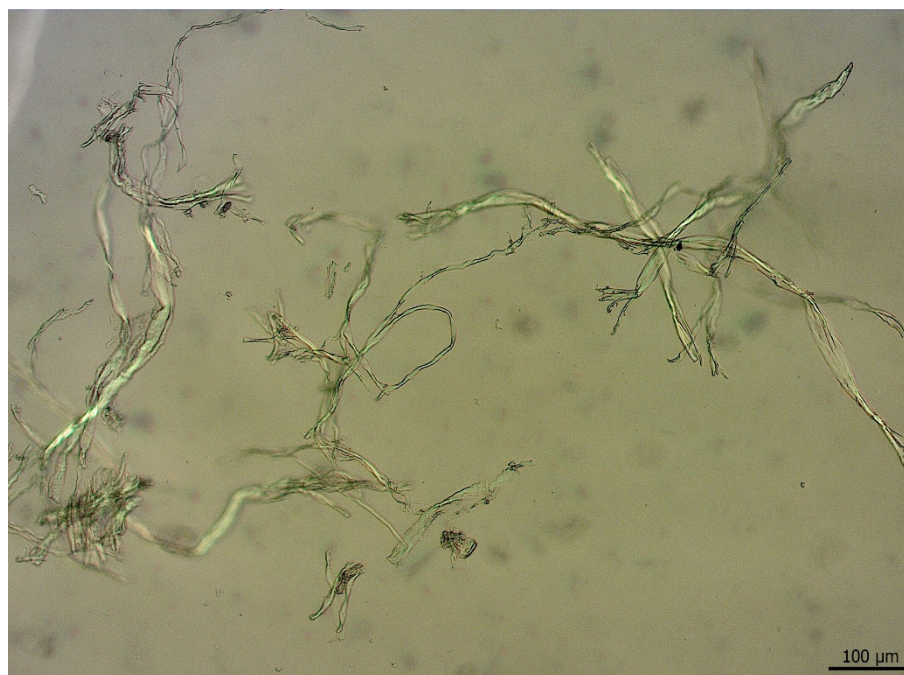


Fig. 26 : Fibres effilochées, déroulées, aplanies, fragmentées, rétrécies ©HECR Arc, Goetz, 2016

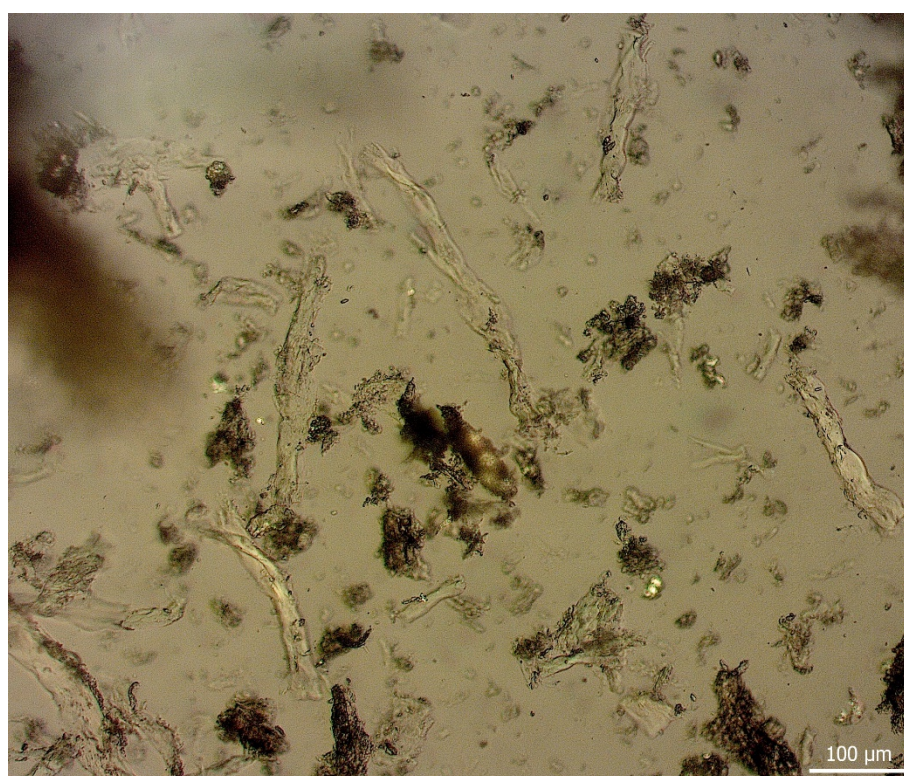


Fig. 27 : Fibres effilochées, déroulées, aplanies, fragmentées, rétrécies, agglomérées et d'aspect gélatineux ©HECR Arc, Goetz, 2016

Exemple de fiche d'identification et de constat d'état

FICHE D'IDENTIFICATION et CONSTAT D'ÉTAT		
IDENTIFICATION ET EXAMEN DU SPÉCIMEN		
		
<u>N° d'identification :</u>	<u>N° d'inventaire :</u>	<u>Date de legs :</u>
2	94.2435	1798-1850 (date de vie du légataire)
<u>Nom binominal :</u>	<u>Nom commun :</u>	<u>Famille :</u>
<i>Cavia Porcellus</i>	Cochon d'Inde	Caviidae
<u>Localisation :</u>	<u>Légataire :</u>	<u>Dimensions :</u>
Brésil	Frédéric Dubois de Montperreux	Longueur (cm) = 21.5 Largeur (cm) = 16.0 Épaisseur (mm) ≈ 0.02
<u>Description :</u> <p>Peau plate de petite taille. Le spécimen a été récolté et préparé lors d'une expédition. Une incision ventrale unique, effectuée durant l'étape de dépouillage, a été pratiquée de la lèvre inférieure jusqu'au bas ventre. Après dépouillage et dégraissage, la peau a été abondamment enduite de savon arsenical afin d'éviter la décomposition des tissus organiques et les attaques d'insectes. Elle a été probablement tannée à la fumée, comme l'indiquent sa couleur brune caractéristique et les trous laissés par les fils qui ont servi à la tendre sur un cadre. Les os des pattes antérieures et postérieures sont encore présents. Le crâne écharné a été gardé. Il est conservé dans une boîte transparente en plastique.</p>		
CONSTAT D'ÉTAT		
<u>État général :</u> Passable		
<u>Côté chair :</u>		
Altérations structurelles	Détails et localisation	
<input checked="" type="checkbox"/> Rigide		
<input checked="" type="checkbox"/> Cassure	Cassures visibles au niveau de la patte antérieure droite, du museau et des lèvres.	
<input type="checkbox"/> Déchirure		
<input checked="" type="checkbox"/> Trou	Trous à distance régulière sur le pourtour de la peau. Ils ont sans doute été réalisés pour tendre la peau durant son séchage.	
<input checked="" type="checkbox"/> Plissement		
<input checked="" type="checkbox"/> Manque	Partie distale du membre antérieur gauche.	
<input checked="" type="checkbox"/> Parties mobiles, descellement	Patte antérieure droite.	
<input checked="" type="checkbox"/> Translucide	Ponctuellement dans les zones de plis.	

Altérations de surface	Détails et localisation
<input type="checkbox"/> Jaunissement	
<input checked="" type="checkbox"/> Brunissement	Non-homogène.
<input checked="" type="checkbox"/> Fendillement	Fissures régulières et parallèles les unes par rapport aux autres sur l'ensemble de la surface.
<input checked="" type="checkbox"/> Délamination	Délamination sous forme d'écailles visibles sur les pattes postérieures et sur certaines zones du côté chair.
<input type="checkbox"/> Effritement	
<input type="checkbox"/> Efflorescence	
<input checked="" type="checkbox"/> Dépôt poudreux	Dépôt blanchâtre non-homogène principalement visible dans le réseau de fissures.



Fig. 1 : Fils passant par les trous sur le pourtour de la peau



Fig. 2 : Fissures et dépôt blanchâtre

Côté poils :

Altérations	Détails et localisation
<input type="checkbox"/> Ternissement	
<input type="checkbox"/> Décoloration	
<input checked="" type="checkbox"/> Pelage parsemé	Sur certaines zones du dos et des joues. Des poils arrachés encore fixés l'épiderme sont présents dans le pelage.
<input type="checkbox"/> Dépôt exogène	

Altérations microscopiques :

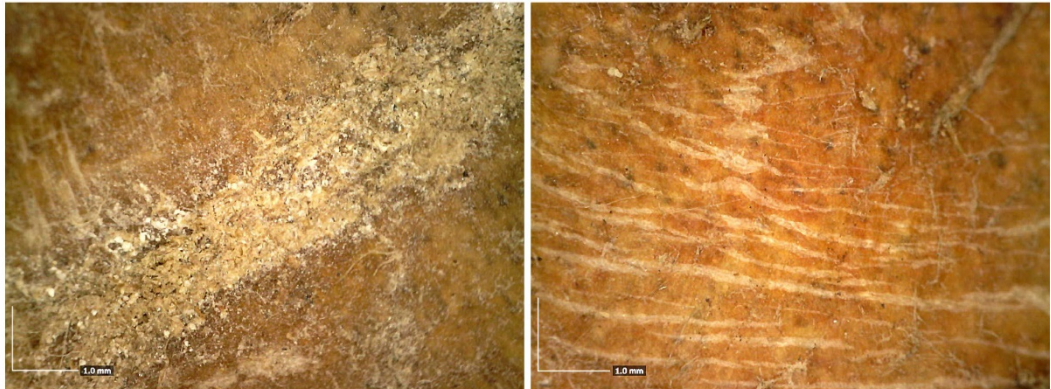



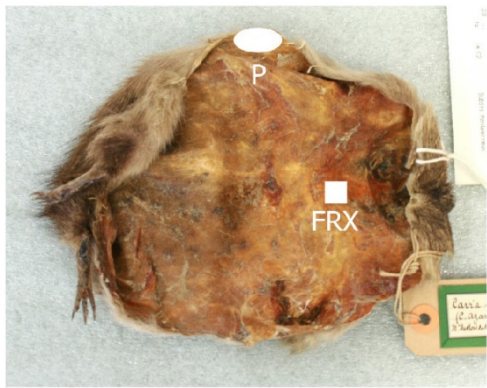
Fig. 3 et 4 : Vue de la surface du côté chair, avec microscope numérique portable Dino-Lite

Description de surface :

La surface du côté chair est grasseuse (Fig. 3). Les fibres du derme ne sont pas visibles. Des fissures parallèles sont présentes (Fig. 4). Le dépôt blanc poudreux se trouve à la surface de la couche grasseuse.

Altérations des fibres	Photographie
<input checked="" type="checkbox"/> Effilochement	
<input checked="" type="checkbox"/> Déroulement	
<input checked="" type="checkbox"/> Aplatissement	
<input checked="" type="checkbox"/> Fragmentation	
<input checked="" type="checkbox"/> Rétrécissement	
<input type="checkbox"/> Agglomération	
<input type="checkbox"/> Aspect gélatineux	
<input type="checkbox"/> Dissolution	

Examens et analyses complémentaires effectués :



- Analyse FRX réalisée le 9/06/2016 :
Détection d'arsenic
- Mesure de pH réalisée le 20/06/2016 :
Échantillon prélevé : 100 mg
pH obtenu : 3.83
- Détermination de la température de rétractation effectuée le 24/06/2016 :
Échantillon prélevé : 0.3 mg
Température de rétractation : 45.6°C

Annexe 4 : Protocoles

Prélèvement des échantillons

Principe

Selon la norme NF EN 16085 « Conservation des biens culturels - Méthodologie d'échantillonnage des matériaux – Règles générales », un échantillon est une portion de matériau, idéalement représentative, prélevée sur le bien culturel à des fins de recherche scientifique. L'échantillonnage est le processus de prélèvement d'un échantillon.

L'échantillonnage des spécimens de notre corpus d'étude s'effectue en vue d'une étude scientifique visant à identifier les traitements de préservation appliqués sur les peaux, à évaluer l'état de dégradation de ces dernières et à déterminer les processus et les causes de détérioration.

Le prélèvement d'échantillons est un acte invasif qui modifie physiquement l'objet. Il faut donc que le recours au prélèvement soit justifié et se fasse en accord avec les responsables du bien culturel et les personnes qui effectueront l'étude des échantillons.

Outils

- Brucelle fine
- Spatule double
- Scalpel
- Flacons en verre pour l'échantillonnage
- Étiquettes autocollantes
- Crayon de papier
- Balance analytique, permettant de peser à 0,1 mg près
- Éthanol
- Gants

Protocole

Le prélèvement d'échantillons a été effectué sans intervenant, le 12 juin 2016 au Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel. Le matériel utilisé est bien nettoyé à l'éthanol avant chaque utilisation, pour éviter toute contamination des échantillons. Les prélèvements s'effectuent avec l'équipement de protection individuelle en raison de la présence d'arsenic sur certains spécimens.

1. Définir et justifier un plan d'échantillonnage soumis aux divers protagonistes de l'étude.
2. Après accord de l'autorité responsable de l'entretien du bien culturel, de l'enseignant référent de l'étude et des personnes qui effectueront les analyses, prélever des fragments côté chair de la peau, avec un scalpel.

Procéder à l'échantillonnage de manière à réduire au maximum tout effet visible et/ou perturbateur/détériorant et, si possible, à partir d'un emplacement aussi discret que possible. L'échantillon prélevé doit être le plus représentatif de l'état de dégradation global du spécimen.

3. Avec la balance, peser la quantité d'échantillons exacte nécessaire pour chaque essai et analyse : 100 mg pour les mesures de pH, 2 mg pour les analyses IRTF et 0.3 mg pour la méthode MHT. Tous les prélèvements sont effectués dans la même zone de la peau pour garantir la comparaison des résultats.
4. Mettre chaque échantillon dans un flacon en verre individuel et l'identifier en y collant une étiquette adhésive marquée avec le numéro de spécimen. Les échantillons du spécimen 17 étant prélevés dans trois zones distinctes, nous les nommerons 17(P1), 17(P2) et 17(P3).



Fig. 28 : Exemples d'échantillons prélevés pour notre étude, conservés dans des flacons en verre ©HECR Arc, Goetz, 2016

5. Les données d'échantillonnage sont intégrées dans les fiches d'identification et de constat d'état de tous les spécimens. Elles indiquent la date de prélèvement de l'échantillon, l'emplacement du point de prélèvement, la quantité prélevée et les résultats obtenus.

Identification des traitements de préservation par spectrométrie de fluorescence X

Principe

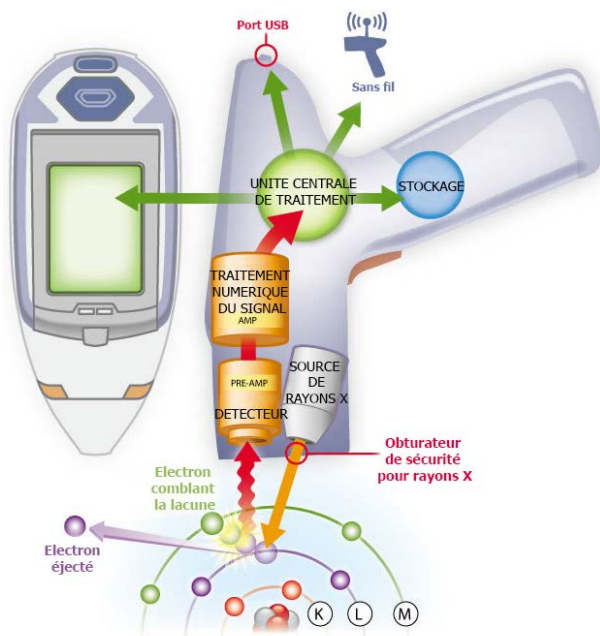


Fig. 29 : Fonctionnement de l'analyseur Thermo Scientific™ Niton™ XL3t © Thermo Fisher Scientific Inc.

L'analyseur de fluorescence X portable⁹² utilisé (Thermo Scientific™ Niton™ XL3t GOLDD+) projette un faisceau de rayons X sur l'échantillon à analyser. Ce faisceau est obtenu au moyen d'un tube à rayons X constitué d'une source d'électrons. Les rayons X, d'énergie suffisante, vont déloger les électrons des couches internes des atomes présents. Pour que l'atome retrouve sa stabilité, les électrons des couches plus externes vont se déplacer au niveau d'énergie supérieur pour remplir la lacune électronique qui s'est créée. Lors de ce déplacement, l'électron va émettre un rayonnement X qui dépend de la différence d'énergie entre les deux couches électroniques. Chacun des éléments composant l'échantillon va donc produire un ensemble unique

de rayons X qui lui est caractéristique. Le spectre des rayons X détecté et traité par l'analyseur, durant le processus, va révéler un certain nombre de pics caractéristiques. Les énergies des pics permettent d'identifier les éléments chimiques présents dans l'échantillon.

Outils

- Analyseur de fluorescence X portable Thermo Scientific™ Niton™ XL3t GOLDD+ (Tube Ag anode 50kV et 200 µA, détecte les éléments de Mg à U)
- Ordinateur portable équipé du logiciel NDT (Niton Data Transfer)
- Chambre hermétique Thermo Scientific™ SmartStand™
- Échantillon d'un alliage connu « Tin check »
- Film transparent de polyester, type Mylar®
- Ruban adhésif

⁹² Péquignot, 2008, p.5.

Protocole avec analyseur portable

Les analyses ont été effectuées le 9 juin 2016, au Musée d'histoire naturelle de Neuchâtel, par Tobias Schenkel.

1. Sortir l'analyseur de fluorescence X portable de sa mallette et scotcher le film transparent devant la fenêtre de détection pour éviter la contamination de la zone d'analyse.
2. Mettre en marche l'analyseur. Vérifier l'étalonnage de l'appareil en plaçant la fenêtre de l'analyseur sur l'échantillon « Tin check », dont la part des éléments métalliques le constituant est connue. Pour débiter l'analyse, appuyer simultanément sur le bouton orange et sur celui situé au bas de l'écran de l'appareil. Maintenir la position durant la minute d'analyse. Vérifier sur l'écran que la part des éléments métalliques détectés correspond à la part connue de l'échantillon.
3. Paramétrer l'appareil en mode Mining, avec une durée d'analyse de 20 secondes.
4. De la même façon qu'à l'étape 2., analyser la surface de la table en acier inoxydable sur laquelle sont effectuées les analyses. Le spectre obtenu permet d'éliminer les éléments chimiques parasites provenant de la table lors de l'analyse des peaux plates.
5. Analyser ensuite les 17 peaux du corpus étudié. Le point d'analyse se situe toujours côté chair, entre les deux membres antérieurs de l'animal. Noter à chaque nouvelle analyse, le numéro d'analyse et la peau associée.

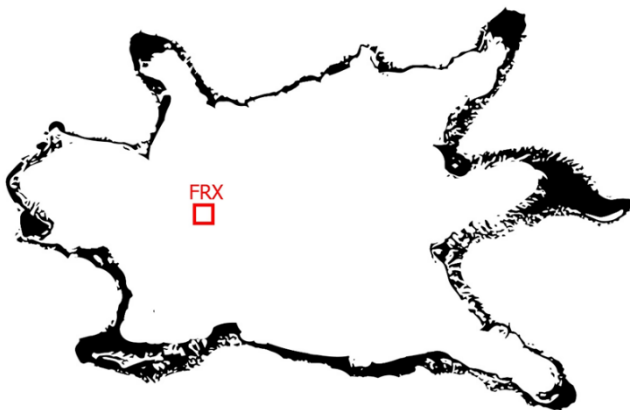


Fig. 30 : Point d'analyse sur les spécimens ©HECR Arc, Goetz, 2016

6. Une fois les analyses achevées, transférer des données récoltées sur un ordinateur portable équipé du logiciel NDT (Niton Data Transfer). Avec le logiciel, réaliser le spectre de chaque peau en désactivant la détection automatique des pics et attribuer manuellement les éléments qui nous intéressent aux pics correspondants.

Protocole avec analyseur en chambre hermétique

Les analyses ont été effectuées le 22 juin 2016, à la Haute École Arc de Neuchâtel, par Tobias Schenkel.

1. Sortir l'analyseur de fluorescence X portable de sa mallette et le fixer sous la chambre hermétique à l'endroit prévu à cet effet. Scotcher le film transparent devant la fenêtre de détection située à l'intérieur de la chambre pour éviter la contamination de la zone d'analyse.
2. Brancher l'analyseur sur l'ordinateur portable équipé du logiciel NDT (Niton Data Transfer) et le mettre en marche. Vérifier l'étalonnage de l'appareil en plaçant l'échantillon « Tin check », dont la part des éléments métalliques le constituant est connue, devant la fenêtre d'analyse à l'intérieur de la chambre. Débuter l'analyse en déclenchant l'analyseur avec le logiciel NDT. Après la minute d'analyse, vérifier sur l'ordinateur que la part des éléments métalliques détectés correspond à la part connue de l'échantillon.
3. Paramétrer l'appareil en mode Mining, avec une durée d'analyse de 4 minutes.
4. De la même façon qu'à l'étape 2., analyser le bruit de fond de la chambre hermétique. Le spectre obtenu permet d'éliminer les éléments chimiques parasites provenant de la chambre lors de l'analyse des échantillons de peaux.
5. Analyser ensuite les deux échantillons, dont nous savons qu'ils ont été traités à l'alun, en les plaçant devant la fenêtre d'analyse à l'intérieur de la chambre. Noter à chaque nouvelle analyse, le numéro d'analyse et l'échantillon associé.
6. Une fois les analyses achevées, réaliser le spectre de chaque échantillon de peau en désactivant la détection automatique des pics et attribuer manuellement les éléments qui nous intéressent aux pics correspondants.

Analyse par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier en réflexion totale atténuée

Principe



*Fig. 31 : Spectromètre IR-TF Thermo Scientific™ Nicolet™ iN™10 MX
©HECR Arc, Goetz, 2016*

Le spectromètre infrarouge à transformée de Fourier⁹³ envoie un rayonnement infrarouge sur l'échantillon à analyser. Le domaine infrarouge entre 4000 cm^{-1} et 400 cm^{-1} correspond au domaine d'énergie de vibration des molécules. Lorsque l'énergie apportée par le rayonnement est proche de l'énergie de vibration des molécules de l'échantillon, celles-ci vont absorber le rayonnement et l'intensité du rayonnement transmis ou réfléchi va donc diminuer. Le rayonnement reçu par le détecteur du spectromètre va être transformé en signal électrique qui va lui-même être converti en un spectre infrarouge par une opération mathématique appelée transformée de Fourier. L'appareil va ainsi mesurer les longueurs d'onde auxquelles le matériau absorbe et les

intensités de l'absorption. Le spectre obtenu est ensuite comparé, à l'aide d'un logiciel, avec des bandes de vibrations caractéristiques, afin d'identifier les composés présents dans l'échantillon.

Outils

- Spectromètre IR-TF Thermo Scientific™ Nicolet™ iN™10 MX
- Cristal de germanium ATR Thermo Scientific™ Smart iTR™
- Ordinateur équipé du logiciel Thermo Scientific™ OMNIC™ Picta
- Lame porte-objet en verre métallisé
- Éthanol

Protocole

Les analyses ont été effectuées le 21 juin 2016, à la Haute École Arc de Neuchâtel, par Laura Brambilla.

1. Alors que Laura Brambilla met en marche le spectromètre et le remplit d'azote liquide pour refroidir le détecteur durant les analyses, placer échantillons sélectionnés de 2 mg sur la lame porte-objet, préalablement nettoyée à l'éthanol, dans l'ordre croissant des spécimens. Bien noter le numéro de positionnement de chaque échantillon, inscrit sur la lame.

⁹³ Derrick *et al.*, 1999, p.69.



Fig. 32 : Échantillons placés sur la lame porte-objet ©HECR Arc, Goetz, 2016

2. Placer la lame à l'endroit dédié sur le spectromètre.
3. Avec le logiciel OMNIC™ Picta, sélectionner le numéro de positionnement de l'échantillon à analyser et grâce à la caméra digitale intégrée, pointer le viseur sur la zone à analyser.
4. Les analyses étant réalisées en réflexion totale atténuée, nettoyer le cristal de germanium ATR avec de l'éthanol et le placer au-dessus de la lame à l'endroit dédié sur le spectromètre.
5. Démarrer les analyses avec le logiciel.
6. Une fois le spectre de l'échantillon obtenu, le comparer avec les spectres de référence de la base de données et grâce à l'interprétation de Laura Brambilla et à la mise en parallèle des éléments connus du spécimen analysé, définir le composé correspondant.

Détermination du pH de la peau avec un pH-mètre

Principe

Le pH est une mesure de l'acidité ou de l'alcalinité d'une substance en solution aqueuse⁹⁴.

Lorsqu'un composé est dissout dans de l'eau⁹⁵, les ions le constituant se dissocient partiellement ou complètement. Le degré de dissociation de n'importe quel composé est constant à une température donnée. Cette dissociation va modifier la concentration des ions hydrogène [H⁺] et des ions hydroxyde [OH⁻] dans la solution. Le pH est la mesure de la concentration de H⁺. Par convention, cette concentration est exprimée en valeur de pH. Elle est égale à la valeur négative du logarithme décimal de la concentration de H⁺, mesurée en moles par litre, dans la solution :

$$\text{pH} = -\log_{10}[\text{H}^+]$$

Le pH est exprimé comme une valeur entre 0 et 14. Un pH de 7 est considéré comme un pH neutre.

En dessous de 7, le pH est acide et au-dessus, il est basique.

La concentration de [H⁺] et de [OH⁻] dans une solution dépend de la quantité de composés acides ou alcalins présents, mais aussi du degré de dissociation du composé.

⁹⁴ Tse, 2007 [en ligne].

⁹⁵ Thomson *et al.*, 2006, p.61.

Lorsqu'un acide fort est dissout dans l'eau, les ions qui le composent vont complètement se dissocier, par exemple comme l'hydroxyde de sodium : $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$

Par contre, lorsqu'un acide faible est dissout dans l'eau, les ions qui le composent vont seulement partiellement se dissocier, par exemple l'acide acétique : $\text{CH}_3\text{COOH} \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{CH}_3\text{COO}^-$

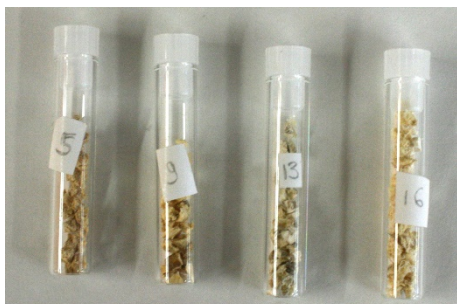
Si une solution d'un acide fort qui a une valeur de pH entre 3 et 5 est diluée au dixième, elle aura une valeur de pH augmentée d'une unité. Sachant cela, il est possible de déterminer la force des acides présents dans une solution en déterminant l'indice de différence qui est la différence entre le pH d'une solution et celui de cette même solution diluée au dixième. Si l'indice de différence est plus grand que 0.7, une grande quantité d'acides forts sont présents. L'absence d'acides forts dans l'échantillon au moment de l'analyse n'indique pas forcément qu'il n'y en a jamais eu.

Outils

- pH-mètre Metrohm 744, avec électrode en verre, ayant une échelle de mesurage allant de 0 unité de pH à 14 unités de pH
- Agitateur magnétique, barreaux aimantés de très petite taille, tige aimantée
- Tubes à essais
- Film en plastique étanche
- Potences avec noix de serrage et pinces adaptées aux tubes à essais
- Pipettes jaugées, capacité 2 ml et 10 ml
- Propipettes
- Solutions tampons étalon à pH 7 et à pH 4
- Eau double distillée à pH 6,13
- Scalpel

Protocole

Les mesures de pH ont été effectuées sans intervenant, les 15, 16 et 20 juin 2016, à la Haute École Arc de Neuchâtel, selon la norme NF EN ISO 4045. Le matériel utilisé pour les mesures est bien nettoyé à l'éthanol, puis rincé à l'eau distillée, avant chaque utilisation.



*Fig. 33 : Exemples d'échantillons de 100 mg coupés en fragments de 2 x 2 mm
©HECR Arc, Goetz, 2016*

1. Préparation de l'échantillon : Les échantillons de peau n'ont pas été préparés avec un moulin à couteaux muni d'un tamis à trous de 4 mm de diamètre, comme le préconise la norme NF EN ISO 4044, car nous n'en avons pas à disposition. Nous avons donc choisi de couper les échantillons au scalpel, en fragments de 2 x 2 mm.

2. Préparation de l'extrait aqueux : Mettre 100 mg de l'échantillon de peau dans le tube à essais, puis ajouter 2 ml d'eau double distillée avec la pipette jaugée munie d'une propipette. Selon la norme NF EN ISO 4045, il faudrait 5 g d'échantillon pour 100 ml d'eau, mais comme l'échantillon



Fig. 34 : Installation mise en place pour l'agitation des extraits aqueux
©HECR Arc, Goetz, 2016

doit être le moins invasif possible et comme des résultats similaires peuvent être obtenus avec de plus petites quantités d'échantillons⁹⁶, à condition que le ratio soit maintenu, nous avons décidé de réduire la quantité. En effet, avec des électrodes en verre standards, il est possible de réduire l'échantillon à 100 mg dans 2 ml d'eau⁹⁷.

Agiter soigneusement à la main durant 30 secondes, de manière à mouiller uniformément la prise d'essai. Inscrire le numéro de spécimen de l'échantillon sur le tube à essai, introduire le barreau aimanté dans le tube et le recouvrir d'un film plastique. Mettre le tube dans la pince de la potence et agiter ensuite magnétiquement durant 6 heures au-dessus de l'agitateur. Après les 6 heures d'agitation, retirer le barreau aimanté avec une tige aimantée. Laisser reposer l'extrait avant de décanter. Transférer la solution avec une pipette graduée munie d'une propipette dans un nouveau tube à essais.



Fig. 35 : Lecture de la valeur de pH après 60 secondes
©HECR Arc, Goetz, 2016

3. Mesure du pH : Étalonner le pH-mètre avec deux solutions tampons, l'une en dessous de la valeur escomptée et l'autre au-dessus de cette même valeur. L'appareil est donc étalonné avec une solution tampon étalon à pH 7 et une autre à pH 4. La valeur lue des deux solutions ne doit pas s'écarter de plus de 0,02 unité de pH de la lecture correcte, lorsque le pH-mètre est étalonné.

Immédiatement après décantation de l'extrait, déterminer la valeur du pH à l'aide du pH-mètre. La lecture doit être faite entre 30 et 60 secondes après que l'électrode a été introduite dans l'extrait aqueux. L'électrode doit être abondamment rincée à l'eau distillée entre chaque mesure.

⁹⁶ Thomson *et al.*, 2006, p.61.

⁹⁷ Robinet, 2016.

4. Détermination de l'indice de différence : Si le pH mesuré est inférieur à 4 ou supérieur à 10, l'indice de différence doit être déterminé. Pour cela, verser, à l'aide de la pipette jaugée munie d'une propipette, 1 ml de l'extrait dans un tube à essais et ajouter 10 ml d'eau double distillée. Mesurer le pH en insérant le pH-mètre dans l'extrait.
5. Calcul de l'indice de différence : L'indice de différence est calculé en soustrayant le pH obtenu en deuxième et celui obtenu en premier.

Détermination de la température de rétraction des fibres avec la méthode Micro Hot Table (MHT)

Principe

Des fibres de collagène progressivement chauffées dans l'eau vont rétrécir à une température distincte, nommée température de rétraction⁹⁸. Il s'agit de la température à laquelle leur structure en triple hélice se modifie en une structure spiralée désordonnée, dont la manifestation macroscopique est appelée dénaturation thermique.

Le processus de rétraction des fibres de collagène est décrit par une séquence d'intervalles de température : pas d'activité – A1 – B1 – C – B2 – A2 – rétraction complète.

À l'intervalle A1, la rétraction est visible sur des fibres individuelles, puis le processus augmente en B1. La rétraction d'une fibre, occasionnellement plus, est immédiatement suivie par la rétraction d'une autre fibre. Ensuite, la majorité des fibres se rétractent dans l'intervalle principal C. La température à laquelle l'intervalle C débute est définie comme température de rétraction (Ts). La température initiale (Ti) est la température à laquelle le tout premier mouvement est observé et la température finale (Tf) est la température à laquelle le dernier mouvement est observé. Pour certains échantillons de fibres de collagène les intervalles B2 et A2 sont absents, parfois même l'intervalle C.

Outils

- Microscope Leica Wild M420 avec Macrozoom 5 :1 équipé d'une caméra Leica DFC 420
- Ordinateur relié à la caméra
- Source lumineuse Intralux® 6000-1
- Plaque chauffante avec programmeur de vitesse de chauffe
- Lame porte-objet à concavité reliée à une sonde thermique
- Lamelle couvre-objet
- Poids
- Aiguille
- Eau distillée et pipette

⁹⁸ Larsen *et al.*, 2002, p.55.

Protocole

La détermination des températures de rétraction a été effectuée sans intervenant, les 23, 24 et 29 juin 2016, à la Haute école des arts de Berne. Le matériel utilisé est bien nettoyé à l'éthanol, puis rincé à l'eau distillée, avant chaque utilisation.

1. Allumer l'ordinateur relié à la caméra du macroscopie et ouvrir le logiciel de visualisation en temps réel. Le macroscopie est réglé à un grossissement de 40 x.
2. Placer la lame porte-objet sur la platine chauffante.
3. Mettre l'échantillon de peau d'environ 0.3 mg, prélevé côté chair, dans la concavité de la lame porte-objet. Mouiller l'échantillon pendant 10 minutes en remplissant la concavité avec de l'eau déminéralisée, puis séparer les fibres dans l'eau avec une aiguille et enlever les éventuelles bulles d'air.
4. Couvrir la concavité avec une lamelle couvre-objet et coincer la lame entre deux poids.
5. Allumer la platine chauffante programmée à une température de début de chauffe de 30°C et à une vitesse de chauffe de 2°C/min.
6. Observer le processus de rétraction et déterminer la température initiale, la température de rétraction et la température finale associées à l'échantillon. La lecture de la température s'effectue sur l'écran de la sonde thermique reliée à la lame porte-objet.

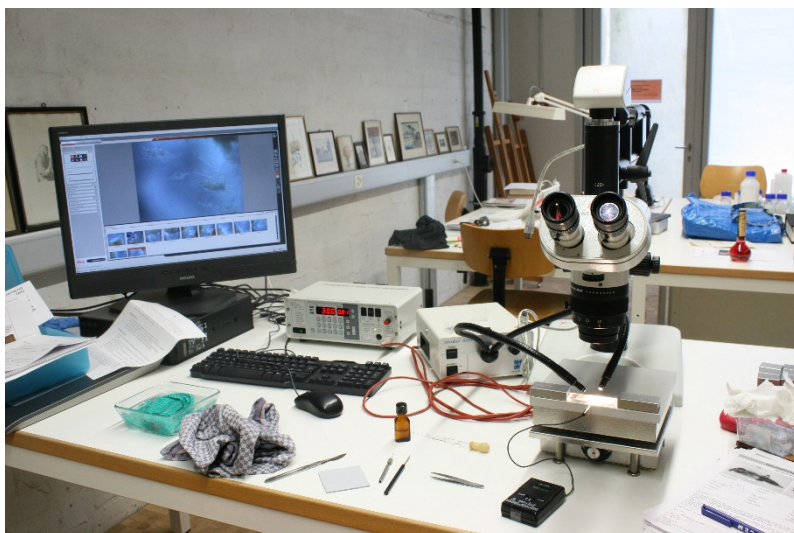


Fig. 36 : Dispositif utilisé pour la détermination de la température de rétraction des échantillons ©HECR Arc, Goetz, 2016

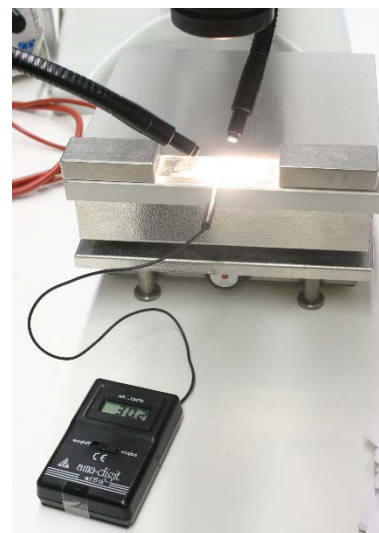
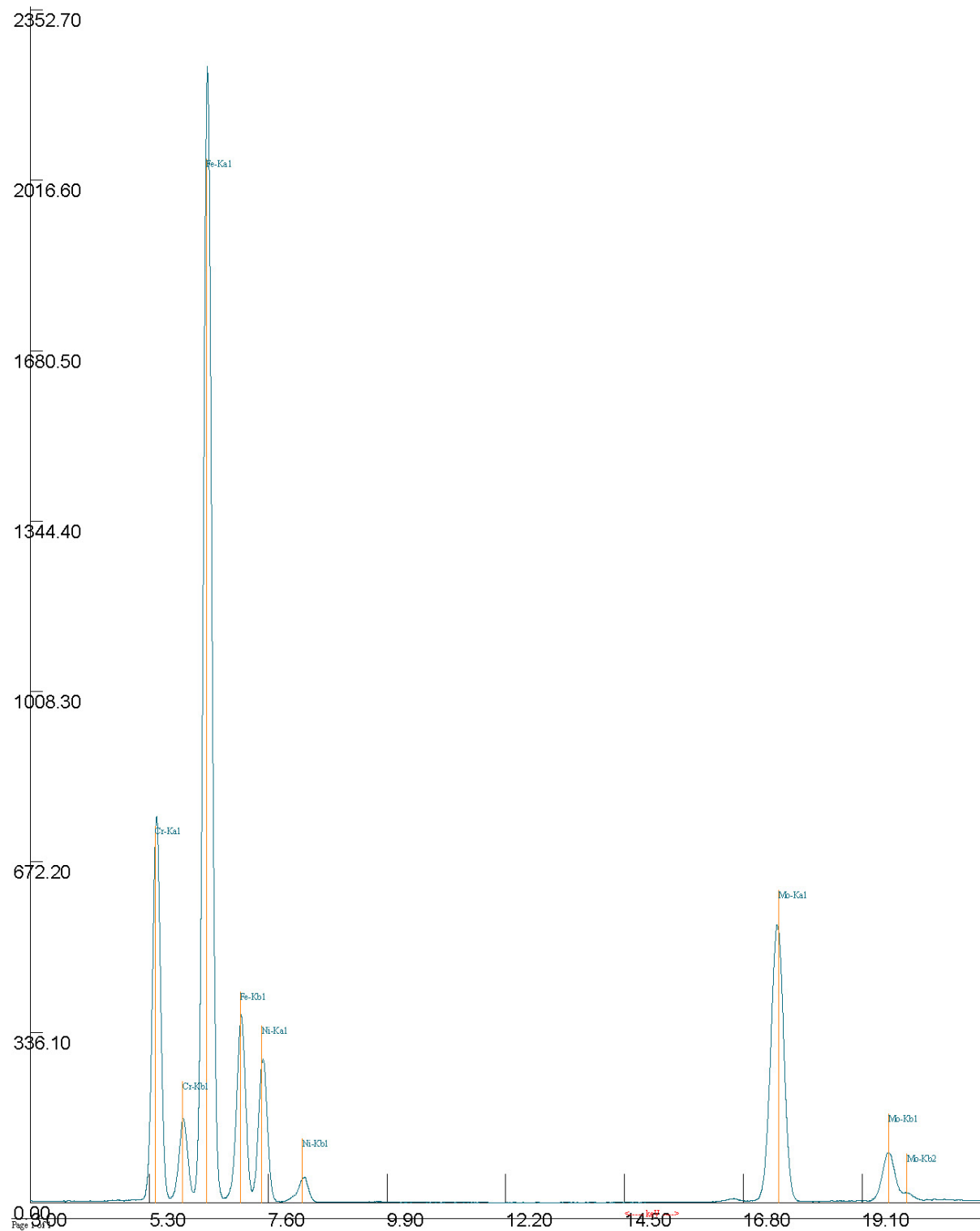


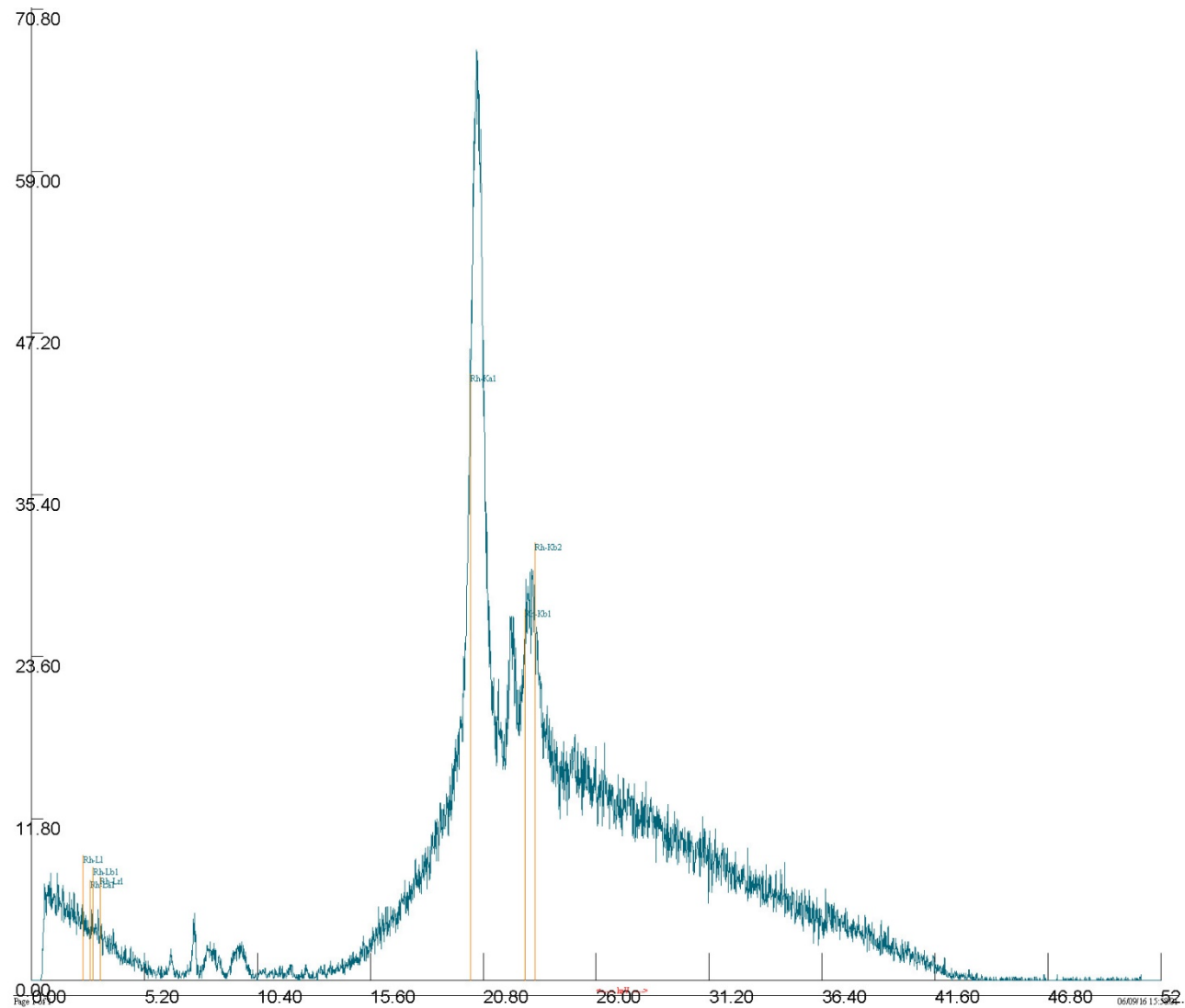
Fig. 37 : Lecture de la température sur l'écran de la sonde thermique reliée à la lame ©HECR Arc, Goetz, 2016

Annexe 5 : Graphiques

Spectres de fluorescence X

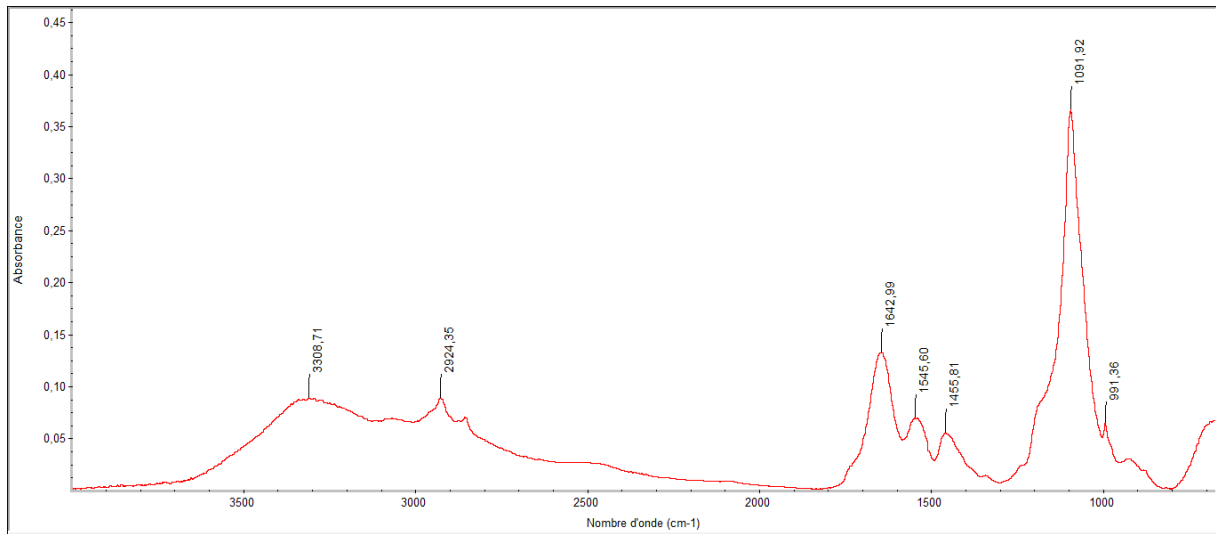


Graph 6 : Spectre de la table en acier inoxydable sur laquelle ont été effectuées les analyses ©HECR Arc, Goetz, 2016

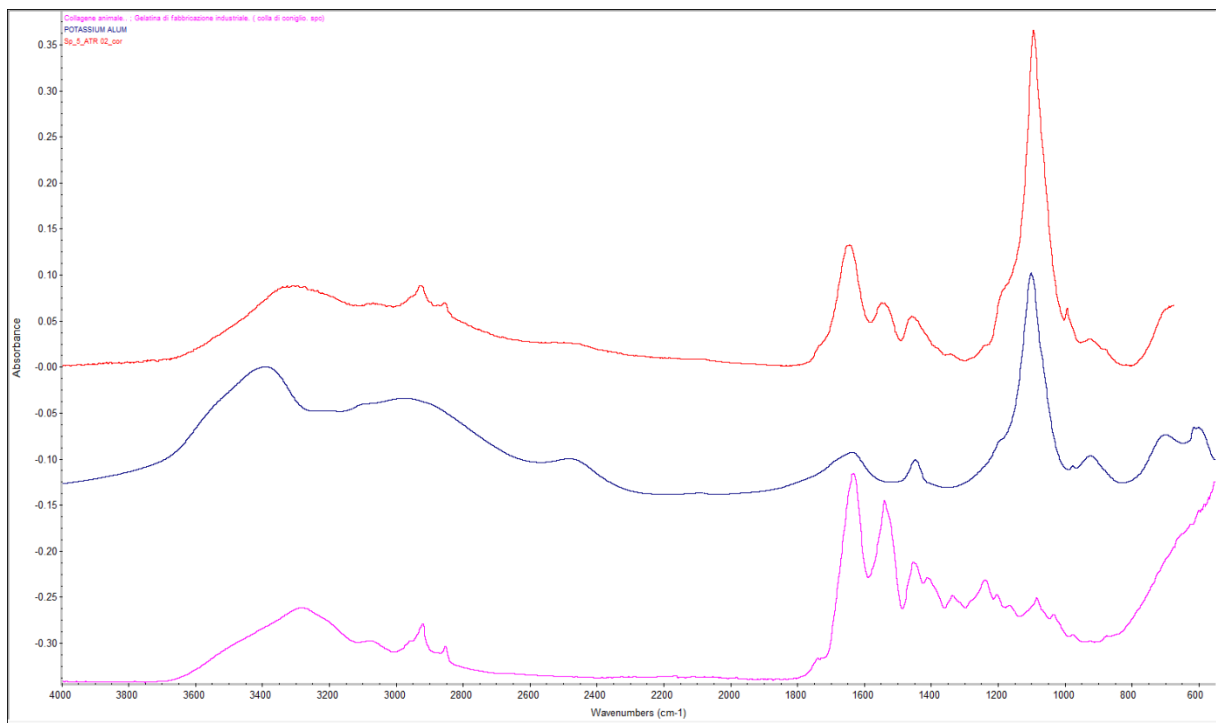


Graphe 7 : Spectre du spécimen 16 sans détection d'arsenic ©HECR Arc, Goetz, 2016

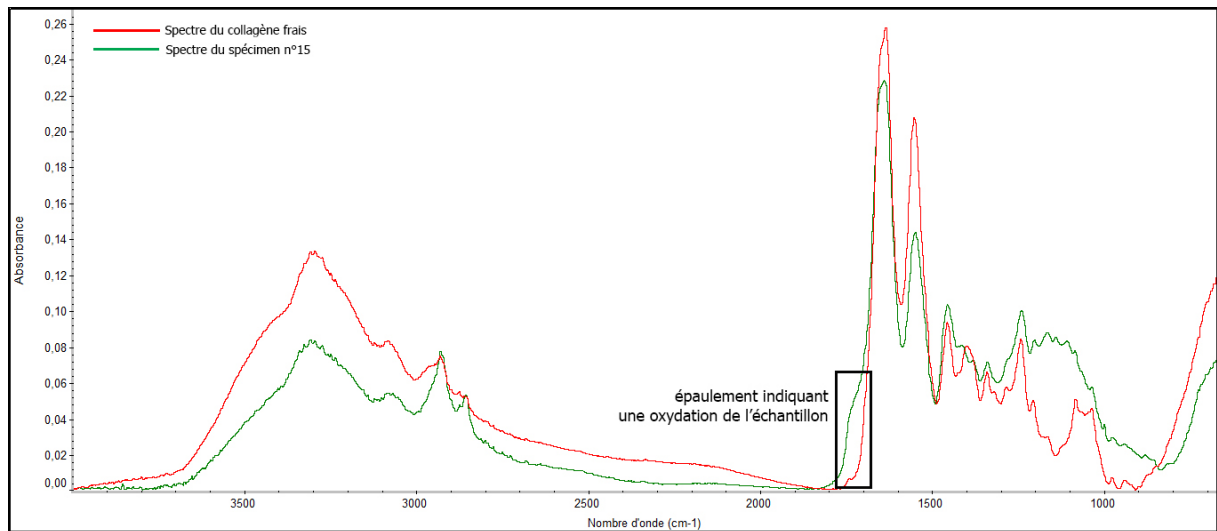
Spectres IRTF d'absorption



Graphe 8 : Spectre du spécimen 5 avec positionnement des pics ©HECR Arc, Goetz, 2016



Graphe 9 : Interprétation du spectre du spécimen 5 avec les spectres de référence du collagène et de l'alun ©HECR Arc, Goetz, 2016



Graph 10 : Épaulement du spectre du spécimen 15 entre 1700 et 1750 cm^{-1} indiquant une oxydation du collagène de l'échantillon ©HECR Arc, Goetz, 2016

Annexe 6 : Documentations complémentaires

Structure de la peau de mammifères

La structure de la peau se compose de plusieurs couches.

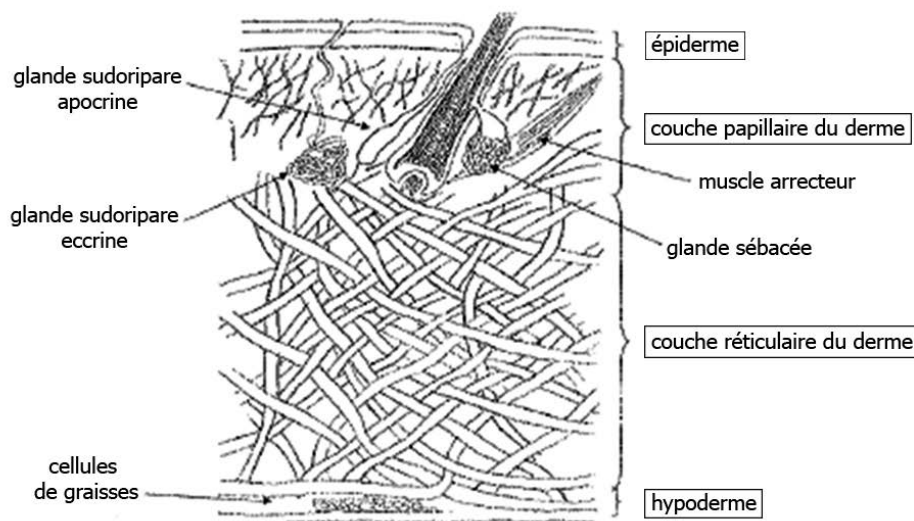


Fig. 38 : Coupe stratigraphique de la peau ©CNRS Éditions, Chahine, 2013

Épiderme

Il s'agit de la couche externe de la peau⁹⁹. Elle se compose de plusieurs couches de cellules.

La couche profonde est appelée couche basale. Elle se trouve à la jonction du derme et de l'épiderme. Cette couche est composée de cellules qui se multiplient et migrent vers la surface de la peau, poussées par la multiplication des cellules sous-jacentes. En se rapprochant de la surface de la peau, les cellules vont se charger de kératine, qui appartient à la famille des protéines. Elles vont ensuite graduellement dégénérer et se déstructurer, jusqu'à mourir en surface pour former la couche cornée. Les cellules sont progressivement usées et éliminées par le remplacement de nouvelles cellules. La couche cornée est solide et élastique.

Derme

Il s'agit de la couche principale de la peau¹⁰⁰, qui supporte et nourrit l'épiderme. Le derme est constitué par un feutrage de fibres blanches de collagène et de fibres jaunes élastiques. Les fibres blanches se dissolvent lorsque la peau est chauffée dans l'eau et se transforment en gélatine.

⁹⁹ Horie, 1990, p.112.

¹⁰⁰ Chahine, 2013, p. 19.

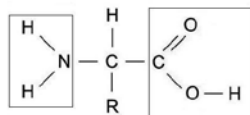
Ce réseau est maintenu dans un liquide appelé substance basale, contenant des protéines non fibreuses. Le derme est divisé en deux couches. La couche papillaire supérieure, ou « fleur », contient de fines fibres de collagène, les follicules des poils et les glandes de la peau. La couche réticulaire, ou « chair », est la plus épaisse. Elle contient un réseau de fibres de collagène très dense.

Hypoderme

C'est la couche de la peau contenant les cellules grasses¹⁰¹. Lorsque ces cellules sont très nombreuses, elles envahissent la structure du derme.

Structure du collagène

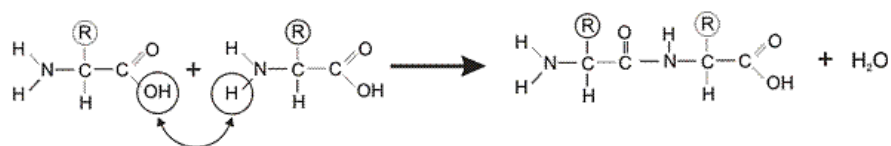
Le collagène est le principal constituant du derme¹⁰². Il fait partie de la famille des protéines. Toutes les protéines sont composées d'un enchaînement d'acides aminés, molécules de formule générale :



Elles sont constituées d'un atome central de carbone lié à :

- une fonction amine (-NH₂), qui confère à la molécule ses propriétés basiques
- une fonction carboxyle (-COOH), qui détermine son degré d'acidité
- un atome d'hydrogène et à une chaîne latérale organique (-R) caractéristique de chaque acide aminé.

Les acides aminés sont liés entre eux par des liaisons covalentes, dites liaisons peptidiques, pour former une chaîne polypeptidique. Il s'agit d'une liaison entre la fonction amine et la fonction carboxyle des acides aminés, qui en se formant libère de l'eau :



Au contraire, la rupture de la liaison en nécessite.

Parmi les acides aminés, il y a des molécules dont la fonction amine est secondaire (-NH-) et non primaire. C'est le cas de la proline et de l'hydroxyproline. Ces acides aminés sont nommés iminoacides. Le collagène présente quatre degrés différents dans sa structure.

¹⁰¹ Chahine, 2013, p.19.

¹⁰² Ibidem, p.21.

Structure primaire

Il s'agit de l'ordre de succession des acides aminés dans la chaîne polypeptidique¹⁰³. Chaque protéine est caractérisée par un enchaînement d'acides aminés défini.

Les acides aminés qui se trouvent en proportion importante dans le collagène sont la glycine (Gly), la proline (Pro), l'hydroxyproline (Hyp) et l'alanine (Ala). Les acides aminés de la chaîne polypeptidique peuvent être constitués de chaînes linéaires courtes qui les rend neutres apolaires ou des chaînes longues et ramifiées qui portent des groupements réactifs acides, basiques ou hydroxyles.

Structure secondaire

La chaîne polypeptidique du collagène¹⁰⁴ a la configuration d'une hélice de pas à gauche (elle tourne en montant dans le sens des aiguilles d'une montre). Cela découle des liaisons hydrogène possibles dans la structure tertiaire. Il y a toujours trois acides aminés par tour et la glycine occupe la troisième position. Les iminoacides présents dans la chaîne vont limiter les rotations, grâce à l'angle de torsion de certaines liaisons. Cela amène à une torsion régulière.

Structure tertiaire

Trois chaînes hélicoïdales¹⁰⁵ de la structure secondaire vont s'enrouler les unes aux autres pour former une triple hélice de pas à droite (elle tourne en montant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre). Il y a 39 acides aminés par tour. Cette configuration tridimensionnelle est maintenue par des liaisons hydrogène entre les groupements -CO- et -NH- des chaînes peptidiques. Cela confère de la rigidité à la structure.

La molécule ainsi formée est nommée tropocollagène. Elle représente l'unité de base qui possède trois groupements N-terminaux et trois groupements C-terminaux distincts. Elle a une longueur d'environ 280 nm et une épaisseur de 1.5 nm.

Les télépeptides sont des acides aminés, se trouvant aux extrémités N-terminal et C-terminal, qui ne sont plus structurés en triple hélice.

¹⁰³ Chahine, 2013, p.24.

¹⁰⁴ Ibidem, p.25.

¹⁰⁵ Ibidem, p.25.

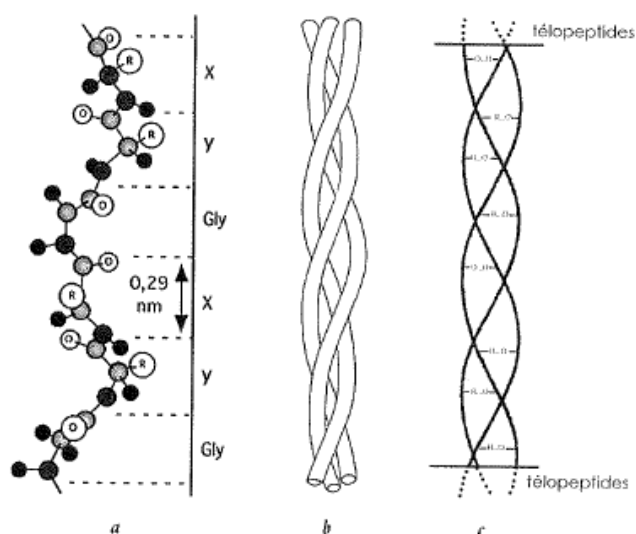


Fig. 39 : Molécule de collagène (a : structure secondaire, b : structure tertiaire, c: liaison hydrogène reliant les chaînes d'acides aminés) ©CNRS Éditions, Chahine, 2013

Structure quaternaire

Plusieurs molécules de tropocollagène vont s'assembler par des liaisons covalentes fortes, pour former les fibrilles. Ces liaisons croisées se produisent au niveau des téllopeptides. Des interactions électrostatiques, hydrophobes ou des liaisons de Van der Waals peuvent également exister grâce aux chaînes latérales de la chaîne peptidique.

Les fibrilles vont à leur tour former les fibres. 50 à 200 fibrilles peuvent composer une fibre. C'est cette réticulation du collagène qui le rend insoluble.

Processus de dégradation du collagène

Le derme de la peau est constitué de fibres de collagène essentiellement¹⁰⁶. Les altérations observées sur les peaux sont donc principalement dues à la dégradation du collagène.

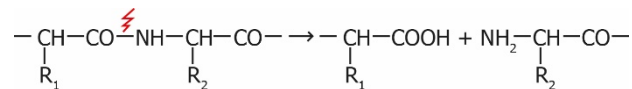
Il y a trois principaux mécanismes de dégradation du collagène : la dénaturation, l'hydrolyse et l'oxydation.

La dénaturation¹⁰⁷ du collagène se produit lorsque celui-ci est chauffé dans l'eau. Elle correspond à l'effondrement de la molécule de tropocollagène, par cassure des liaisons hydrogène reliant les trois chaînes peptidiques qui la composent. Le collagène se transforme alors en un mélange complexe non organisé de chaînes peptidiques, qui correspond à la gélatine.

¹⁰⁶ Chahine, 2013, p.18.

¹⁰⁷ Horie, 1990, p.115.

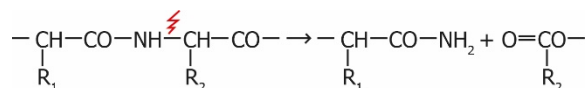
L'hydrolyse¹⁰⁸ est le résultat d'une rupture des liaisons peptidiques de la chaîne principale qui forment des groupes carboxyles et α-amino :



Lors d'une hydrolyse partielle du collagène, les peptides* formés ont à leurs extrémités des groupes -COOH et -NH₂ terminaux. L'hydrolyse totale libère tous les acides aminés, qui eux restent intacts.

Cela va entraîner un changement des propriétés chimiques et physiques des fibres. Elles vont devenir solubles et plus sensibles à l'eau. Le phénomène d'hydrolyse est dépendant de la température, de l'humidité relative et du pH de la peau. Il est accéléré lorsque l'humidité relative augmente et le pH diminue.

Les réactions d'oxydation¹⁰⁹ se produisent au contact de l'oxygène et de divers oxydants présents dans l'atmosphère. L'oxydation va causer la scission des chaînes d'acides aminés, ce qui produit des groupes amides et carbonyles :



Elle a donc pour conséquence de rompre la chaîne polypeptidique et d'éliminer les chaînes latérales des acides aminés. Le phénomène conduit à la transformation de certains acides aminés, à la production d'ammoniac et de gaz carbonique. Elles sont initiées par l'oxygène, la chaleur, la lumière ou par des radicaux libres. Les radicaux libres sont des groupes d'atomes très réactifs qui contiennent des électrons célibataires. Ils peuvent donc réagir avec de nombreux composés.

Note sur la désacidification des peaux au Musée d'histoire naturelle de Berne

Comme nous l'avons vu précédemment, les différentes méthodes de préparation utilisées en taxidermie ont l'inconvénient d'apporter des composés acides dans la peau, ce qui entraîne des dommages à plus ou moins long terme. Il est donc important de trouver des méthodes de désacidification des peaux qui ne feraient pour autant pas disparaître l'effet de tannage.

En 2002¹¹⁰, un procédé de désacidification de masse a été expérimenté au Musée d'histoire naturelle de Berne.

¹⁰⁸ Horie, 1990, p.116.

¹⁰⁹ Chahine, 2013, p.264.

¹¹⁰ Troxler, 2016.

L'objectif était de parvenir à un procédé de neutralisation des peaux applicable aux collections d'histoire naturelle. Les peaux après traitement devaient retrouver un pH d'environ 5.

25 peaux du Muséum de Berne ont ainsi été traitées en lot avec une méthode appelée « Papersave Swiss », dans le but d'être neutralisées.

Le traitement a été élaboré par l'entreprise Nitrochemie¹¹¹ pour la désacidification de masse des documents papier. Il s'agit d'un procédé complexe durant lequel les documents sont imprégnés d'une solution composée d'alcoolates de magnésium et de titane (METE30) dissous dans de l'hexaméthylidisiloxane (HMDO). En collaboration avec le Musée de Berne, il s'agissait donc d'évaluer si cette méthode pouvait être appliquée aux spécimens d'histoire naturelle. Des analyses ont été réalisées en parallèle du traitement¹¹² pour déterminer son efficacité. Les valeurs de pH de surface et en extrait aqueux, ainsi que la quantité d'acides présents dans les peaux ont été mesurées avant et après traitement. La plupart des peaux du corpus ont été tannées à l'alun.

La conclusion de cette expérience est que les résultats sont assez positifs, du point de vue de la neutralisation des peaux. La plupart des valeurs de pH des spécimens ont augmenté significativement. Le pH des peaux avant traitement va de 2.94 à 5.48 et les pH après traitement se situent entre 4.03 à 9.45.

Un autre effet positif de l'expérience réside dans le fait qu'un dégraissage partiel est effectué grâce à l'hexaméthylidisiloxane qui agit comme solvant. Le phénomène d'oxydation du collagène par les graisses est donc réduit. L'inconvénient est que cela engendre une légère rigidification des peaux.

De plus, aucun changement optique n'a été observé, mis à part le dépôt de fines poussières de Magnésium et de Titane dans le pelage.

L'inconvénient du procédé est que lorsque le pH augmente de trop, l'effet de tannage disparaît.

Un autre problème de la désacidification de masse est que les peaux n'ont pas le même point isoélectrique, selon les méthodes de tannage qu'elles ont subi. Comme il faudrait que le pH après traitement s'approche de ce point, la désacidification de masse devient problématique. Il faudrait adapter la méthode aux différents types de tannages et les peaux devraient être traitées séparément. Il faudrait donc avoir au préalable une bonne connaissance des techniques de préparation appliquées à ces peaux.

¹¹¹ Deacidification plant, 2016 [en ligne].

¹¹² Troxler, 2016.

Annexe 7 : Liste des documents sur clé USB

Liste clé USB.pdf

1-Mémoire de Bachelor

Mémoire de Bachelor.docx

Mémoire de Bachelor.pdf

2-Fiches d'identification et de constat d'état

N°1_94.1933_Fiche.pdf	N°7_94.1418B_Fiche.pdf	N°13_94.1706_Fiche.pdf
N°2_94.2435_Fiche.pdf	N°8_94.2660A_Fiche.pdf	N°14_94.2031_Fiche.pdf
N°3_94.1117_Fiche.pdf	N°9_94.1804_Fiche.pdf	N°15_94.2534_Fiche.pdf
N°4_94.1389G_Fiche.pdf	N°10_94.1710_Fiche.pdf	N°16_94.2536_Fiche.pdf
N°5_94.1338_Fiche.pdf	N°11_94.2493_Fiche.pdf	N°17_94.2960_Fiche.pdf
N°6_94.1682A_Fiche.pdf	N°12_94.1681_Fiche.pdf	

3-Spectres FRX

N°1_Spectre FRX.pdf	N°7_Spectre FRX.pdf	N°13_Spectre FRX.pdf
N°2_Spectre FRX.pdf	N°8_Spectre FRX.pdf	N°14_Spectre FRX.pdf
N°3_Spectre FRX.pdf	N°9_Spectre FRX.pdf	N°16_Spectre FRX.pdf
N°4_Spectre FRX.pdf	N°10_Spectre FRX.pdf	N°17_Spectre FRX.pdf
N°5_Spectre FRX.pdf	N°11_Spectre FRX.pdf	Table_Spectre FRX.pdf
N°6_Spectre FRX.pdf	N°12_Spectre FRX.pdf	

4-Spectres IRTF-ATR

Collagène frais_IRTF-RTA_spectre.pdf	N°12_IRTF-RTA_interprétation.pdf
N°1_IRTF-RTA_interprétation.pdf	N°12_IRTF-RTA_spectre.pdf
N°1_IRTF-RTA_spectre.pdf	N°14_IRTF-RTA_interprétation.pdf
N°5_IRTF-RTA_interprétation.pdf	N°14_IRTF-RTA_spectre.pdf
N°5_IRTF-RTA_spectre.pdf	N°15_IRTF-RTA_interprétation.pdf
N°6_IRTF-RTA_interprétation.pdf	N°15_IRTF-RTA_spectre.pdf
N°6_IRTF-RTA_spectre.pdf	N°16_IRTF-RTA_interprétation.pdf
N°7_IRTF-RTA_interprétation.pdf	N°16_IRTF-RTA_spectre.pdf
N°7_IRTF-RTA_spectre.pdf	N°17_IRTF-RTA_interprétation.pdf
N°9_IRTF-RTA_interprétation.pdf	N°17_IRTF-RTA_spectre.pdf
N°9_IRTF-RTA_spectre.pdf	
N°11_IRTF-RTA_interprétation.pdf	
N°11_IRTF-RTA_spectre.pdf	