

Université de Montréal

**Impact du transport sédimentaire éolien sur les tissus calcifiés : taphonomie expérimentale  
en conditions arides**

par  
Félix Marois

Département d'Anthropologie

Mémoire présenté à la Faculté des études supérieures  
en vue de l'obtention du grade de Maître ès Sciences (M. Sc.)  
en Anthropologie

Août 2022

© Félix Marois, 2022

Université de Montréal  
Département d'anthropologie, Faculté des arts et des sciences

*Ce mémoire intitulé*

**Impact du transport sédimentaire éolien sur les tissus calcifiés : taphonomie expérimentale  
en conditions arides**

Présenté par

**Félix Marois**

*A été évalué par un jury composé des personnes suivantes*

**Christian Gates St-Pierre**

Président rapporteur

**Ariane Burke**

Directrice de recherche

**James King**

Codirecteur de recherche

**Isabelle Ribot**

Membre du jury

## Résumé

Les effets taphonomiques spécifiques de l'abrasion éolienne à long terme sur les os sont encore mal compris. Afin de mieux comprendre ce processus et sa capacité à créer des pseudo-outils, nous avons abrasé expérimentalement des fragments d'os longs d'ongulés dans des conditions de laboratoire. La reconnaissance croissante, au cours des dernières années, que les outils en os non modifiés sont une partie intégrale de la culture matérielle des êtres humains du passé, et constituent un objet d'étude valable, a conduit à un besoin accru de comprendre si des phénomènes naturels peuvent produire des objets similaires. Une soufflerie ayant la capacité de transporter du sédiment a été utilisée pour étudier l'impact de l'abrasion éolienne sur les surfaces des os. Différentes tailles de sédiments et vitesses de vent ont été testées. L'évolution qualitative de l'os a été documentée pendant un maximum de 250 heures d'abrasion éolienne. Une nouvelle méthode de quantification des polissages et autres modifications de surface a été développée en utilisant les paramètres de rugosité de surface tels que définis par la norme ISO 25178. Ils sont appliqués ici pour mesurer et distinguer le polissage éolien et anthropique. Un polissage mat uniforme ainsi qu'un arrondissement important des rebords sont les deux modifications les plus fréquemment observées. Les stries ou fissures visibles sur les os non modifiés sont devenues moins apparentes avec le temps. La masse des spécimens a été suivie pendant les expériences afin de calculer le taux d'abrasion et d'établir une base quantitative pour étudier comment différentes conditions sédimentologiques et atmosphériques peuvent modifier les os. Nos résultats suggèrent que la vitesse du vent est un facteur plus important que la taille des sédiments pour déterminer l'intensité des modifications et le taux d'abrasion. Les résultats ont été comparés à des outils en os créés expérimentalement, fabriqués et utilisés pour une étude précédente. Les traces d'usures sur les outils se distinguaient, qualitativement et quantitativement, des modifications éoliennes. Cette recherche a de nombreuses implications pour l'étude des traces d'usure sur des os non modifiés provenant de contextes archéologiques et l'abrasion éolienne en tant qu'agent taphonomique primaire ou secondaire, ainsi que pour la formation de sites en contexte arides et venteux.

Mots clés : Taphonomie, outils en os non modifiés, archéologie expérimentale, abrasion éolienne, pseudo-outils.

## **Abstract**

The specific taphonomic effects on bones of long-term aeolian abrasion are still poorly understood. In order to gain a better understanding of this process and its capacity to create pseudo-tools, we have experimentally abraded large ungulate long-bone fragments in laboratory conditions. The growing recognition, over the last few years, that unmodified bone tools are an integral part of past human material culture, and a valid object of study has led to an increased need for understanding if natural phenomena can produce similar objects. A wind tunnel with the capacity to transport sediment was used to study the impact of wind abrasion on bone surfaces. Different sediments sizes and wind speeds were tested. The qualitative evolution of the bone was documented during a maximum of 250 heures of aeolian abrasion. A novel method of quantifying polishes and other surface modifications was developed using surface roughness parameters as defined by ISO 25178. They are applied here to measure and distinguish aeolian and anthropogenic polishing. A uniform matte polish as well as significant edge rounding were the two most common modifications observed. Any striations or fissures visible on the unmodified bones became less apparent over time. The mass of the specimens was tracked during the experiments to calculate the abrasion rate and establish a quantitative base line for studying how different sedimentological and atmospheric conditions can modify bones. Our results suggest that wind speed is a more important factor than sediment size in determining the intensity of modifications and abrasion rate. The results were compared to experimentally created bones tools fabricated and used for a previous study. Tool manufacture and use-wear were distinguishable, both qualitatively and quantitatively, from aeolian modifications. This research has numerous implications for the study of use-wear on unmodified bone from archaeological contexts, aeolian abrasion as a primary or secondary taphonomic agent as well as on site formation in arid windy environments.

Key words: Taphonomy, unmodified bone tools, experimental archeology, aeolian abrasion, pseudo-tools

# Table des matières

Résumé .....	i
Abstract.....	ii
Table des matières.....	iii
Liste des tableaux.....	vi
Liste des figures .....	viii
Liste des abréviations.....	x
Remerciements.....	xi
Introduction .....	1
Chapitre 1 : Archéologie expérimentale .....	3
1.1. Problématique de l'archéologie expérimentale .....	4
1.2 Taphonomie .....	4
1.2.1 Biostratinomie et diagenèse .....	6
1.2.2 Intempérisation.....	6
1.2.3 L'abrasion éolienne comme agent taxonomique .....	7
1.2.4 Abrasion sédimentaire non éolienne.....	9
1.3 Polis comme modification taphonomique.....	10
1.3.1 Polis d'origine naturelle .....	10
1.3.2 Polissage d'origine anthropique .....	11
1.4 Outils en os peu élaboré .....	12
1.4.1 Le cas de Old Crow Flats et Bluefish Cave.....	13
Chapitre 2 : Abrasion éolienne .....	15
2.1.1 L'abrasion à l'échelle microscopique .....	16
2.1.2 Description qualitative de l'abrasion .....	16
2.1.3 Description quantitative de l'abrasion.....	18
2.2 Quels types de particules sont responsables de l'abrasion ? .....	18
2.3. Facteurs affectant l'abrasion éolienne .....	19
2.3.1 Caractéristiques du matériel abrasé.....	19
2.3.2 Caractéristiques du matériau abraseur .....	20
2.3.3 Vitesse du vent .....	20
2.3.4 Concentration de particules.....	21

2.3.5 Hauteur .....	21
2.3.6 Angle d'impact .....	22
2.3.7 Densité de l'air/ température .....	22
2.3.8 Topographie locale.....	22
2.4 Implication pour les ossements .....	23
Chapitre 3 : Méthodologie .....	24
3.1 Conception expérimentale : impact de l'abrasion éolienne .....	24
3.1.1 Échantillon expérimental .....	24
3.1.2 Installation expérimentale .....	27
3.1.3 Régime expérimental .....	31
3.1.4 Taux de transport sédimentaire.....	34
3.1.5 Microscopie et paramètres de rugosité de surface .....	35
3.2 Analyse qualitative.....	39
3.3 Analyse quantitative .....	39
3.3.1 Taux d'abrasion.....	39
3.2.2 Analyses topographiques.....	40
Chapitre 4 : Résultats.....	43
4.1 Analyse qualitative.....	43
4.1.1 Évolution macroscopique.....	43
4.1.2 Évolution microscopique .....	48
4.2 Analyse quantitative .....	51
4.2.1 Taux d'abrasion et perte de masse .....	51
4.2.2 Analyse de la rugosité de surface .....	56
Chapitre 5 : Discussion.....	64
5.1.1 Vitesse du vent .....	64
5.1.2 Taille des particules.....	65
5.1.3 État du spécimen .....	66
5.1.4 Durée d'exposition.....	66
5.1.5 Angle de l'impact .....	67
5.1.6 Position dans la soufflerie.....	68
5.2 Susceptibilité à l'abrasion .....	69
5.3 Analyse des paramètres de rugosité.....	70
5.3.1 Effet de l'abrasion éolienne .....	70

5.3.2 Abrasion éolienne vs outils en os.....	72
5.3.3 Différents types d'outils.....	74
5.4 Abrasion éolienne comme source de pseudo-outil.....	75
5.5 Implications archéologiques.....	78
5.5.1 Contexte écologique favorable à l'abrasion éolienne comme agent taxonomique.....	79
5.5.2 Équivalence naturelle des conditions de laboratoire.....	81
5.5.3 Abrasion éolienne comme agent taphonomique secondaire.....	81
5.6 Implication méthodologique.....	82
Conclusion.....	84
BIBLIOGRAPHIE.....	87
Annexe 1 : État initial des spécimens.....	i
Annexe 2 : Masse des spécimens.....	iii
Annexe 3 : Description qualitative des spécimens.....	v
Annexe 4 : Paramètres de rugosité de surface des spécimens.....	lxxvi

## Liste des tableaux

Tableau 1. Liste des spécimens avec ossements et fragments d'origines. ....	25
Tableau 2. Granulométrie des sédiments #0 et #00 telle que fournie par Atlantic Silica Inc. ....	30
Tableau 3. Description des types de transport sédimentaire pour les sédiments #0 et #00 selon différentes vitesses du flux d'air dans la soufflerie. * À de plus hautes vitesses, il peut être difficile de différencier entre la saltation et la suspension puisque les sédiments rebondissent sur les côtés, ainsi que sur la partie supérieure de la soufflerie. ....	30
Tableau 4. Moment de la réalisation de différents types de documentation selon la fréquence du moteur (vitesse du flux d'air) et la taille du sédiment. Macro : Prise de photo et de poids et description de l'apparence qualitative du spécimen. DSX-100 : Prise de photos et mesure des paramètres de rugosité de surface à l'aide du DSX-100. ....	32
Tableau 5. Masse de sédiments collectés pendant quatre essais de cinq minutes par des fentes prévues à cet effet. La largeur de la fente interne est de 15.30mm tandis que celle de la fente externe est de 15.01mm. ....	34
Tableau 6. Nombre de données liées aux paramètres de rugosité de surface pour les différents groupes expérimentaux et types d'outils mesurer avec le DSX-100. ....	40
Tableau 7. Résultats des tests des rangs signés de Wilcoxon comparant le taux de perte de masse contrôlé pour la superficie des différentes rangées de spécimens pour les trois conditions expérimentales. * indique une différence significative (p-value < 0.05) ....	54
Tableau 8. Masse de sédiments transportée par cm <sup>2</sup> par heure, l'énergie cinétique associée à ce transport sédimentaire ainsi que la susceptibilité à l'abrasion (S <sub>a</sub> ) des spécimens pour les trois conditions expérimentales. S <sub>a</sub> étant le ratio de la masse perdue par le spécimen sur la masse de sédiments l'ayant heurté ....	55
Tableau 9. Paramètres de rugosité de surface montrant une différence significative (p-value < 0.05) à la suite de comparaisons réalisées avec des tests des rangs signés de Wilcoxon entre les différents groupes analysés à 240X et 336X. ....	57
Tableau 10. Principaux résultats des trois composantes principales les plus importantes selon le grossissement et le nombre de variables utilisées. ....	60
Tableau 11. Résumer des différences qualitatives et quantitatives entre les spécimens exposés à l'abrasion éolienne et les plages d'usures d'outils en os. Les lissoirs et les perçoirs sont séparés uniquement lorsqu'ils varient de manière différente à l'abrasion éolienne. ....	77
Tableau 12. Descriptions initiales des spécimens avant leur exposition à l'abrasion éolienne. La largeur et l'épaisseur du bord distal ont été mesurées à 1cm de la pointe du spécimen. ....	ii
Tableau 13. Masse des spécimens exposés au sédiment #0 pendant 100 heures avec une vitesse de 11.7m/s à chaque 25 heures. ....	iii
Tableau 14. Masse des spécimens exposés au sédiment #0 pendant 100 heures avec une vitesse de 11.7m/s à chaque 25 heures. ....	iv
Tableau 15. Valeur pour les paramètres de rugosité de surface pour les différents spécimens à 240X de grossissement. Chacune des valeurs est la moyenne calculée à partir de 25 points sur la surface du spécimen. Lis_poli correspond aux plages d'usure des lissoirs et Lis_fab aux traces de fabrication sur le lissoir. ....	lxxix
Tableau 16. Valeur pour les paramètres de rugosité de surface pour les différents spécimens à 336X de grossissement. Chacune des valeurs est la moyenne calculée à partir de 25 points sur la surface du	



spécimen. Lis\_poli correspond aux plages d'usure des lisseurs et Lis\_fab aux traces de fabrication sur le lisseur..... lxxxiii

## Liste des figures

Figure 1. Schéma de la soufflerie du laboratoire d'érosion éolienne avec les principales sections indiquées. Le schéma n'est pas à l'échelle. ....	28
Figure 2. Distribution et dimensions séparant les spécimens à l'intérieur de la section de travail de la soufflerie. <b>A</b> : Avec le sédiment #00. <b>B</b> : Avec le sédiment #0. ....	32
Figure 3. Photo des spécimens dans la section de travail de la soufflerie.....	33
Figure 4 Représentation graphique des différents paramètres volumétriques, prise et modifiée de Blateyron, (2013). La ligne noire centrale représente la surface de l'objet étudié.....	38
Figure 5. Spécimen F-1d avant (A.1) et après (A.2) 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment #00. F-13c avant (B.1) et après (B.2) 150 heures à 7.6m/s et 100 heures à 11.7m/s avec le sédiment #00. Spécimen F-8a et F-3d avant (C.1 et D.1) et après (C.2 et D.2) 100 heures .....	44
Figure 6. Images des sections travaillées d'outils en os fabriqué par Gates St-Pierre 2007. A) Lissoir #7 : utilisé sur de l'argile et B) Perçoir #13 : utilisé sur de l'écorce.....	46
Figure 7. Images prises avec le DSX-100 à 24X avant et après une abrasion intensive. Spécimens F-9c (A) et F-13a (B) après 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment #00 (A.1 et B.1) et après 100 heures additionnelles à 11.7m/s avec le sédiment #00 (A.2 et B.2). Spécimens F-12b (C), F-4d (D), F-3d (E) et F-3b (F) avant (C.1 ; D.1 ; E.1 ; F.1) et après (C.2 ; D.2 ; E.2 ; F.2) 100 heures additionnelles à 11.7m/s avec le sédiment #0.....	47
Figure 8. Images prises avec le DSX-100 à 336X avant et après une abrasion intensive. Spécimen F-1c après 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment #00 (A.1) et après 100 heures additionnelles à 11.7m/s avec le sédiment #00 (A.2) et spécimen F-6a avant (B.1) et après (B.2) 100 heures à 11.7m/s avec le sédiment #0. ....	48
Figure 9. Images à 24X prises avec le DSX-100 des sections travaillées d'outils en os fabriqué par Kevin Geier pour les expérimentations de Gates St-Pierre 2007. A) Lissoir #7 : utilisé sur de l'argile et B) Perçoir #13 : utilisé sur de l'écorce.....	51
Figure 10. Perte de masse moyenne, avec l'écart type, depuis la première pesée selon les trois conditions expérimentales. ....	52
Figure 11. A) Taux de perte de masse pour les trois conditions expérimentales. B) Taux de perte de masse contrôlé pour la superficie des spécimens pour les trois conditions expérimentales. ....	53
Figure 12. Taux de perte de masse contrôlé pour la superficie pour les quatre rangées de spécimens pour les trois conditions expérimentales. ....	53
Figure 13. Taux de perte de masse contrôlé pour la superficie selon l'état des spécimens (sec vs frais) pour les trois conditions expérimentales. ....	55
Figure 14. Comparaison des huit paramètres de rugosité de surface pour les cinq groupes analysés mesurés à l'aide du DSX-100 à 240X. Lis_poli correspond aux plages d'usure des lissoirs et Lis_fab correspond aux traces de fabrication sur les lissoirs.....	58
Figure 15. Comparaison des huit paramètres de rugosité de surface pour les cinq groupes analysés mesurés à l'aide du DSX-100 à 336X. Lis_poli correspond aux plages d'usure des lissoirs et Lis_fab correspond aux traces de fabrication sur les lissoirs.....	59
Figure 16. Représentations graphiques des résultats des analyses en composantes principales réalisés avec quatre paramètres de rugosité de surface (Sq, Spk, Sal et Str) à 240X de grossissement (A) et 336X de grossissement (B). Les ellipses représentent la distribution de valeurs normales (75%) pour chaque groupe. ....	62

Figure 17. Représentations graphiques des résultats des analyses en composantes principales réalisés avec les huit paramètres de rugosité de surface à 240X de grossissement (A) et 336X de grossissement (B). Les ellipses représentent la distribution de valeurs normales (75%) pour chaque groupe. .... 63

## Liste des abréviations

### Abréviations

- Sq : *Root mean square height*
- Spk : *Reduced peak height*
- Vvv : *Dale void volume*
- Vvc : *Core void volume*
- Vmp : *Peak material volume*
- Vmc : *Core material volume*
- Sal : *Autocorrelation Length*
- Str : *Texture Aspect Ratio*

## Remerciements

Je voudrais avant tout remercier ma directrice de recherche, Ariane Burke, ainsi que mon codirecteur James King, sans qui la réalisation de ce projet aurait été inimaginable. Je ne pensais jamais réaliser un tel projet et cela aurait été le cas sans le support académique, professionnel et moral qu'ils m'ont fourni. Je les remercie également de m'avoir assisté tout au long dans la recherche et la rédaction de ce projet.

Je tiens aussi à remercier les membres du jury, Christian Gates St-Pierre et Isabelle Ribot d'avoir pris le temps de lire et de commenter ce mémoire. Je suis doublement reconnaissant à Christian Gates St-Pierre pour m'avoir également prêté les outils en os qui ont été étudiés dans cette expérience.

Je veux également remercier Bruno Lecavalier pour son aide inestimable pendant le déroulement de l'expérience au laboratoire d'érosion éolienne. Son aide a permis de partager la charge de travail liée à l'utilisation de la soufflerie et réduire le temps nécessaire pour la réalisation de cette expérience.

Enfin, je désire remercier ma famille et mes ami.es qui ont été là pour moi pendant la réalisation de ce mémoire. Je désire particulièrement remercier mes parents, Sylvain Marois et Margaret McDonald pour m'avoir toujours encouragé à faire ce que j'aime et ont implanté une passion pour l'éducation et la connaissance en moi.

## Introduction

La capacité de différents agents taphonomiques de causer des modifications pouvant être confondues avec des modifications anthropiques a été le sujet de multiples recherches au fil des ans. Que cela soit l'effet de la glace fluviale (Thorson et Guthrie 1984), du gel et du dégel (Pokines, King et al. 2016), l'action de différents animaux tels que des prédateurs qui rognent (Haynes 2016) ou digèrent (Montalvo, Pessino et al. 2007, Fernández-Jalvo, Andrews et al. 2014) des ossements, des ongulés qui polissent leurs bois en les frottant (Gordon 1976, Olsen 1989, Jin et Shipman 2010) ou en piétinant les ossements (Olsen et Shipman 1988, Madgwick 2014) ou encore l'effet du sédiment transporté par un fluide tel que l'eau (Thompson, Ball et al. 2011). Mieux comprendre l'effet de chacun de ces facteurs permet une meilleure compréhension des différents processus taphonomiques pouvant modifier un os ainsi qu'identifier des outils en os avec plus de confiance.

L'un de ces facteurs qui est encore relativement mal compris est l'effet des sédiments transportés par le vent. Quelques études précédentes ont discuté ou étudié le phénomène (Brain 1967, Shipman 1981, Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019), mais les méthodes employées par ces études ont été critiquées comme n'étant pas représentatives des conditions naturelles (Thompson, Ball et al. 2011). La problématique centrale de cette étude est donc de développer les travaux réalisés par ces études précédentes afin de déterminer si l'abrasion éolienne peut résulter dans des modifications pouvant être confondues avec l'action humaine. Grâce à l'installation récente d'une soufflerie capable de transporter des sédiments à l'Université de Montréal, il est possible d'étudier ce phénomène dans des conditions plus proches des conditions naturelles. L'application d'une nouvelle méthode de quantification des modifications de surface permet également une comparaison plus facile avec des outils en os.

Le premier chapitre vise à donner une idée d'ensemble de l'archéologie expérimentale et de la taphonomie qui sont présentées d'un point de vue historique et méthodologique. Le chapitre tente de donner une vue d'ensemble sur ces différents domaines. Les méthodes employées ainsi que les résultats d'études antérieurs sur l'effet de l'abrasion éolienne sont discutés plus en détail. Considérant que les polis sont l'une des principales modifications

associées à l'abrasion éolienne, les différentes sources de polis d'origine naturelle et anthropique sont abordées. Le concept d'outils en os non modifié ainsi que les outils intermédiaires bruts sont également discutés. Enfin quelques exemples, notamment de Old Crow Flats et de Bluefish Cave, de polis hypothétisés comme étant d'origine éolienne sont présentés.

Le Chapitre 2 porte sur l'abrasion éolienne comme phénomène physique et géologique et se base sur des recherches réalisées dans des contextes non archéologiques. Les principaux impacts du phénomène ainsi que les facteurs affectant le taux d'abrasion y sont discutés. Le débat concernant quelles particules sédimentaires sont responsables de l'abrasion éolienne est abordé. Enfin, quelques implications de ces recherches sur les ossements sont émises.

Le Chapitre 3 présente la méthodologie de l'expérience. Le chapitre commence avec l'élaboration de l'échantillon à être abrasé et d'une présentation de la soufflerie utilisée avant de poursuivre avec une description du régime expérimental. Les différentes méthodes pour d'étudier l'effet de l'abrasion et l'évolution des spécimens sont présentés. La méthode qualitative pour comparer les spécimens abrasés avec les outils en os est discutée. Enfin, les calculs concernant le taux de transport sédimentaire et d'abrasion des spécimens ainsi que le traitement statistique des données liées aux paramètres de rugosité de surface y sont expliqués. Le Chapitre 4 montre les résultats de l'expérience et est structuré de manière similaire au chapitre 3 commençant par les résultats qualitatifs suivie des différents résultats quantitatifs.

Enfin, le dernier chapitre est une interprétation des résultats, commençant par l'analyse des différents facteurs influant les taux d'abrasion et l'intensité ainsi que le type de modifications observées. Les résultats des paramètres liés à la rugosité de surface sont ensuite interprétés. La capacité de l'abrasion éolienne à créer des pseudos-outils est analysée. Enfin, les implications archéologiques et méthodologiques de cette étude sont discutées.

# Chapitre 1 : Archéologie expérimentale

L'archéologie expérimentale s'inscrit dans une approche hypothético-déductive : une hypothèse est formulée pour ensuite être testée puis validée ou falsifiée. Le terme commence à être utilisé dans les années 1970, même si les premiers à l'employer reconnaissent que ses fondements sont presque aussi vieux que l'archéologie (Coles 1973). Elle est décrite comme voulant imiter et comprendre la fonction de la technologie des êtres humains du passé (Coles 1979).

L'archéologie expérimentale est fréquemment associée aux concepts de reconstruction ou de reconstitution, mais l'utilisation de ces termes a souvent été critiquée puisque ne connaissant pas le passé, il est impossible donc de le reconstruire (Reynolds 1999). Reynolds préfère donc l'utilisation du terme construction (*construct*). Ce même auteur identifie cinq types d'expériences qui sont des fondements du domaine. Les constructions tentent de bâtir des structures et des bâtiments du passé basés sur les restes archéologiques. Les expériences de fonction et de processus tentent de comprendre comment les choses étaient réalisées par le passé. Ces études sont souvent associées à la fabrication/utilisation d'outils ou différents processus technologique utilisée dans le passé. La simulation se concentre sur les processus de formation des sites et taxonomiques. La présente étude est un exemple d'expérience de ce type. Les études d'éventualité sont une combinaison des trois premiers types et sont généralement à plus grande échelle et de plus longue durée. La dernière catégorie identifiée par Reynolds est l'innovation technologique où ce sont les techniques archéologiques elles-mêmes qui sont testées.

L'archéologie expérimentale, et plus précisément la simulation, est la méthode qui a été sélectionné afin de résoudre la problématique de recherche au cœur de cette étude qui est de savoir si l'abrasion d'ossement par des sédiments éoliens peut causer des modifications pouvant être confondues avec des outils en os. Cette problématique peut être divisée en deux questions majeures. La première est : comment est-ce que l'abrasion éolienne modifie les ossements ? Afin de pouvoir y répondre, il est essentiel d'avoir une bonne compréhension des travaux précédents sur le sujet (section 1.2.3) ainsi que les fondamentaux de l'abrasion éolienne (chapitre 2). La deuxième question est : est-ce que ces modifications peuvent être confondues avec un travail



anthropique. Pour y répondre, une bonne compréhension du polissage comme modification taphonomique est nécessaire (section 1.3).

### **1.1. Problématique de l'archéologie expérimentale**

Outram (2008) identifie plusieurs problèmes récurrents au sein des recherches en archéologie expérimentale et propose une série de recommandations pour les éviter. Le premier problème identifié et également le plus fréquent selon Outram est l'absence d'un but clair dans la recherche. Le but de l'expérience semble souvent être déterminé une fois qu'elle est déjà réalisée, tandis qu'elle devrait exercer une influence majeure sur les choix faits au cours du développement de la méthodologie et de la phase expérimentale. Une approche inductive plutôt que déductive est donc à encourager. Le deuxième problème identifié est le manque de détails concernant la méthodologie, ce qui peut rendre la réplification des résultats de l'étude impossible. Il est donc essentiel d'établir une méthodologie claire et de prendre des notes rigoureuses afin d'assurer la répliquabilité. Toute recherche en archéologie expérimentale va nécessairement devoir faire des compromis entre l'authenticité de l'étude et la possibilité de la réaliser avec des ressources limitées. Mais trop de compromis, surtout lorsqu'il est question des matériaux utilisés, peuvent sérieusement remettre en question la validité de l'étude. Le choix des mauvais paramètres d'étude est un autre enjeu fréquent lié à l'utilisation des mauvais paramètres ; les étudier à une mauvaise échelle ou fréquence peut également diminuer la pertinence scientifique d'une étude. Le dernier problème identifié par l'auteur est le manque de contexte académique et des lacunes bibliographiques. Ce dernier enjeu est particulièrement présent lorsque l'étude est réalisée par des artisan.e.s, qui, malgré leur grand talent pour produire des outils ou autres artefacts, ne proviennent pas d'un milieu académique. Une collaboration entre artisan.e.s et scientifiques est donc fortement recommandée (Outram 2008).

### **1.2 Taphonomie**

La taphonomie, provenant du grec *taphos* et *nomos*, signifiant la loi des tombes, est la science qui étudie les processus affectant les restes organiques et inorganiques dans leur transition de la biosphère à la lithosphère. Le terme a été créé par le paléontologue soviétique Efremov en 1940 (Efremov, 1940) et était initialement considéré comme étant une nouvelle branche de la paléontologie. Les bases du domaine se trouvaient déjà dans des recherches de

paléontologues et naturalistes antérieurs se basant sur le principe de l'uniformitarisme provenant à son tour du domaine de la géologie (Stiner 2008). Leonardo da Vinci est souvent considéré comme étant la première personne à utiliser un raisonnement taphonomique lorsqu'il a démontré que les bivalves retrouvés dans les Alpes ne pouvaient provenir du déluge biblique (Cadée 1991). Plusieurs paléontologues allemands jouent également un rôle important dans le développement du domaine pendant la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle. Les travaux de R. Richter (1928) concernant les conditions nécessaires à la formation de fossiles en milieu marin et ceux de Weigelt (1927) sur la décomposition, le transport et l'enterrement de carcasses en sont de bons exemples (Lyman 2010). Les travaux de ces paléontologues étaient peu consultés à l'extérieur du monde germanophone à l'époque, étant donné les barrières linguistiques et les tensions politiques en Europe dans la première moitié du 20<sup>e</sup> siècle (Cadée 1991). Ce développement en parallèle a mené à différentes visions sur ce que la taphonomie peut nous enseigner.

Étant initialement perçue comme l'étude de la perte d'information liée à la fossilisation par Efremov et les chercheurs anglophones se basant sur ses recherches, la taphonomie peut apporter des informations nouvelles concernant le contexte dans lesquelles la fossilisation s'opère pour plusieurs de l'école allemande. La distinction entre ces deux écoles de pensée diminue dans les années 70 et 80 (Cadée 1991). Les travaux de Behrensmeyer et Kidwell (1985) font partie de cette tendance unificatrice, définissant la taphonomie comme étant « l'étude des processus de préservation et comment ils affectent l'information contenue dans le registre fossile. » C'est également à cette époque que la taphonomie commence à être discutée dans des contextes paléoanthropologiques et archéologiques et que des méthodes statistiques plus complexes commencent à être appliquées.

La taphonomie est depuis son fondement une science intrinsèquement multidisciplinaire combinant des éléments de la sédimentologie, stratigraphie, géologique, chimie, écologie et paléontologie, parmi plusieurs autres (Behrensmeyer et Kidwell 1985). Elle est un outil puissant pour non seulement comprendre les biais liés à la préservation des restes, mais aussi un outil critique dans la reconstruction paléoécologique (Brett et Thomka 2013).

### **1.2.1 Biostratinomie et diagenèse**

La taphonomie, tel qu'envisagée par Efremov, comprend l'étude de la biostratinomie et de la diagenèse. La biostratinomie désigne les transformations affectant les restes entre le décès de l'individu et son enterrement, et la diagenèse, les transformations liées à la fossilisation des restes après leur enterrement final. Les processus biologiques sont généralement dominants dans la première phase et les processus chimiques et géologiques dans la deuxième (Stiner 2008). Il est possible de diviser chacune de ces deux phases principales en plusieurs processus différents. La biostratinomie étudie la mort des organismes, la décomposition des tissus, leur transport, orientation, désarticulation et fragmentation ainsi que leur enterrement (Brett et Thomka 2013). Weigelt est considéré comme l'un des fondateurs de ce domaine ayant lui-même créé le terme de biostratinomie et ayant réalisé la première monographie taxonomique (Cadée 1991). La diagenèse se concentre plutôt sur les différentes étapes de la minéralisation des tissus une fois enterrés. La définition spécifique et les limites de la biostratinomie et de la diagenèse ont varié au fil des ans selon les auteurs qui les ont parfois considérés comme des processus distincts, se recouvrant partiellement ou comme deux phases d'un même processus (Fernández-López et Fernández-Jalvo 2002).

### **1.2.2 Intempérisation**

Un des agents taxonomiques qui est d'un intérêt particulier pour cette étude est l'intempérisation. L'intempérisation est le processus par lequel un objet, généralement un os ou un autre tissu squelettique, est transformé par les processus physiques et chimiques liés au climat et à l'exposition aux intempéries. L'exposition au soleil ainsi que les changements de température et d'humidité sont certains des processus pouvant participer à l'intempérisation d'un spécimen. K. Behrensmeyer est l'auteure d'une série d'analyses expérimentales sur le sujet en archéozoologie. Par exemple, une de ses études décrit l'évolution de la condition de spécimens osseux laissés à l'air libre au Kenya et catégorise l'intensité des modifications sur une échelle de 0 à 5 (0 étant un os non modifié et 5 étant un os très fragmentaire et fragile difficilement reconnaissable) (Behrensmeyer 1978). Cette catégorisation a souvent été utilisée par d'autres auteurs par la suite.

### 1.2.3 L'abrasion éolienne comme agent taxonomique

Plusieurs auteurs ont suggéré que l'abrasion éolienne pouvait potentiellement résulter dans la formation de polis et d'autres modifications pouvant être confondues avec l'action humaine. Ces descriptions sont surtout associées à des ossements polis pré-Clovis retrouvés dans du lœss en Amérique du Nord (Stanford 1979, Graham 1981, Morlan 1984), mais aussi des assemblages associés aux premiers hominines en Afrique (Brain 1967).

Très peu de recherches taphonomiques ont cependant été réalisées sur l'effet du vent et des sédiments qu'il transporte sur les tissus squelettiques. La première étude à considérer sérieusement la possibilité que le vent puisse produire des pseudo-outils fut publiée par C.K Brain (1967). Cette étude tente d'identifier les causes naturelles potentielles de modifications observées sur plusieurs ossements trouvés dans le désert de la Namibie. Étant fortement polis et montrant un arrondissement important de la pointe, ces ossements étaient initialement considérés comme des outils. Brain a cependant conclu que le piétinement par des troupeaux d'animaux et des êtres humains était responsable de ces modifications. Le vent a été rejeté comme la source potentielle de ce polissage à la suite d'observations d'ossements laissés sur des dunes du désert. Les ossements exposés au vent étaient fortement intempériesés et montraient des traces d'éraflures plutôt que des polis et un arrondissement des rebords. Leur surface était également fortement rongée par l'effet du vent (Brain 1967). L'abrasion de la surface de l'os par les particules transportées par le vent a été brièvement discutée par Shipman (1981) qui a observé des ossements modifiés par le vent au microscope électronique à balayage. L'abrasion éolienne et fluviale sont toutes deux décrites comme des facteurs capables d'enlever l'os cortical, exposant ainsi l'os spongieux et les canaux vasculaires. Shipman relève le peu d'information disponible concernant le taux d'abrasion et de la nécessité de réaliser des études expérimentales additionnelles (Shipman 1981).

La description initiale des effets de l'abrasion éolienne de Brain (1967) contraste avec des caractérisations plus récentes des effets du phénomène, notamment dans le livre *Atlas of Taphonomic Identifications : 1001+ Images of Fossil and Recent Mammal Bone Modification* de Yolanda Fernández et Andrews (2016). Dans cet ouvrage de référence pour les taphonomistes modernes, trois types de modifications sont associés au vent : polissage, abrasion et arrondissement. Lorsque des objets modifiés par l'abrasion éolienne sont observés avec un

microscope à balayage électronique, de nombreuses petites fosses superficielles (*pits*) et de courtes gravures linéaires décrites comme ayant la forme de comètes sont observées (Fernández-Jalvo et Andrews 2016). L'abrasion éolienne crée les mêmes types de modifications que l'abrasion aquatique, mais la prévalence des fosses semble plus importante sur les spécimens exposés au vent tandis que les sections polies sont plus importantes sur les spécimens submergés dans l'eau. La taille des fosses est toutefois plus importante sur les spécimens dans l'eau, mais elles sont moins nombreuses et plus dispersées. Cela est causé par la plus grande taille des particules transportées par l'eau comparée à celles transportées par le vent. Il est cependant difficile de différencier l'action de l'eau et l'action éolienne au niveau macroscopique, car ils montrent tous deux un polissage de la surface et un arrondissement des rebords. Contrairement aux ossements modifiés par l'abrasion aquatique présentée dans cet ouvrage, qui ont été créés expérimentalement en laboratoire, ceux modifiés par le vent proviennent du terrain. Certains facteurs, tels que la durée d'exposition de ces spécimens, ne sont donc pas connus.

Très peu d'études expérimentales sur l'effet spécifique de l'abrasion éolienne sur les ossements existent dans la littérature (Shipman et Rose 1988, Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019). Shipman et Rose (1988) ont étudié le phénomène à l'aide d'un fusil à air comprimé qui propulsait du loess sur des fragments d'os d'éléphant partiellement couverts de sédiments. Les spécimens ont été exposés à un total de 5h d'abrasion de manière intermittente. Un haut niveau de modification microscopique a été observé avec une diminution marquée du volume de matériel osseux, un lissage et un arrondissement des rebords et l'augmentation de la taille des ouvertures déjà présentes. On observe également plusieurs fosses microscopiques sur la surface des os après l'abrasion. Les auteurs considèrent que les modifications observées dans leur étude sont substantiellement différentes de celles liées à l'utilisation d'outils et qu'il faudrait une exposition de très longue durée afin de produire de telles modifications, ce qu'elles n'étaient pas en mesure de tester. Frontini et al. (2019) utilisent une méthode similaire sur les ossements de poisson avec une exposition ponctuelle à des particules projetées par un fusil à air comprimé. Il s'agit donc d'une exposition de très courte durée, mais de grande intensité. Les principales modifications observées incluent le développement de stries et de fosses, particulièrement sur les spécimens secs. Aucun lissage, polissage ou arrondissement n'est observé sur ces spécimens. Cela n'étonne pas les chercheurs étant donné qu'il s'agit d'une abrasion éolienne très ponctuelle.

Ce type de modification n'apparaît pas avant plusieurs dizaines ou centaines d'heures dans des expériences sur l'abrasion sédimentaire (Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019).

#### **1.2.4 Abrasion sédimentaire non éolienne**

Malgré le peu de recherche sur l'effet de l'abrasion éolienne sur les ossements dans la littérature, il est possible de trouver des informations pertinentes dans des études réalisées sur des sujets similaires. Deux types d'étude peuvent révéler des informations pertinentes pour cette étude : les études portant sur l'effet de l'abrasion aquatique sur les ossements (Fernández-Jalvo et Andrews 2003, Thompson, Ball et al. 2011, Griffith, Thompson et al. 2016, Griffith et Thompson 2017) et celles sur l'effet de l'abrasion sédimentaire (Korth 1979, Shipman et Rose 1988, Andrews 1990). Il est également essentiel d'analyser les connaissances acquises dans la recherche sur l'abrasion éolienne provenant d'autres domaines, notamment la géologie étant donné qu'il y a beaucoup plus d'information sur la manière dont les roches sont modifiées par l'abrasion éolienne comparativement aux les ossements (voir chapitre 2 sur l'abrasion éolienne).

Historiquement, l'abrasion causée par l'action du sédiment sur l'os est répliquée expérimentalement à l'aide d'une polisseuse vibrante (*tumbler*) (Korth 1979, Shipman et Rose 1988, Andrews 1990, Fernández-Jalvo et Andrews 2003, Fernández-Jalvo, Andrews et al. 2014, Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019). Le premier à utiliser une telle méthode est Korth (1979) qui trouve un lien entre le polissage et l'éboussage de la surface de l'os et la durée d'exposition, ainsi que la taille du sédiment utilisé. Des études ultérieures tentent de distinguer le taux d'abrasion selon le type d'os (fossile, intempéré, frais et sec) dans du sédiment sec (Andrews 1990), puis avec un mélange de sédiments et d'eau (Fernández-Jalvo et Andrews 2003). L'utilisation de polisseuse vibrante est critiquée par certains auteurs puisqu'elle peut résulter en une abrasion supplémentaire causée par le frottement des os entre eux et entre les os et le rebord de la polisseuse (Thompson, Ball et al. 2011). La polisseuse vibrante élimine également toute directionnalité de l'abrasion et tend à générer des impacts de force uniforme, ce qui ne reflète pas l'abrasion dans des conditions naturelles (Shipman et Rose 1988). L'utilisation de canaux annulaires est considérée comme étant plus réaliste par ces auteurs puisqu'elle limite l'abrasion additionnelle. Les taux d'abrasion ne semblent cependant pas varier de manière importante selon la méthode utilisée (Fernández-Jalvo, Andrews et al. 2014). Le mode de transport sédimentaire (charge de fond, saltation et suspension) affecte différemment les os selon leur état (fossile,

intempéris, frais et sec) pour ce qui est de l'abrasion fluviale du moins. Par exemple, l'os frais est surtout affecté par le sédiment en saltation, tandis que l'os sec est plus affecté par le sédiment en charge de fond (Thompson, Ball et al. 2011). Il n'existe pas d'étude sur l'impact de différents modes de transport sur les ossements exposés au sédiment transporté par le vent. Shipman et Rose (1998) identifient une série de facteurs affectant le taux d'abrasion, notamment la taille et la nature du sédiment, la présence de tissu mou et la condition de préservation des ossements, la présence d'eau ainsi que la durée d'exposition. Contrairement à Korth (1979), on y identifie les sédiments fins tels que le lœss ou les cendres volcaniques comme étant particulièrement efficaces pour abraser. Pour ce qui est spécifiquement de l'abrasion causée par le vent, certains auteurs suggèrent qu'il est impossible d'étudier le phénomène de manière réaliste sans accès à un tunnel à vent capable de transporter du sédiment (Ahler 1980).

### **1.3 Polis comme modification taphonomique**

Le polissage résulte du frottement, généralement répété, de l'os avec un autre type de matériaux (Madgwick 2014). Il s'agit de l'une des modifications les plus couramment observées sur les outils dans un contexte archéologique. Les modifications anthropiques et naturelles sont difficiles à différencier, notamment à cause de la grande diversité de causes possibles, mais également la difficulté de le quantifier (Morlan 1984). Le polissage et l'arrondissement des rebords, souvent associés avec les polis (Bradfield 2015), sont les principales modifications attendues dans cette expérience. Il est donc intéressant de présenter un survol de différents agents naturels et anthropiques pouvant les causer, afin d'identifier des divergences entre les différents types de polis, mais aussi identifier les sources de confusion potentielle.

#### **1.3.1 Polis d'origine naturelle**

Plusieurs animaux peuvent causer des modifications osseuses incluant des polissages que ce soit en les rongant, les léchant ou en digérant l'os. Les hyènes ont un rôle important dans la création d'assemblages osseux (Kerbis Peterhans 1990). Ils ont tendance à consommer des os et de les fracturer pour atteindre la moelle créant une multitude de modifications taphonomiques. L'arrondissement et le polissage des rebords sont les principales modifications observées et sont souvent accompagnés de trace de dents et de corrosion digestive. Les épiphyses des os longs sont les éléments les plus affectés. Des modifications similaires ont aussi été associées à d'autres

carnivores telles que les loups (Haynes 2016) et les pumas (Montalvo, Pessino et al. 2007). La digestion peut résulter dans un polissage et un émoussage qui peut être difficile de distinguer de l'abrasion causée par le sédiment dans certaines circonstances (Fernández-Jalvo, Andrews et al. 2014). Les ongulés, qui ont une tendance à ronger des ossements afin de maintenir un équilibre nutritionnel, peuvent aussi produire un polissage ainsi qu'un émoussage des rebords. Comme pour les autres animaux, ce polissage est souvent accompagné d'autres modifications taphonomiques telles que la fragmentation ou des traces de dents (Cáceres, Esteban-Nadal et al. 2011, Hutson, Burke et al. 2013). Certains cervidés peuvent également polir et émousser l'extrémité de leur bois en les frottant contre le sol et les arbres, résultant en des modifications pouvant être confondues avec l'action humaine (Gordon 1976, Olsen 1989, Jin et Shipman 2010).

Le piétinement (charriage à sec), comme il a déjà été brièvement discuté, est une autre source potentielle de polis (Brain 1967, Olsen et Shipman 1988). Le piétinement ne modifie pas l'os suite au contact direct avec les sabots d'animaux marchant sur l'os, mais plutôt du frottement de l'os avec le sédiment avoisinant, suite aux mouvements répétés causés par des animaux (Madgwick 2014). Cela signifie que l'intensité du piétinement comme agent taphonomique dépend du type de sédiment dans lequel l'os se situe. Le piétinement peut polir et abraser l'os, mais peut aussi résulter dans des fractures et des stries.

Les conditions climatiques peuvent également entraîner la formation de polis sur les ossements. Thorson et Guthrie (1984) ont déterminé expérimentalement que le mouvement de la glace de rivière peut provoquer dans des polissages et ils le considèrent comme une source potentielle de polis trompeurs dans les milieux plus froids. Cet agent taphonomique peut également causer plusieurs autres modifications telles que des stries, des fractures en spirale, des enlèvements, ainsi que l'abrasion des extrémités de l'os (Thorson et Guthrie 1984). Le cycle gel-dégel ne semble cependant pas produire de polis ou d'abrasion lorsque testé de manière expérimentale (Pokines, King et al. 2016).

### **1.3.2 Polissage d'origine anthropique**

Une grande diversité de processus peut entraîner le développement de polis d'origine naturelle. Bradfield (2015) présente une très bonne synthèse des sources anthropiques de



polissage et les différentes méthodes utilisées pour les étudier, notamment la tracéologie. Le travail de la peau ou du cuir animal est une source fréquente de polis d'origine anthropique. Cela a été démontré par des études expérimentales (Richter et Dettloff 2002, Gates St-Pierre 2007) et tracéologiques sur des spécimens archéologiques (Li et Shen 2010, Akhmetgaleeva 2017). La création de trous dans le cuir avec des perçoirs en os produit un polissage lustré de la pointe de l'objet et la formation de stries circulaires perpendiculaires à l'axe principal de l'os lorsque le perçage est accompagné d'un mouvement de rotation (Akhmetgaleeva 2017). Ce polissage, qui devient de plus en plus lustré avec la durée d'utilisation, est aussi accompagné d'un arrondissement de la pointe (Gates St-Pierre 2007).

L'utilisation d'outils en os pour lisser la poterie peut également créer un polissage vitreux et un émoussage des rebords associés à des stries profondes sans directionnalité claire. Ces modifications apparaissent rapidement. Elles peuvent ressembler à celles liées au travail de matériaux végétaux riches en silice, une plus grande directionnalité des stries étant la différence principale (Gates St-Pierre 2007, Buc 2011). Il y a une variabilité dans l'intensité et la vitesse de développement du polissage selon le type de matière végétale travaillée. Le polissage associé au travail de l'écorce tend à être moins intense que celui associé au travail des feuilles de maïs, par exemple, et il est également associé à un plus faible nombre de stries non directionnelles, lorsque comparé aux feuilles de maïs (Gates St-Pierre 2007).

Le polissage peut aussi résulter du contact fréquent entre l'outil et l'ouvrier (Akhmetgaleeva 2017), créant une microtopographie uniforme pouvant être confondue avec les traces d'usure liées au travail de la peau animal (D'Errico 1993). L'utilisation d'outils en os pour creuser peut également créer un poli associé à la fracturation de la pointe et des stries irrégulières variant selon la matrice sédimentaire (Backwell et d'Errico 2001).

#### **1.4 Outils en os peu élaboré**

Il est parfois clair qu'un os a été fortement modifié par l'action humaine suite à son utilisation comme un outil. Il devient cependant plus difficile d'identifier un outil en os lorsqu'il est peu modifié. Ça ne demeure pas moins intéressant de le faire puisque des outils peu élaborés ont été utilisés longuement avant le développement d'outils en os plus sophistiqués (Pante, Torre et al. 2020). Des outils peu modifiés ont également continué d'être utilisés aux côtés d'outils plus

élaborés, indiquant la très longue histoire de ce type d'outil (Tartar 2003, Kozlikin, Rendu et al. 2020). Les outils en os peu élaborés peuvent représenter une part significative de tous les outils trouvés sur un site archéologique, par exemple, sur plusieurs sites aurignaciens (Tartar 2012). Tartar décrit ces outils comme étant des « outils intermédiaires bruts » (Tartar 2012, p.3). Il s'agit de fragments de diaphyses d'os longs de grands mammifères utilisés comme outils à la suite de la fracturation de ces os pour l'extraction de la moelle osseuse. Les fragments qui en résultent sont ensuite utilisés comme outils sans être retravaillés. Des fragments rectangulaires de tibias, de radius ou de métapodes semblent avoir été privilégiés pour ce type d'outil qui montre une grande variabilité morphologique. Les principales modifications liées à l'utilisation visible sur ces outils sont l'émoussage et l'écrasement des rebords, ainsi que la présence d'enlèvements à la pointe de l'objet. Certains ont également été polis. Il a été suggéré que ces outils étaient surtout utilisés pour le travail du bois animal et végétal (Tartar 2012). Des ossements similaires ont également été retrouvés dans la grotte de Denisova (Kozlikin, Rendu et al. 2020) où des ossements non travaillés ont servi de support pour la confection de plusieurs types d'outils différents tels que des retouchoirs, alènes, couteaux ou comme outils intermédiaires. Les retouchoirs, fréquemment retrouvés dans les assemblages moustériens en Eurasie, sont un excellent exemple d'outils en os peu élaboré (Burke et d'Errico 2008). Plusieurs de ces outils ont la pointe lissée ou polie, mais la modification la plus fréquente est l'écrasement de la pointe. Les objets avec un polissage semblent avoir été utilisés comme des perçoirs ou des alènes (Kozlikin, Rendu et al. 2020).

#### **1.4.1 Le cas de Old Crow Flats et Bluefish Cave**

On trouve des ossements similaires, mais avec une origine anthropique encore controversée dans le territoire du Yukon au Canada. Les sites de Old Crow Flats et Bluefish Cave contiennent des assemblages osseux incluant plusieurs ossements avec des modifications attribuées à l'action humaine démontrant ainsi la présence d'êtres humains en Béringie orientale pendant le dernier maximum glaciaire (Cinq-Mars 1979, Morlan, Nelson et al. 1990, Cinq-Mars et Morlan 1999, Bourgeon 2015, Bourgeon 2021). Plusieurs sources naturelles ont cependant été proposées pour expliquer ces modifications, que cela soit la glace fluviale (Thorson et Guthrie 1984), le piétinement ou le rongement par des animaux (Haynes 1988) ou des chutes de pierres (Agenbroad 1989) et les preuves d'une action anthropique restent controversées à ce jour

(Krasinski et Blong 2020). Certains de ces ossements sont de bons candidats pour des outils peu élaborés, démontrant des polissages qui pourraient être liés à leur utilisation. Il s'agit de quelques fragments d'os longs de grands mammifères (Cinq-Mars et Morlan 1999). L'abrasion éolienne ou fluviale est hypothétisée comme étant une cause potentielle d'origine non anthropique de ces polissages (Morlan 1984).

## Chapitre 2 : Abrasion éolienne

L'abrasion éolienne est définie comme l'usure mécanique liée aux collisions avec des particules transportées par le vent (Laity 2009). L'abrasion provoque une diminution de la masse du matériel abrasé à la suite d'impacts répétés avec des particules en mouvement. L'abrasion est l'un des deux mécanismes de l'érosion éolienne, l'autre étant la déflation qui est l'enlèvement de la matière fine d'une surface sans nécessiter de transport sédimentaire (Brigdes et Laity, 2013). Les bases de l'étude scientifique de l'abrasion éolienne et du transport sédimentaire par le vent sont développées par Ralph A. Bagnold à la suite d'une série d'expéditions en Libye. Il publie un livre sur le sujet après avoir réalisé des expériences sur le transport sédimentaire dans une soufflerie. La physique du sable soufflé et des dunes du désert est le texte fondateur du domaine et demeure une référence utile pour les chercheurs à ce jour (Bagnold 1941).

L'abrasion éolienne est principalement étudiée afin de comprendre et limiter son impact sur les populations humaines à proximité (Greeley et Iversen 1985, Lian-You, Shang-Yu et al. 2003) et afin d'être un outil dans la reconstruction paléoclimatique et paléoécologique (Bishop et Mildenhall 1994, Laity 2009). Elle est également étudiée afin d'acquérir une meilleure compréhension de l'atmosphère et la lithologie d'autres planètes avec un grand nombre d'études fondamentales sur l'abrasion éolienne discutant de la manière dont le phénomène se produit sur Mars, Venus ou d'autres corps célestes (Greeley, Leach et al. 1982, Greeley, Marshall et al. 1984, Sharp et Malin 1984, Greeley et Iversen 1985, Laity et Bridges 2009). Une meilleure compréhension du phénomène sur d'autres planètes permet souvent d'avoir une meilleure compréhension des processus analogues se déroulant sur Terre. L'abrasion éolienne est également étudiée comme phénomène taphonomique, mais relativement peu a été écrit sur le sujet surtout lorsque comparé à d'autres agents taphonomiques (Fernández-Jalvo et Andrews 2016, Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019). Il est important d'avoir une idée de l'abrasion éolienne comme phénomène physique et géologique avant de pouvoir approfondir les connaissances sur son rôle comme agent taphonomique.

Il y a trois manières différentes pour une particule d'être transportés par un fluide. La première et la moins intéressante pour l'étude de l'abrasion éolienne est le roulement étant donné qu'elle est surtout associée à des fluides plus denses tels que l'eau . Le roulement est le

mouvement de particules de plus grande taille se déplaçant sur le sol sans être soulevées par le fluide. La saltation est responsable de la majorité de l'abrasion éolienne et est associée à des particules de taille intermédiaire, généralement du sable, qui rebondissent sur le sol. Les particules en saltation ont une trajectoire balistique et se déplacent plus lentement que le vent. La force de l'impact d'une telle particule peut initier le mouvement d'autres particules de manière similaire et ainsi de suite (Anderson et Hallet 1986). Le dernier mode de transport sédimentaire joue un rôle plus controversé (voir section 2.2) concernant l'abrasion éolienne. Il s'agit de la suspension. Des particules de plus petite taille, telles que la poussière, sont souvent assez légères pour être complètement soulevées par le vent. Elles peuvent potentiellement être transportées sur de très longues distances selon les conditions et se déplacent à la même vitesse que le vent.

### **2.1.1 L'abrasion à l'échelle microscopique**

Lorsqu'une particule heurte une surface solide, elle a tendance à se déformer et à s'élargir comme une balle de tennis qui heurte un mur. Cela augmente la zone de contact entre la particule et le matériau abrasé. Si la particule a suffisamment d'énergie cinétique pour endommager le matériel abrasé, la valeur seuil étant déterminée par les propriétés de ce dernier, on peut alors voir se développer des fissures microscopiques sur la surface de l'objet. Ces fissures, dénommées fractures hertziennes, sont généralement 10% à 30% plus larges que le diamètre de la particule (Johnson, O'Conner et al. 1973). Il est possible de diviser l'abrasion entre quatre phases différentes (Marshall 1979). Les fractures résultent dans la formation d'une structure conique sous la zone de l'impact (stade embryonnaire). C'est le matériau qui se situe à l'intersection de ces différentes zones coniques qui sera le premier à se faire abraser à la suite des impacts subséquents (stade juvénile). La structure conique sera alors exposée et dégradée à son tour (stade avancé). Une fois cette structure nivelée, la surface a atteint un équilibre (stade mature). Il continue d'y avoir de l'abrasion, mais on n'observe plus la formation de nouvelles fractures hertziennes ou de structures coniques additionnelles, la surface étant trop irrégulière.

### **2.1.2 Description qualitative de l'abrasion**

La grande majorité des descriptions de l'effet de l'abrasion éolienne se concentrant sur la façon que cela affecte les roches, il est donc pertinent de se référer à cette littérature afin de voir comment elle pourrait potentiellement modifier les os ou autres tissus squelettiques. Une

multitude de structures en trois dimensions peuvent être observées sur les ventifacts (roches modifiées par l'abrasion éolienne). Plusieurs facteurs, tels que, la taille et le type de roche, peuvent déterminer quelles structures vont se développer. Il est possible de diviser ces différentes structures en deux grandes catégories : les facettes et rebords et les textures.

Les facettes et rebords sont des structures qui peuvent être observées principalement sur les plus petites roches. Une facette est une surface plate qui est souvent polie et lissée (Sharp 1949). Le nombre de facettes présentes sur un ventifact est l'une des principales manières de les catégoriser (King 1936). Un changement dans la direction des vents dominants ou des vents saisonniers peut résulter dans la formation de ventifacts avec plusieurs facettes en exposant différents côtés de la roche à l'abrasion. Une réorientation de la roche suite aux effets de la déflation, des glaciers, de l'eau ou encore de l'action d'êtres humains ou d'autres animaux peut modifier la surface qui est exposée au vent (Laity 2009). Les rebords sont les structures entre les différentes facettes et peuvent être arrondis ou angulaires.

Les textures sont un ensemble des caractères qui peuvent généralement être observés sur les ventifacts de plus grande taille ; ils sont donc moins intéressants comme source d'information potentielle pour prévoir comment les ossements seront modifiés par l'effet du vent. Des *flutes* ayant une forme de pointe de flèche orientée sous le vent ainsi que des stries, qui peuvent avoir des tailles très variables et sont généralement orientées parallèlement à la direction du vent (Tremblay 1961), sont les textures de surface les plus couramment observées. Des roches de taille intermédiaire peuvent montrer à la fois des facettes et des textures. Le type et l'orientation des textures de surface dépendent grandement de l'angle d'impact des sédiments transporté par le vent et peuvent donc être utilisés afin de déterminer la direction des vents dominants (Laity 1987).

Le polissage et le lissage sont les principales modifications observées sur les ventifacts et sont observables sur les facettes, mais aussi à l'intérieur de différentes textures telles que des stries présentes sur la surface (Maxson 1940). Les caractéristiques du poli peuvent varier selon l'environnement dans lequel l'abrasion se déroule. Les ventifacts en milieux périglaciaires sont souvent caractérisés par un poli plus lustré avec une couche siliceuse pouvant recouvrir leur surface (Demitroff 2016). D'autres ventifacts, situés en milieu désertique, peuvent développer ce qui est appelé un vernis désertique, composé d'une fine couche lustrée riche en argile et en

oxyde de fer et de magnésium, leur donnant souvent une couleur rougeâtre caractéristique (Potter et Rossman 1977).

### **2.1.3 Description quantitative de l'abrasion**

Une des méthodes les plus courantes pour quantifier l'abrasion éolienne est la susceptibilité à l'abrasion ( $S_a$ ).  $S_a$  représente le ratio de la masse perdue par l'objet abrasé sur la masse de sédiments ou sur le nombre de particules frappant l'objet (Bridges et Laity 2013).  $S_a$  est proportionnel à l'énergie cinétique des impacts entre les particules transportées et le matériau heurté (Greeley et Iversen 1985).  $S_a$  est généralement de l'ordre de  $10^{-4}$  (Greeley et al., 1982). En connaissant la surface de l'objet abrasé, il est alors possible de calculer le taux d'abrasion par unité de surface ( $R$ ) à partir du produit de  $S_a$ , le flux du sédiment ( $q$ ) et lorsqu'en situation naturelle la fréquence des vents nécessaires pour causer l'abrasion (Bridges et Laity 2013).

### **2.2 Quels types de particules sont responsables de l'abrasion ?**

Cette question peut sembler assez simple initialement, mais elle a fait couler une quantité d'encre au fil des dernières décennies. Le sable est le type de sédiment le plus communément associé à l'abrasion éolienne, mais certains chercheurs proposent que d'autres types de particules tels que la poussière (Dietrich 1977, McCauley, Breed et al. 1979) ou la neige et la glace (Dietrich 1977, Schlyter 1994) peuvent causer de l'abrasion. Ces autres particules ont été proposées comme source d'abrasion à la suite de la découverte de ventifacts dans des environnements sans sable. La poussière a aussi été utilisée pour expliquer des traces difficilement explicables par l'abrasion par le sable. Par exemple, l'abrasion par la poussière a été proposée pour expliquer l'abrasion observée sur la face sous le vent (McCauley, Breed et al. 1979). Les particules de poussière en suspension dans l'air causeraient de l'abrasion sur la face sous le vent en étant emportées par les vortex qui se forment après le passage du vent par-dessus un obstacle. Ces vortex génèrent des vitesses négatives qui causeraient des impacts de poussière sur le revers d'un objet. La poussière a aussi été utilisée pour expliquer le développement de différentes textures et du polissage (Lancaster 1984). La poussière est également une source possible pour les modifications qui peuvent être observées en hauteur, là où le transport de sable est moindre. Des études expérimentales (Dietrich 1977) ont également montré que la poussière peut être un agent abrasif, mais que cela prend beaucoup plus de temps qu'avec le sable.

Pour chaque argument en faveur de la poussière comme agent abrasif, il en existe d'autres en défaveur. Trouver un ventifact dans un milieu sans sable ne signifie pas qu'il n'y avait pas de sable présent pendant sa formation (Sharp et Malin 1984). La présence du sable peut être épisodique, apparaissant puis disparaissant à un lieu donné au fil des ans. De plus, on n'observe présentement pas de ventifacts en formation dans les milieux dépourvus de sable. Lorsqu'on observe une abrasion sur la face sous le vent, ce qui n'est généralement pas le cas (Sharp 1964, McKenna Neuman 1993), cela peut être le résultat d'un changement d'orientation du vent plutôt qu'à l'effet de la poussière dans les vortex. De même, lorsqu'on observe des polis ou des textures attribués à l'effet de la poussière au microscope, on peut y observer des traces d'usures associées au sable (Laity et Bridges 2009). La quantité d'énergie cinétique transférée à la roche est également très faible lorsque comparée au sable. La plus petite masse de poussière transfère 100 fois moins d'énergie cinétique par impact que le sable. De plus, puisque la poussière est en suspension dans l'air, elle a 10 fois moins de chance de heurter une roche comparée au sable en saltation (Anderson 1986). La neige a aussi une énergie cinétique plus petite que le sable avec deux à trois fois moins d'énergie par collision (McKenna Neuman 1993). De plus, la forme complexe des flocons de neige risque de se détruire lors du contact avec la roche, ce qui limite son efficacité pour transférer de l'énergie. Le profil d'abrasion, avec son taux d'abrasion variant selon la hauteur, correspond mieux à une abrasion par le sable que par la poussière. L'abrasion maximale est généralement mesurée entre 10 et 40cm au-dessus du niveau du sol (Anderson 1986, Bridges et Laity 2013). Cela correspond à la zone de transport maximal pour le sable en saltation.

### **2.3. Facteurs affectant l'abrasion éolienne**

Il existe un grand nombre de facteurs pouvant affecter l'abrasion. Les caractéristiques du matériau abrasé et des particules ainsi que la vitesse du vent jouent bien évidemment un rôle, mais d'autres facteurs telles que la concentration de sédiment, la hauteur, l'angle d'impact, la topographie locale et la température/ densité de l'air peuvent également jouer un rôle important.

#### **2.3.1 Caractéristiques du matériel abrasé**

Même si cela peut paraître étonnant, la dureté du matériau abrasé ne semble pas être un facteur majeur dans l'abrasion éolienne. Le taux d'abrasion est indépendant de l'échelle de



dureté de Moh's. Cela serait plutôt la force des liens à l'intérieur de la roche plutôt que sa dureté qui détermine sa vulnérabilité à l'abrasion (Dietrich 1977). La porosité du matériau ou la présence de plusieurs matériaux différents au sein de la roche jouent également un rôle important (Laity 2009). La porosité peut augmenter l'abrasion en fournissant une structure primaire qui peut être accentuée par l'abrasion. Une structure poreuse offre également plus d'angles d'attaques à une particule en mouvement. Cela augmente les risques que la particule heurte la roche dans un angle où elle est plus faible ou qu'elle ait de multiples impacts à l'intérieur d'une porosité (Bridges et Laity 2013). Une roche hétérogène permet aux particules d'abriter préférentiellement la composante plus vulnérable, ce qui peut augmenter la vulnérabilité totale de la roche.

### **2.3.2 Caractéristiques du matériau abraseur**

La densité, la dureté, la taille et l'angularité sont tous des facteurs qui peuvent affecter la capacité d'une particule d'être un abraseur efficace. Plus un matériau est dense et plus sa masse est importante, plus il augmente le transfert d'énergie cinétique. La dureté va déterminer les chances que la particule se déforme ou se casse sous l'impact, ce qui va diminuer le transfert d'énergie. Il peut être difficile de distinguer l'effet de ces deux variables puisque chaque matière va avoir une densité et une dureté qui lui est propre (Greeley, Marshall et al. 1984). Il peut donc être difficile de contrôler pour l'un ou l'autre séparément. La taille de la particule joue un rôle en augmentant sa masse et donc l'énergie cinétique de l'impact. L'étendue de cette relation est cependant débattue puisqu'au fur et à mesure que la taille de la particule augmente, de moins en moins de particules seront déplacées par une même vitesse de vent. L'angularité peut aussi jouer un rôle important avec les particules plus angulaires étant plus efficaces pour abriter que les particules arrondies. La plupart des grains de sable sur terre sont arrondis, mais peuvent être angulaires dans un dépôt plus jeune (Greeley et Iversen 1985).

### **2.3.3 Vitesse du vent**

La vitesse du vent affecte l'abrasion de multiples manières. Premièrement, une augmentation de la vitesse du vent ( $U_v$ ) augmente aussi la vitesse des particules ( $U_p$ ) ce qui augmente l'énergie cinétique de l'impact. Il ne s'agit pas d'une relation linéaire pour les particules en saltation et le vent ne peut pas accélérer une particule au-delà de sa vitesse terminale. La

contrainte de cisaillement ( $\tau$ ), qui dépend de la vitesse du vent, et la densité de l'air ( $\rho$ ) influencent la vitesse de cisaillement ( $u_*$ ) selon l'équation suivante :  $u_* = \left(\frac{\tau}{\rho}\right)^{0.5}$

C'est  $u_*$  qui détermine la taille des particules qui peuvent être mises en mouvement par le vent. Le carré de la taille maximale des particules pouvant être déplacées est proportionnel à  $u_*$  (Greeley et Iversen 1985) et le flux total de particules est proportionnel au cube de  $u_*$  (Bagnold 1941) . Une augmentation de la vélocité du vent augmente donc le nombre de particules en mouvement et la taille maximale des particules. Plusieurs auteurs soulignent l'importance potentielle d'évènements à faible fréquence, mais de grande intensité, sur l'importance de l'abrasion éolienne observée (Greeley et Iversen 1985, Laity 2009).

### **2.3.4 Concentration de particules**

Il serait logique de penser que plus il y a de particules dans l'air, plus il y a d'abrasion. C'est généralement le cas jusqu'à un seuil à partir duquel le taux d'abrasion a tendance à diminuer (Suzuki et Takahashi 1981). Les auteurs proposent que cela soit dû à l'effet de particules rebondissant après avoir heurté la surface qui perturbe la trajectoire d'autres particules. La concentration de particules peut bien évidemment varier selon la vitesse du vent, mais dépend également de la disponibilité de sédiment à être déplacé. Des facteurs tels que la présence de végétaux recouvrant le sol, l'humidité du sol et l'absence de sédiment de la bonne taille peuvent tous diminuer le nombre de particules disponibles pour être transportées (Nickling et McKenna Neuman 2009).

### **2.3.5 Hauteur**

On peut observer ce qu'on appelle des profils d'abrasion pour les environnements où l'abrasion éolienne est importante. Ce profil résulte d'un taux d'abrasion différent selon la hauteur. Le taux d'abrasion maximale se situe généralement entre 10 et 40 cm au-dessus du sol. C'est dans cette zone que l'énergie cinétique est maximale. Sous ce seuil, la vitesse des particules est trop faible, tandis que plus haut il n'y a pas assez de particules (Greeley, Marshall et al. 1984, Anderson 1986).

### **2.3.6 Angle d'impact**

L'angle selon lequel la particule heurte l'objet peut jouer un rôle important dans le taux d'abrasion (Greeley, Leach et al. 1982). L'angle optimal pour maximiser l'abrasion varie selon les caractéristiques du matériau heurté. Pour des matériaux plus vitreux tels que l'obsidienne, l'angle d'impact optimal se situe à environ 90° (la direction du vent est alors perpendiculaire à l'objet). Pour les matériaux plus cristallins, tels que le basalte ou le granite, l'angle optimal se situe plutôt entre 0° et 30°. La raison est incertaine, mais Greeley, Leach et al. (1982) proposent que des particules se déplaçant parallèlement à la surface pour heurter et décrocher des cristaux de ces matériaux puissent en être la cause.

### **2.3.7 Densité de l'air/ température**

La densité de l'air joue également un rôle puisqu'elle détermine la vitesse de cisaillement du vent et donc la taille des particules pouvant être transportées. La température joue donc aussi un rôle important en modifiant la densité de l'air (Nickling et McKenna Neuman 2009). Les matériaux ont aussi tendance à devenir plus cassants, avec la diminution de la température.

### **2.3.8 Topographie locale**

La distribution des obstacles à proximité joue aussi un rôle en protégeant les roches de l'abrasion ou en servant de ressort pour les particules qui les frappent. Ces particules peuvent alors atteindre de plus grandes vitesses et hauteurs, ce qui augmente leur capacité à abraser. La topographie locale peut souvent expliquer l'abrasion qui est observée à de plus grandes hauteurs (Laity et Bridges 2009).

L'abrasion éolienne peut se dérouler partout sur la planète, mais certaines conditions augmentent l'ampleur du phénomène. Le milieu doit avoir un couvert végétal minimal, un réservoir de sédiment et des vents forts et fréquents (Laity, 2009). On retrouve généralement ces conditions dans les milieux désertiques, côtiers et périglaciaires. Certaines conditions sont particulièrement favorables pour leur formation. Par exemple, on retrouve souvent des ventifacts au sommet de collines ou à la base des glaciers. Le premier cas s'explique par la hauteur de la colonne d'air qui y est réduite ainsi que la plus grande hauteur ce qui augmente la vitesse du vent. Pour les milieux périglaciaires, c'est la présence de vents catabatiques qui explique les forts

taux d'abrasion. Ces vents puissants, qui descendent le long des glaciers, peuvent fortement modifier les matériaux se situant à la base du glacier (Brigdes et Laity 2013).

## **2.4 Implication pour les ossements**

La très grande majorité des études sur l'abrasion éolienne concernent des roches ou des matériaux de construction. Très peu d'études ont été réalisées sur l'effet l'abrasion éolienne sur des tissus organiques, tels que des os. Il est cependant possible d'émettre plusieurs prédictions concernant les effets de l'abrasion sur ce matériau. Une bonne compréhension de l'histologie des os est nécessaire pour faire ces prédictions. Les os sont composés d'un mélange de tissus organique (collagène) et inorganique (hydroxyapatite). Il existe aussi plusieurs types d'os qui risquent d'être affectés différemment par l'abrasion. L'os cortical recouvre et la couche externe des os, tandis que l'os trabéculaire ou spongieux se trouve surtout dans les épiphyses. L'os cortical a une structure plus dense, tandis que l'os spongieux est très poreux et moins dense (White et Folkens, 2005). De plus, la densité de l'os tend à diminuer avec l'âge ou lors de carence alimentaire. La densité de l'os varie aussi beaucoup selon l'espèce, la fonction de l'os et même d'un individu à l'autre au sein d'une même population. En sachant que les matériaux poreux tendent à être abrasés plus rapidement, on peut prévoir que l'os spongieux sera abrasé préférentiellement. Cela indique que des fractures ou tout autre facteur exposant l'os spongieux aux intempéries pourraient augmenter le taux d'abrasion de l'os. De plus, tout autre facteur augmentant la porosité de l'os risque d'augmenter le taux d'abrasion observé. Enfin, l'os sec risque d'être plus abrasé que l'os frais puisqu'il est beaucoup plus friable étant donné l'absence du tissu organique donnant la flexibilité à l'os. Il faudrait donc moins d'énergie cinétique pour enlever une masse de tissu similaire à ce qui serait observé sur de l'os frais.

## Chapitre 3 : Méthodologie

L'extraction de la moelle osseuse par fracturation par les êtres humains produit des fragments osseux, pouvant, par la suite, être utilisées comme outils improvisés (Tartar 2012). Ces outils simples peuvent ensuite développer des polis d'origine anthropique, causés par leur utilisation. Toutefois, d'autres agents taphonomiques, telle l'abrasion éolienne, peuvent produire des polis superficiels sur les objets exposés en surface (Shipman et Rose 1988, Fernández-Jalvo et Andrews 2016, Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019). L'expérience conçue dans le cadre de ce mémoire consiste à : 1) observer et quantifier l'effet de l'abrasion éolienne sur la surface de fragments d'os, et ; 2) de le comparer avec des polis d'origine anthropique afin d'établir un protocole pour distinguer ces derniers de polis issus de l'abrasion. Pour ce faire nous avons réalisé l'expérience qui est décrite dans ce chapitre.

### 3.1 Conception expérimentale : impact de l'abrasion éolienne

#### 3.1.1 Échantillon expérimental

Cinq os longs (fémurs, tibias et métapodes) d'herbivores (*Odocoileus virginianus* et *Alces alces*) décarnisés et dégraissés (ou partiellement dégraissés) ont été choisis au Laboratoire d'archéozoologie de l'Université de Montréal. Les épiphyses de la plupart des os ont été sciées afin de faciliter la création de fragments d'os. La diaphyse était ensuite sciée transversalement en deux ou trois morceaux afin de multiplier le nombre de fragments disponibles. Ces portions de diaphyse ont ensuite été fracturées dans un étau en appliquant une pression jusqu'à l'éclatement de l'os. Entre six et dix fragments étaient créés à partir de chaque os. Un étau en plastique a été utilisé sur les spécimens de *O. virginianus*, mais il n'était pas assez solide pour casser les os d'*A. alces*. Un étau en métal beaucoup plus solide a été utilisé pour fracturer les grands spécimens produisant trois ou quatre fragments par portion de diaphyse. Cette fracturation résulte parfois dans la formation de fragments de petite taille qui n'étaient pas propices à être utilisés dans cette expérience. Ces petits fragments étaient alors écartés. Tous les spécimens ont été obtenus de cette manière à l'exception des spécimens F-6a et F-7a qui étaient déjà des fragments d'os entre 10-15 cm de long. Peu d'information était disponible sur l'origine de ces deux fragments. Au total, 37 fragments d'os ont été produits pour un total de 39 spécimens.

Ossement	Fragment	Spécimen	Ossement	Fragment	Spécimen	
1	1	F-1a	5	8	F-8a	
		F-1b			F-8b	
		F-1c			F-8c	
		F-1d		9	F-9a	
	2	F-2a			F-9b	
		F-2b			F-9c	
		F-2c		10	F-10a	
	3	F-3a			F-10b	
		F-3b	F-10c			
		F-3c	11		F-11a	
		F-3d			F-11b	
	2	4			F-4a	F-11c
F-4b				F-11d		
F-4c			12	F-12a		
F-4d				F-12b		
F-4c	F-12c					
2	5	F-5a	7	13	F-13a	
		F-5b			F-13b	
		F-5c			F-13c	
3	6	F-6a				
4	7	F-7a				

Tableau 1. Liste des spécimens avec ossements et fragments d'origines.

Certains spécimens avaient encore du périoste sur leur surface, tandis que d'autres, mal dégraissés, avaient encore de la moelle osseuse sur la face interne de la diaphyse. La cavité médullaire des os d'*A. alces* était encore remplie de moelle lors de la fracturation, par exemple. Le périoste et de la moelle ont donc été enlevés manuellement. Une attention particulière était apportée lors de l'enlèvement du périoste afin de ne pas modifier la surface osseuse. Une partie du périoste a dû être laissé sur certains spécimens par crainte de les endommager.

Un code alphanumérique permet d'identifier les spécimens, en commençant par F suivi d'un numéro indiquant à quelle portion de diaphyse ils appartiennent, suivi d'une lettre représentant chaque fragment obtenu à partir de cette portion de diaphyse (Tableau 1). Le code de chaque spécimen a été écrit sur la face interne de l'os à l'aide d'un crayon-feutre afin de le protéger d'une éventuelle abrasion éolienne. Chaque spécimen a ensuite été placé dans un sac à fermeture de glissière sur lequel le nom du spécimen était marqué. Une étiquette en papier portant le code était également mise dans le sac avec le spécimen. Ces étiquettes permettent d'identifier le spécimen sur les photos qui étaient prises durant le déroulement de l'expérience.

Une fois les spécimens clairement identifiés, une description préliminaire qualitative et quantitative a été réalisée (Annexe 1). La longueur maximale, la largeur et l'épaisseur ont été mesurées à l'aide d'un pied à coulisse numérique. La largeur et l'épaisseur ont été mesurées à un 1cm du point le plus élevé de l'os par rapport à l'axe horizontal. La longueur moyenne des spécimens était de 117.91mm avec un écart type de 22.53mm. La largeur moyenne était de 24.43mm avec un écart type de 10.83mm. L'épaisseur moyenne était de 6.52mm avec un écart type de 1.75mm. Le bord distal du spécimen est ensuite caractérisé comme pointu, plat ou irrégulier : l'échantillon contient neuf spécimens pointus, cinq irréguliers et vingt-cinq plats. Les spécimens étaient également caractérisés comme étant frais ou secs. Les spécimens de *O. virginianus* étant presque tous secs (22 spécimens) et ceux d'*A. alces* étaient frais et gras (15 spécimens). D'autres caractéristiques considérées comme potentiellement intéressantes étaient notées à ce stade, incluant la présence résiduelle de périoste ou de moelle osseuse, la forme générale du spécimen, la présence d'os spongieux ou la présence de modifications particulières. La présence d'une série de stries associée à l'utilisation d'un outil inconnu a été notée sur la surface du spécimen F-9c. Il a été décidé de garder ce spécimen afin de suivre l'évolution des stries, lorsqu'exposée à l'abrasion éolienne.

Quatorze outils en os fabriqués dans le cadre d'une autre étude ont été utilisés comme comparatif. Ces outils ont été empruntés au Laboratoire d'archéologie préhistorique (resp. Christian Gates St-Pierre) qui les avait créés et utilisés dans le cadre d'une recherche antérieure (Gates St-Pierre 2007). Ils avaient des polis liés à la fabrication et l'utilisation. Ces spécimens ont été divisés en deux types selon leur fonction : des lissoirs (N = 6) et des perçoirs (N = 8). Quatre autres perçoirs utilisés dans l'étude originale n'ont pas été retenus pour cette expérience puisqu'ils étaient trop petits pour être utilisés comme comparatif avec les spécimens exposés au vent. Trois des lissoirs avaient été utilisés pour éplucher du maïs (Ex-5, Ex-6, Ex-19), deux afin de lisser de l'argile (Ex-7 et Ex-8) et le dernier n'avait pas été utilisé (Ex-18). Les perçoirs avaient été utilisés pour faire des trous dans du cuir de vache (Ex-3, Ex-11, Ex-14) et dans de l'écorce de bouleau (Ex-2, Ex-13, Ex-17). Deux perçoirs n'avaient pas été utilisés (Ex-9 et Ex-16). Chacun de ces spécimens avait reçu un traitement unique lors de l'expérience originale, la durée du travail étant différente pour chaque outil. Un relevé complet du travail réalisé avec chaque spécimen est publié (Gates St-Pierre 2007). Il a été décidé d'intégrer les spécimens qui n'avaient pas été utilisés puisqu'ils pouvaient tout de même montrer des traces de polissage distinctif du polissage éolien liées à leur fabrication et pour ne pas réduire la taille de l'échantillon.

Il avait été prévu d'étudier la progression des modifications de surface des spécimens en étudiant des moulages en époxy dentaire (© Buehler Epoquick) réalisés à différents stades de modification. Deux moulages des bords distaux des spécimens avant l'exposition dans la souffleuse ont été réalisés. Toutefois, des analyses microscopiques préliminaires ont révélé que cela introduisait un degré d'incertitude et de variabilité supplémentaire dans la quantification de la condition de l'os. Les mesures prises sur deux moulages censés être identiques variaient grandement et les valeurs sur les moulages étaient différentes de ceux pris directement sur les spécimens. Des captures d'images ont été réalisées au microscope (DSX-100) à une résolution de 24X, 240 et 336X pour l'analyse et l'archivage des différentes étapes de modification osseuse.

### **3.1.2 Installation expérimentale**

La partie expérimentale de cette étude a été réalisée dans une soufflerie au laboratoire d'érosion éolienne (resp. James King) récemment créé au campus MIL dans le Département de géographie. Originellement construite à l'Université de Guelph en Ontario où elle a été utilisée



dans de nombreuses études au fil des ans (McKenna-Neuman et Nickling 1987, Gillies, Nickling et al. 2002, King, Nickling et al. 2008), la particularité de cette soufflerie est qu'elle permet de faire recirculer du sédiment ce qui permet de réaliser des études sur le transport sédimentaire à long terme dans un contexte de laboratoire. La description de la soufflerie et de son fonctionnement est principalement tirée de King, Nickling et al. (2008). Elle est dotée d'une section de travail de 0.72m de largeur par 0.92 m de hauteur et 8m de longueur dans laquelle les spécimens sont installés et peuvent être observés (Fig. 1). Le plancher de la section de travail est recouvert d'une couche d'environ 2.5cm de sédiment pendant l'expérimentation. C'est ce sédiment qui est emporté par le vent et qui va venir abraser les spécimens. Il est lissé manuellement avant le début de la période d'exposition. Il faut près de 250kg de sédiment pour recouvrir la totalité de cette section. Étant donné qu'il y a continuellement du sédiment qui quitte la section de travail, il est important de réalimenter la souffleuse de sédiments afin de maintenir

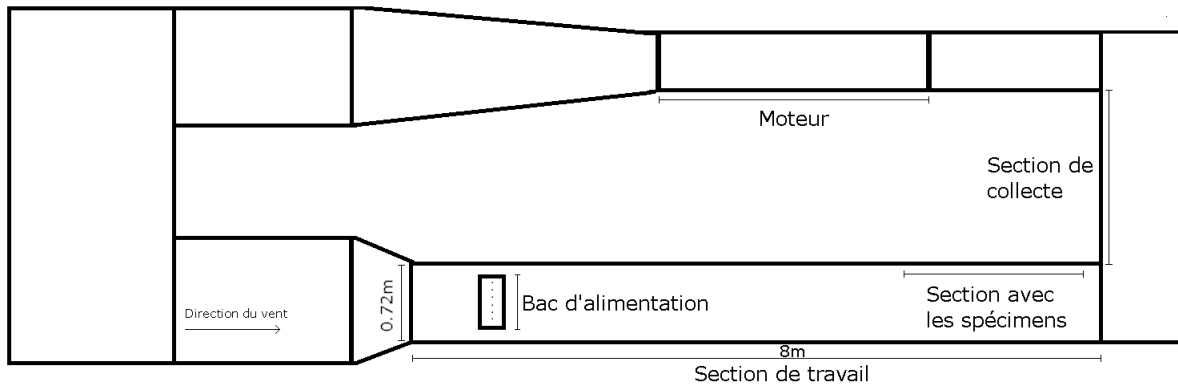


Figure 1. Schéma de la soufflerie du laboratoire d'érosion éolienne avec les principales sections indiquées. Le schéma n'est pas à l'échelle.

un équilibre. Pour se faire, un bac en bois, désigné comme le bac d'alimentation, avec six tubes en métal, est placé sur le plafond de la soufflerie au début de la section de travail. Les tubes sont insérés dans des trous dans la soufflerie prévue à cet effet, ce qui permet de fournir un volume constant. Il est possible de contrôler le débit d'écoulement du sédiment en modifiant la taille des trous entre le bac et les tubes. Le courant d'air est produit par un ventilateur axial à aubes de 1m alimenté par un moteur courant alternatif. Le sédiment est ralenti et collecté dans un bac conçu à cet effet après la section de travail à l'aide d'une série de filtres, installés dans cette section. Une fois la machine éteinte, il est possible de sortir le sédiment du bac de collecte afin de le réutiliser.

Une boîte de contrôle située à l'extérieur de la soufflerie permet de contrôler la fréquence de rotation du moteur.

Deux types de sable avec des tailles variables ont été utilisés dans l'expérience. Les deux ont été obtenues chez Atlantic Silica Inc. Le sable à une forme subangulaire, une dureté de 7.0 Mohs et une gravité spécifique de  $2,65\text{g/cm}^3$ . Le sable de type #0 a été choisi comme gros sédiment et le type #00 comme sédiment fin (Tableau 2). 1000kg de chaque type de sédiments a été utilisé au cours de cette expérience. Les sédiments ont été transférés dans de grands bacs en bois équipé de roues. Les différents bacs étaient clairement indiqués et gardés loin l'un de l'autre afin d'éviter toute contamination potentielle.

La vitesse seuil de transport sédimentaire a été déterminée en augmentant la fréquence du moteur par incrément de 2.5Hz, puis en mesurant la vitesse à l'aide du tube de Pitot et d'un tachymètre et en notant la présence et le type de transport sédimentaire. Pour éviter que les grains de sable fins soient coincés dans le filtre, ce qui diminuerait l'écoulement de l'air et donc sa vitesse, des filtres avec de plus grands trous ont été installés. Il est possible de voir les résultats des tests pour les deux types de sédiments dans le tableau 3. Le degré d'ouverture du bac d'alimentation nécessaire pour maintenir un équilibre dans la section de travail était déterminé pendant ces essais initiaux. La situation est considérée comme équilibrée si la quantité de sable près de la base des tubes d'alimentation demeure constante. Idéalement, la quantité de sédiments présents dans la section de travail devrait rester la même pendant toute l'expérimentation. Une fois trouvé, le degré d'ouverture nécessaire pour maintenir l'équilibre était marqué sur le bac d'alimentation au crayon-feutre.

Taille du tamis (mm)	% retenu	
	#0	#00
1.180	0.8	
1.000	6.7	
0.850	19	
0.600	43.5	
0.425	25.2	4.5
0.300	4.5	34.7
0.212		25.4
0.150		20.9
0.106		4.1
0.075		0.9

Tableau 2. Granulométrie des sédiments #0 et #00 telle que fournie par Atlantic Silica Inc.

Fréquence du moteur (Hz)	Vitesse du vent (m/s)	Type de transport sédimentaire	
		Sédiment #00	Sédiment #0
15	6.1	Rien	Rien
17.5	6.9	Roulement/Saltation minime	Rien
20	7.6	Saltation soutenue	Rien
22.5	8.4	Saltation soutenue	Rien
25	9.4	Saltation importante	Roulement minime
27.5	10.5	Saltation importante	Saltation minime
30	11.7	Saltation très importante/sédiment en suspension*	Saltation soutenue
32.5	12.8	NA	Saltation importante
35	14.0	NA	Saltation très importante/sédiment en suspension*

Tableau 3. Description des types de transport sédimentaire pour les sédiments #0 et #00 selon différentes vitesses du flux d'air dans la soufflerie. \* À de plus hautes vitesses, il peut être difficile de différencier entre la saltation et la suspension puisque les sédiments rebondissent sur les côtés, ainsi que sur la partie supérieure de la soufflerie.

### 3.1.3 Régime expérimental

Les spécimens osseux ont été fixés à des tiges en acier de 10.16 cm de long avec un époxy de marque J-B Well et visées dans des trous créés à cet effet dans le plancher de la soufflerie. Des trous ont été percés dans l'os spongieux de certains spécimens afin de faciliter l'insertion et la fixation de la tige. Quatre rangées de cinq trous ont été réalisées (Fig. 2 et 3). La distance séparant les rangées de spécimens (55.88 cm) a été choisie afin de limiter l'interférence entre eux (McKenna Neuman, von Bulow et al. 2021) et un décalage de 6.35cm était réalisé entre les trous afin d'alterner l'alignement des rangées. Les spécimens reposaient à 2 cm au-dessus du sédiment avec le cortex faisant face au flux d'air de la soufflerie.

Les spécimens ont été divisés en deux groupes. Le premier groupe (N=20) a été exposé au sédiment fin (#00) et le deuxième (N=19) a été exposé au plus gros sédiment (#0). Des essais à deux vitesses différentes ont été réalisés avec le sédiment fin : une première vitesse juste au-dessus de la vitesse seuil (20Hz ou 7.6m/s) suivie d'une vitesse 50% plus rapide (30Hz ou 11.7m/s). Une seule vitesse, près de la vitesse seuil (30Hz ou 11.7m/s), a été testée avec les gros sédiments puisqu'il était impossible de fournir suffisamment de sédiments pour maintenir un équilibre à des vitesses plus élevées. Les spécimens associés au sédiment #00 ont donc été exposés à deux vitesses de vent différentes et ceux avec le sédiment #0 à une seule.

Les spécimens exposés au sédiment #00 ont été sortis de la soufflerie, photographiés et pesés à des intervalles réguliers après un premier cycle de 75 heures, suivi de cycles de 25 heures (Tableau 4). Les photos (incluant le numéro d'échantillon, la durée d'exposition et une échelle) étaient prises avec un téléphone cellulaire de marque Samsung Galaxy S9. La masse était mesurée (Annexe 2) ainsi qu'une description qualitative de l'apparence des spécimens était également réalisée à chaque période de 25 heures. Après 150 heures les spécimens ont été photographiés et analysés sous le microscope (DSX-100 © Olympus) à 24X, 240X et 336X de grossissement au laboratoire d'écomorphologie et de paléoanthropologie.

Fréquence du moteur (Hz)	Temps exposé avec sédiment #00 (h)	Temps exposé avec sédiment #0 (h)	Documentation
20	75	NA	macro
20	100	NA	macro
20	125	NA	macro
20	150	0	macro/DSX-100
30	175	25	macro
30	200	50	macro
30	225	75	macro
30	250	100	macro/DSX-100

Tableau 4. Moment de la réalisation de différents types de documentation selon la fréquence du moteur (vitesse du flux d'air) et la taille du sédiment. Macro : Prise de photo et de poids et description de l'apparence qualitative du spécimen. DSX-100 : Prise de photos et mesure des paramètres de rugosité de surface à l'aide du DSX-100.

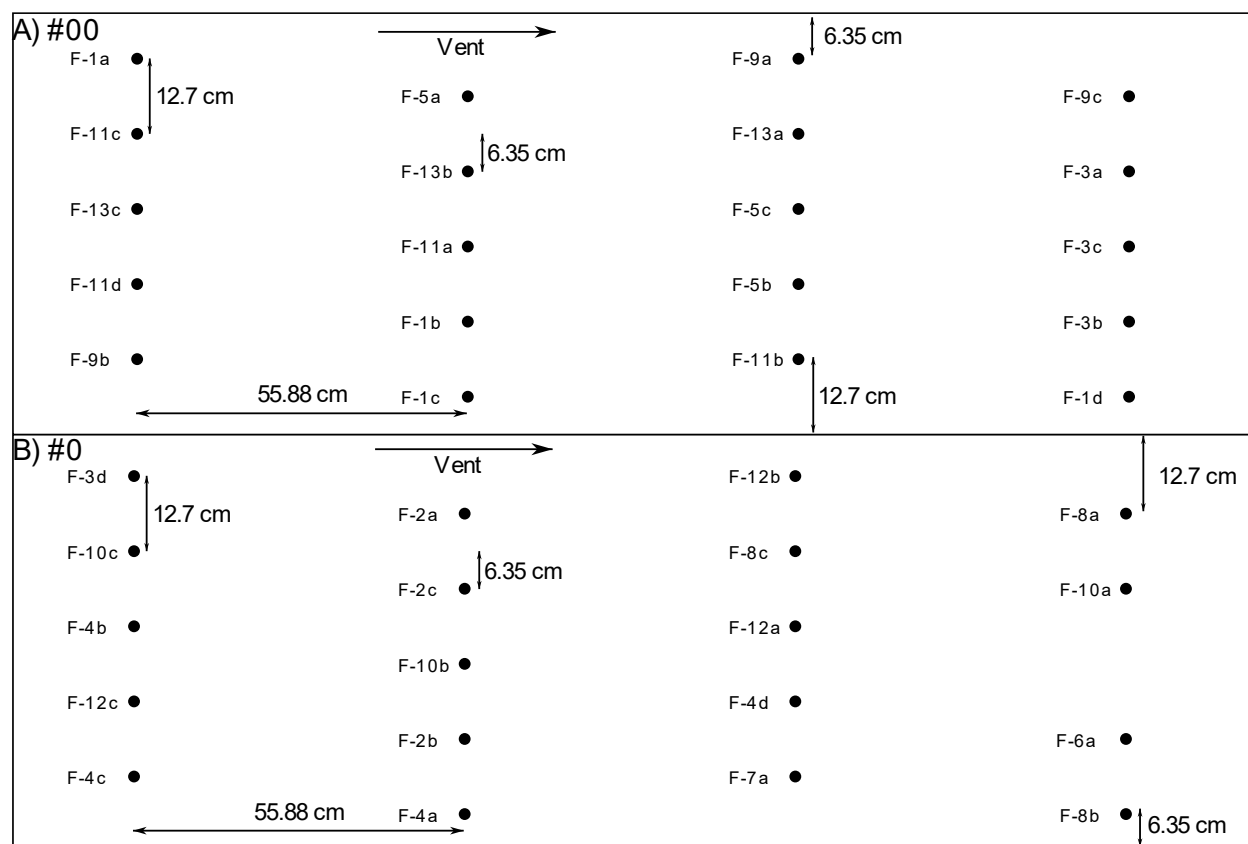


Figure 2. Distribution et dimensions séparant les spécimens à l'intérieur de la section de travail de la soufflerie. **A** : Avec le sédiment #00. **B** : Avec le sédiment #0.



Figure 3. Photo des spécimens dans la section de travail de la soufflerie.

La première condition expérimentale testée était le sédiment fin à une faible vitesse. Au total, les spécimens ont été exposés à 150 heures de vent dans ces conditions. Avec le vent de faible vitesse, il était facile de maintenir le bac d'alimentation plein en y versant du sable à chaque 45 minutes. Toutes les huit heures, le bac de collecte ainsi que toutes les sections à l'exception de la zone de travail étaient vidés afin de pouvoir réutiliser le sable le lendemain. La vitesse du vent pour les cycles ultérieurs a été augmentée à 30 Hz après la recalibration de la soufflerie. À cette vitesse, il était nécessaire de remplir le bac d'alimentation de manière continue et de vider le bac de collecte à chaque 75 ou 90 minutes.

Une fois le sédiment #0 installé dans la section de travail, une recalibration a été faite afin d'identifier la vitesse seuil et caractériser le type de transport sédimentaire. Il était impossible de maintenir un équilibre sédimentaire dans la section de travail au-delà de 30Hz ou 11.7m/s. C'est donc cette vitesse qui a été retenue pour cette phase de l'expérience. Une fois la vitesse déterminée, les spécimens (N = 19) ont été placés dans la soufflerie. La masse de ces spécimens était connue avant de commencer l'expérience. Leur surface avait également été caractérisée microscopiquement à l'aide du DSX-100 avant l'exposition.

Il était nécessaire d'arrêter régulièrement la soufflerie afin de récupérer le sable du bac de collecte et des autres sections. La soufflerie était active pendant des périodes de deux heures suivies de périodes de 25 à 50 minutes afin de récupérer le sable. Il a été décidé de ne pas récupérer le sédiment très fin qui s'accumulait dans certaines sections de la soufflerie afin de ne pas le faire recirculer. Ce qui augmenta l'uniformité du sable utilisé en plus d'augmenter significativement la qualité de l'air dans le laboratoire. Les spécimens ont été exposés à un total de 100 heures d'abrasion, des pauses étaient prises à chaque 25 heures d'exposition afin de peser et photographier les spécimens. Une deuxième description microscopique de la surface des os a été faite après 100 heures.

### 3.1.4 Taux de transport sédimentaire

Des essais pour mesurer le taux de transport sédimentaire ont été réalisés. Pour ce faire, deux fentes conçues pour collecter le sédiment ont été installées à la fin de la section de travail. Ils se situaient au niveau de la quatrième rangée des spécimens, l'un près du côté interne et l'autre du côté externe. En connaissant la largeur des fentes, le temps d'exposition et la masse de sédiments collectés, il est possible de calculer le taux de transport sédimentaire. En sachant la vitesse du vent, il est également possible de calculer la quantité d'énergie cinétique transférée du sédiment en mouvement au spécimen. Quatre essais de cinq minutes ont été réalisés pour les trois conditions expérimentales (Tableau 5)

Test #	Sédiment #00				Sédiment #0	
	7.6m/s		11.7m/s		11.7m/s	
	Interne (g)	Externe (g)	Interne (g)	Externe (g)	Interne (g)	Externe (g)
1	155.18	153.37	824.83	818.42	660.92	624.47
2	147.19	148.78	894.03	940.31	605.12	623.71
3	148.53	142.05	923.05	810.62	631	614.41
4	142.88	144.04	792.02	822.49	605.16	582.03
<b>Moyenne</b>	<b>148.445</b>	<b>147.06</b>	<b>858.4825</b>	<b>847.96</b>	<b>625.55</b>	<b>611.155</b>

Tableau 5. Masse de sédiments collectés pendant quatre essais de cinq minutes par des fentes prévues à cet effet. La largeur de la fente interne est de 15.30mm tandis que celle de la fente externe est de 15.01mm.

### 3.1.5 Microscopie et paramètres de rugosité de surface

La totalité des analyses microscopiques a été réalisée avec le DSX-100 © Olympus au Laboratoire d'écomorphologie et de paléanthropologie au Département d'anthropologie de l'UdeM. Il s'agit d'un microscope optodigital à angle libre qui permet de prendre des images et de réaliser des analyses quantitatives sur un même appareil. Il a la capacité de calculer une série de paramètres différents à partir d'images en deux ou trois dimensions. Les images en 3D sont générées par le microscope en prenant une série d'images 2D à des hauteurs légèrement différentes. C'est sa capacité de quantifier des paramètres liés à la rugosité de surface qui est d'un intérêt particulier dans cette expérience. Ces paramètres sont couramment utilisés en génie des matériaux et dans diverses manufactures pour caractériser la surface et les matériaux d'intérêts (Blateyron 2013).

Des essais préliminaires ont été réalisés afin d'identifier l'incertitude et la fiabilité des paramètres de rugosité de surface mesurées par le DSX-100. Pour ce faire, dix images ont été prises au même endroit sur un spécimen (F-9c après 150 heures d'exposition au vent) avec les mêmes paramétrages. Il était alors possible de calculer l'écart type à partir de ces dix images identiques afin d'établir le degré d'incertitude liée à la prise de mesure. Il est important de noter que l'incertitude est liée à la prise de la photo et non au calcul des paramètres de rugosité. Répéter un même calcul sur une photo donne toujours le même résultat. La variation dans les valeurs obtenues est possiblement due à des vibrations imperceptibles à l'œil nu lors de la prise de photo, mais suffisamment importantes pour modifier la valeur des paramètres mesurés.

Les spécimens modifiés par l'action humaine ont été caractérisés de la même manière que ceux modifiés par l'abrasion éolienne. La zone d'intérêt pour toutes les analyses topographiques est la zone la plus élevée du bord distal des spécimens. L'analyse des outils se concentre sur la pointe distale et les polis s'y trouvant. Des mesures ont également été prises sur la section centrale des lissoirs. Cette section montre des traces visibles liées à leur fabrication, le but étant de savoir si l'observation avec le DSX-100 pouvait distinguer entre différents types de traces anthropiques et non anthropiques.

Avant de prendre les images utilisées pour les calculs, une région considérée comme propice à l'analyse était sélectionnée en parcourant la section distale du spécimen à 24X de



grossissement. Une région était jugée propice s'il n'y avait pas d'anomalies topographiques majeures (par exemple une fissure ou un enlèvement important) dans la zone d'étude et un point de repère clair pouvant être identifié permettant de reconnaître la zone d'étude une fois le spécimen fortement modifié par l'abrasion éolienne. Des anomalies topographiques ont souvent été utilisées comme point de repère lorsqu'elles se situaient en périphérie de la zone étudiée. Une fois la région choisie, une première photo est prise avec un grossissement de 24X et les coordonnées, fournies par le DSX-100, étaient notées. Toutes les images étaient prises avec les mêmes paramètres. La focalisation était faite à l'aide de la fonction autofocus du microscope, puis modifiée manuellement au besoin. Les quatre lumières directionnelles étaient toujours allumées afin de ne pas changer les conditions d'un spécimen ou d'une région d'un spécimen à l'autre. Toutes les images étaient prises avec la plus haute définition disponible.

La surface des spécimens était ensuite caractérisée en prenant une série d'images dans la zone d'étude, à des niveaux de grossissement différents, puis en calculant les valeurs moyennes de différents paramètres de rugosité de surface. Un total de 50 images était réalisé par spécimen : 25 à 10X de zoom (240X de grossissement) et 25 à 14X (336X de grossissement) (Tableau 6). Ces images étaient prises avec les mêmes paramètres que les images initiales de la zone d'étude à 24X de grossissement. Les images étaient selon dans une grille de 5 par 5 à des intervalles réguliers, ajustés à la taille de la zone d'étude. Les coordonnées de chacune des photos étaient notées et leur position précise sur la photo initiale calculée afin de permettre la reprise de mesure au même endroit au cours de l'expérience. Un système de nomenclature spécifique aux images prises avec le DSX-100 a été développé, commençant par le nom du spécimen puis le temps d'exposition suivie du zoom et enfin du numéro spécifique de l'image. Par exemple : F-8a\_t0\_x10\_7 correspondant au spécimen F-8a, temps 0, 10X de zoom à la 7<sup>e</sup> position.

Une fois les 50 images par spécimen en main, les différents paramètres liés à la rugosité de surface ont été calculés par le logiciel. Les paramètres par défaut ont été utilisés pour ces calculs. Le DSX-100 permet de calculer près d'une vingtaine de paramètres différents liés à la topographie de surface, mais huit paramètres ont été retenus comme étant particulièrement pertinents pour cette étude. Ces huit paramètres décrivent trois sous-catégories : deux (Sq et Spk) décrivent la topographie de la surface, quatre (Vvv, Vmp, Vvc et Vmc) calculent le volume et

deux (Sal et Str) sont liées à la fonction d'autocorrélation. Tous ces paramètres calculés sont définis et régulés par le standard ISO 25178

Sq (*Root mean square height*) correspond à la moyenne quadratique des hauteurs de profil sur la longueur d'évaluation dans la zone analysée. Il s'agit du paramètre de rugosité le plus simple et l'un des plus fréquemment utilisés.

Spk (*Reduced peak height*) représente la surface du 10% des points les plus hauts par rapport à la hauteur moyenne du profil. Il est intéressant de suivre l'évolution des points les plus hauts puisqu'ils sont souvent les premiers à être modifiés par l'abrasion.

Vvv (*Dales Void Volume*) correspond au volume du vide au-dessus du 20% de la surface le plus bas (Fig. 4). Autrement dit, elle correspond au volume des vallées les plus profondes et autres structures similaires.

Vmp (*Peak material volume*) correspond au volume du 10% de la matière le plus élevé. Il s'agit de l'équivalent de Spk, mais en 3D.

Vvc (*Core void volume*) correspond au volume du vide au-dessus de la surface de la majorité de la surface. Vvc inclut le vide qui se situe entre le 10% le plus élevé et le 20% le plus bas.

Vmc (*Core material volume*) représente le volume de matière entre le 10% le plus élevé et le 20% le plus bas. La figure 4 représente graphiquement les différents paramètres volumétriques.

Afin de comprendre les deux derniers paramètres, il est important de comprendre ce qu'est la fonction d'autocorrélation. Il s'agit d'une fonction qui calcule la corrélation entre la hauteur d'un point et la hauteur des points voisins. La longueur de cette fonction est définie comme la distance entre deux points pour que le taux de corrélation entre leur hauteur soit inférieur à 0.2.

Sal (*Auto-correlation length*) correspond à la distance horizontale la plus courte pour ne plus observer d'autocorrélation. Autrement dit, ce paramètre indique la longueur minimale de la fonction d'autocorrélation. Il peut être utilisé afin de détecter des changements de hauteur rapides.

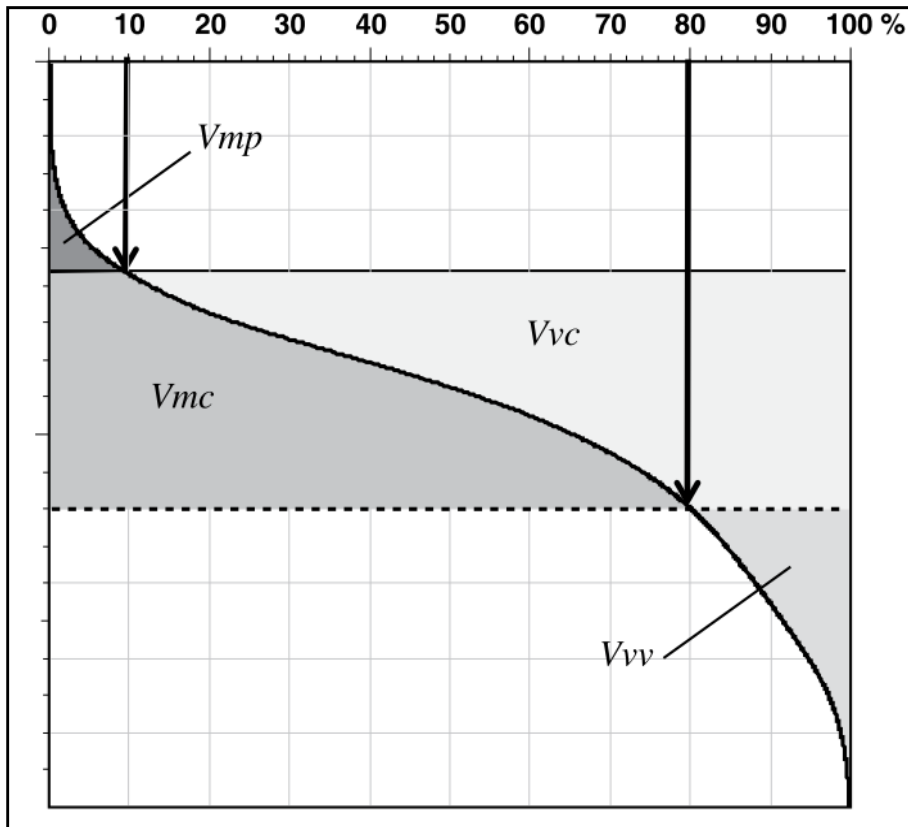


Figure 4 Représentation graphique des différents paramètres volumétriques, prise et modifiée de Blateyron, (2013). La ligne noire centrale représente la surface de l'objet étudié.

Str (*Texture aspect ratio*) est un paramètre sans unité qui correspond au ratio de la longueur d'autocorrélation minimal (Sal) sur la longueur d'autocorrélation maximale. Une valeur près de 1 indique une surface sans directionnalité (isotrope) tandis qu'une valeur près de 0 indique une surface avec une directionnalité (anisotrope). Il s'agit de l'un des paramètres les plus importants afin d'étudier l'uniformité des traces d'abrasion d'une surface.

Les valeurs seuils pour ces différents paramètres peuvent être modifiées, mais les valeurs par défaut définies par ISO 25178 ont été utilisées afin de faciliter d'éventuelles comparaisons. Des informations additionnelles concernant les calculs mathématiques spécifiques liées aux différents paramètres sont présentées dans Blateyron (2013).

### **3.2 Analyse qualitative**

L'évolution qualitative des spécimens a également été analysée macroscopiquement au cours de l'expérience. Une version modifiée d'une grille d'analyse qualitative utilisée par Christian Gates St-Pierre a été utilisée dans cette expérience (Annexe 3). Les photos prises lors des pesées des spécimens en plus de notes prises sur l'aspect des spécimens lors de ces arrêts ont été les principales sources pour l'analyse macroscopique. Une attention particulière était portée sur les traces de découpes ou fissures ainsi que les enlèvements résultants de la formation des spécimens. Suivre l'évolution de ces traces était considéré comme très intéressant afin de comprendre l'abrasion éolienne comme agent taxonomique. Lorsque les spécimens avaient des poliss, leurs emplacement, étendue, luminosité et structure étaient notés. La présence de reliefs sur la surface des spécimens (insertions musculaires, tubérosité, pores, etc.) et leur évolution étaient observées. La couleur ainsi que la texture du spécimen étaient également notées. Les images prises avec le DSX-100 à 24X de grossissement ont été utilisées afin de caractériser l'évolution microscopique de la surface des spécimens ainsi que des images à 240X et 336X de grossissement. La présence de stries, fissures, enlèvement ou d'autres types de relief étaient observés.

### **3.3 Analyse quantitative**

En plus de l'analyse qualitative, plusieurs méthodes ont été employées afin de quantifier l'abrasion éolienne et déterminer si la surface abrasée des spécimens se distingue ou non de celle des outils en os.

#### **3.3.1 Taux d'abrasion**

Des régressions linéaires ont été réalisées afin de calculer le taux de perte de masse par rapport au temps, selon trois conditions expérimentales: sédiment #00 à 7.6m/s, sédiment #00 à 11.7 m/s et sédiment #0 à 11.7 m/s. En connaissant la fluctuation de la masse, la surface des spécimens, ainsi que la vitesse du vent et la quantité de sédiments transportés, il est possible de calculer le taux d'abrasion pour les différentes conditions expérimentales. Autrement dit, combien de kg de sédiment doit heurter le spécimen à telle vitesse afin de réduire sa masse de 1g. Un deuxième taux a été calculé en contrôlant la superficie du spécimen. Ce type de donnée

est couramment employé dans les études d'abrasion éolienne éolienne (Suzuki et Takahashi 1981, Bridges, Laity et al. 2004, Laity et Bridges 2009). La surface totale des spécimens a été estimée en les traitant comme des surfaces 2D à l'aide de la fonction « règle » sur Inkscape à partir des images prises au cours de l'expérience. La susceptibilité à l'abrasion des spécimens a ensuite été calculée à l'aide des taux d'abrasions et les taux de transports sédimentaires.

Des comparaisons ont été réalisées entre le taux d'abrasion des spécimens en fonction de leur position dans la soufflerie ainsi que selon l'état du spécimen (frais vs sec) sur Rstudio. Des tests de Shapiro-Wilks ont été utilisés afin de tester la normalité des taux d'abrasion et des tests de Bartlett pour leur homoscedasticité. Plusieurs des échantillons n'étaient pas distribués normalement ou n'avaient pas d'homoscedasticité. La somme des rangs de Wilcoxon, un test non paramétrique, a donc été utilisée.

### 3.2.2 Analyses topographiques

Groupe	N spécimens	N zones par image	N mesures par paramètre	N paramètres	N données
Sédiment #0 t0	20	50	1000	8	8000
Sédiment #0 t100	20	50	1000	8	8000
Sédiment #00 t150	19	50	950	8	7600
Sédiment #00 t250	19	50	950	8	7600
Perçoirs	8	50	400	8	3200
Lissoirs polis	6	50	300	8	2400
Lissoirs fabrication	6	50	300	8	2400
<b>Total</b>	98	-	-	-	39200

Tableau 6. Nombre de données liées aux paramètres de rugosité de surface pour les différents groupes expérimentaux et types d'outils mesurer avec le DSX-100.

L'analyse topographique réalisée avec le DSX-100 a produit une très grande quantité de données (Tableau 6). Les données aberrantes au-delà d'un seuil de  $3\sigma$  ont été retirées. Les paramètres ont été divisés en trois catégories : paramètres spatiaux, volumétriques et autocorrélatifs. Si une donnée aberrante était trouvée pour un des paramètres dans une de ces catégories, toutes les données de cette catégorie étaient retirées. S'il y avait des données

aberrantes dans deux des trois catégories analysées, toutes les données pour cette image étaient rejetées. Au total, 509 données aberrantes ont été identifiées (1.34% des données) et 1422 données ont été exclues au total, soit 3.68% des données totales. Un nombre très similaire de données aberrantes ont été identifiées à 240X (259) et 336X (250) de zoom. Il en va de même pour le nombre de données retirées avec 708 à 240X et 714 à 336X. Il y a un recouvrement (31.7%) entre les images avec des données aberrantes à 240X et elles à 336X. Les images avec au moins une valeur aberrante en avaient en moyenne 1.69 à 240X et 1.79 à 336x. La quasi-totalité des données aberrantes retirées (500 sur 509), l'ont été puisqu'elles étaient trop élevées indiquant une asymétrie positive des données.

La normalité des données après élimination des anomalies a ensuite été testée à l'aide du test de Shapiro-Wilks. La normalité a été testée séparément pour chacun des groupes (ex. : tous les spécimens exposés au sédiment #0 à t100 ou tous les perçoirs) et pour chacun des paramètres. Un total de 112 tests de normalité a été réalisé. Mis à part Sal pour les lissoirs à 240X de grossissement, qui avait une p-value de 0.5, les données n'étaient pas distribuées normalement. Toutes les données non distribuées normalement présentaient une asymétrie positive.

Les moyennes pour les différents paramètres pour chaque spécimen ont été calculées (Annexe 4). Des comparaisons statistiques ont ensuite été réalisées, avec les moyennes pour chaque spécimen, entre les différents niveaux d'abrasion éolienne et les différents types d'outils sur Rstudio. Les données n'étant pas distribuées normalement, la somme des rangs de Wilcoxon a été utilisée. Ces tests n'ont révélé aucune différence entre les spécimens avant d'être exposés à l'abrasion éolienne et après exposition à 150 heures avec le sédiment #00 à 7.6m/s et à 100 heures à 11.7m/s avec les différents sédiments. Il a donc été décidé de réaliser des analyses en combinant ces spécimens pour obtenir deux groupes plutôt que quatre : faiblement abrasé (#0-t0 et #00-t150 et fortement abrasé (#0-t100 et #00-t250). Des diagrammes en boîte ont été réalisés à l'aide de la fonction ggboxplot afin de visualiser ces comparaisons.

Plusieurs données aberrantes ont été identifiées puis éliminées à ce stade avant de refaire les tests de la somme des rangs de Wilcoxon. Il a été décidé d'inclure les spécimens qui n'avaient qu'une donnée aberrante, afin d'augmenter le nombre d'échantillons et de réaliser des tests des composantes principales (PCA). Un spécimen était rejeté si plusieurs paramètres étaient aberrants. Menant à l'élimination de six spécimens à 240X et huit spécimens à 336X sur un total

de 97 spécimens. Les spécimens rejetés à 240X avaient en moyenne 3.2 paramètres aberrants et ceux à 336X en avaient en moyenne quatre.

Étant donné le grand nombre de variables et leur distribution non normale, il a été décidé de réaliser des analyses par composantes principales. Ces tests ont été réalisés sur RStudio. Les données ont été centrées et ont subi une transformation d'asymétrie et logarithmique. Des tests PCA ont été réalisés avec les moyennes arithmétiques des paramètres des différents spécimens. Des biplots ont été générés à l'aide du package ggbiplot afin de visualiser les résultats de ces tests. Des matrices de corrélations ont également été réalisées afin de réduire le nombre de paramètres utilisés pour les tests PCA. De nouveaux tests PCA ont ensuite été réalisés avec uniquement les paramètres qui n'étaient pas fortement corrélés entre eux.

## **Chapitre 4 : Résultats**

Ce chapitre présente les différents résultats qualitatifs et quantitatifs qui ont été obtenus au cours de cette recherche. L'analyse qualitative de l'évolution de la condition des spécimens se concentre sur l'évolution macroscopique et microscopique des fragments d'os exposés à l'abrasion éolienne. Une comparaison avec des outils en os est également présentée dans cette section. Plusieurs caractéristiques des spécimens abrasés, tel que la présence de polis mats, l'atténuation de nombreuses textures de surfaces ainsi que la présence de fosses microscopiques sont contrastées avec ce qui est observé sur les spécimens non abrasés ainsi que les plages d'usures des outils en os. Les différents facteurs affectant le taux d'abrasion des os, tel que la position dans la soufflerie et l'état de l'os (frais vs sec) sont abordés. Enfin, les résultats des différentes comparaisons quantitatives réalisées avec les huit paramètres de rugosité de surface sont présentés.

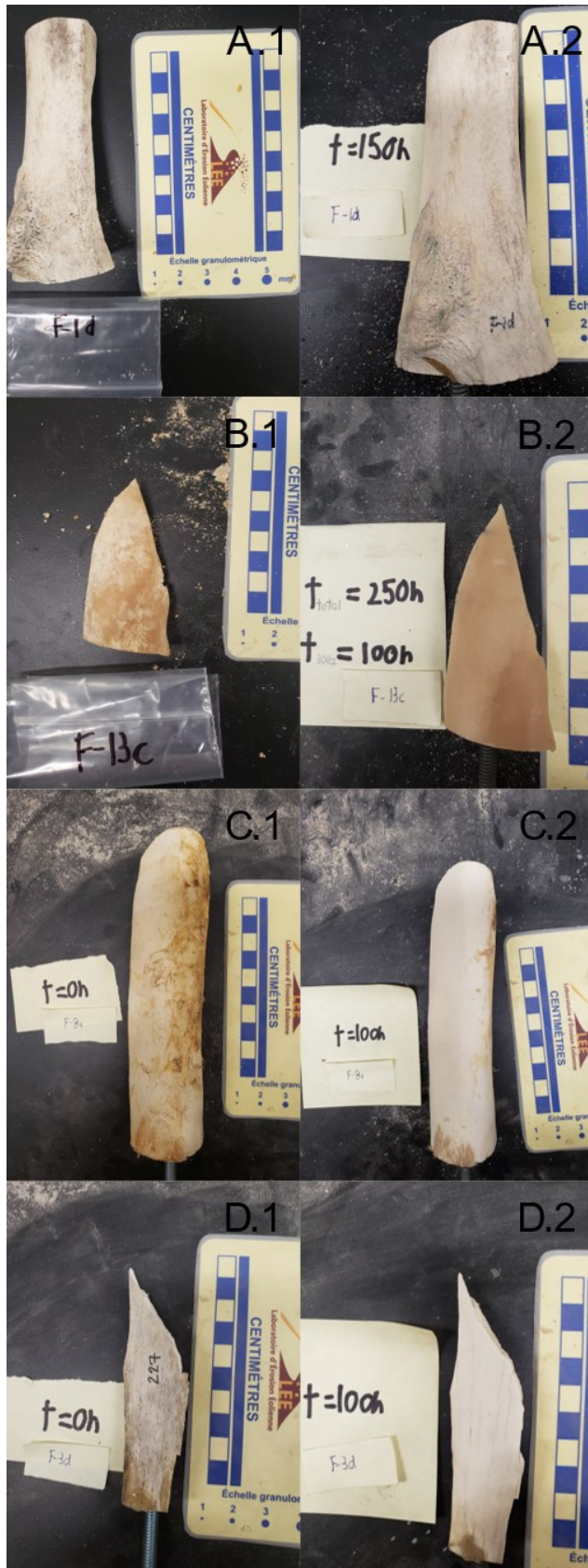
### **4.1 Analyse qualitative**

L'analyse qualitative de l'évolution de la condition des spécimens se concentre sur l'évolution macroscopique et microscopique des fragments d'os exposés à l'abrasion éolienne. Une comparaison avec des outils en os est également présentée dans cette section.

#### **4.1.1 Évolution macroscopique**

Les spécimens ont été observés à des intervalles réguliers pendant toute la durée de l'expérience et l'évolution de leur condition était notée. La principale modification observée sur les spécimens exposés dans la soufflerie est le développement d'un polissage mat uniforme sur tous les spécimens pendant leur exposition (Fig. 5). Ce polissage est associé à un émoussage important des rebords des spécimens. La totalité de la surface exposée des spécimens est polie, exception faite des parties initialement recouvertes par de la colle. La colle, lorsque présente, est généralement visible dans la moitié proximale dans la section centrale des spécimens. Seuls les spécimens secs ont de la colle sur leur surface. La surface qu'elle recouvre diminue avec la durée d'exposition avec la grande majorité de la surface initialement recouverte de colle étant asséchée et polie pendant l'exposition. Certains spécimens avaient encore du périoste avant l'exposition.





La majorité du périoste est enlevé rapidement durant l'exposition, mais certains fragments sont toujours présents à la fin de l'expérience. Certains spécimens avaient également de petites sections polies associées à l'enlèvement du périoste. Ce polissage, à la différence de celui associé à l'abrasion éolienne, est très lustré et composé d'une série de petites stries parallèles. Il est remplacé par le poli associé à l'abrasion sédimentaire au cours de l'expérience avec plus aucune trace du poli initial à la fin de l'expérience (Fig. 5.C.1).

Le polissage se développe beaucoup plus rapidement lorsque les spécimens sont exposés à un vent de 11.7m/s que lorsqu'ils sont exposés à 7.8m/s. Les spécimens exposés à 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment fin sont moins polis et modifiés que les spécimens exposés à 25 heures à 11.7m/s avec le sédiment plus gros (#0). Le degré de polissage observé augmente rapidement à la

Figure 5. Spécimen F-1d avant (A.1) et après (A.2) 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment #00. F-13c avant (B.1) et après (B.2) 150 heures à 7.6m/s et 100 heures à 11.7m/s avec le sédiment #00. Spécimen F-8a et F-3d avant (C.1 et D.1) et après (C.2 et D.2) 100 heures

suite de l'augmentation de la vitesse du vent pour les spécimens exposés au sédiment fin (#00). Le degré de polissage final est macroscopiquement indistinguable selon la taille du sédiment utilisée. Pour une vitesse donnée, le polissage se développe de manière plus uniforme et continue pour les spécimens secs que pour les spécimens frais. Les spécimens secs sont visiblement plus polis lors de chaque observation réalisée pendant le déroulement de l'expérience, tandis que les spécimens frais atteignent souvent un plateau dans le degré de polissage après environ 50 heures d'exposition à des vents de plus haute vitesse. Tous les spécimens deviennent plus lisses au fur et à mesure de l'exposition, mais la différence est plus visible pour les spécimens secs. Les spécimens frais étaient plus lisses au toucher avant l'expérience : le contraste est donc plus marqué pour les spécimens secs qui étaient plus rugueux initialement. Certains spécimens frais étaient également un peu gras au toucher initialement, mais devenaient très secs à la fin de l'expérience.

Un changement de couleur peut être observé sur la quasi-totalité des spécimens. Les spécimens secs sont très rapidement blanchis, avec plusieurs spécimens montrant un blanchissage lors de la première période d'observation, peu importe la vitesse du vent ou la taille du sédiment. Les spécimens secs passent d'une couleur beige pâle avec des sections plus foncées à une couleur uniformément blanche. L'évolution de la couleur des spécimens frais est plus complexe. Ils commencent tous avec une couleur beige orangée avec des parties plus pâles ou foncées selon le spécimen. L'intensité de la couleur diminue avec la durée de l'exposition et les taches tendent à devenir moins visibles. Contrairement aux spécimens frais, un contraste de couleur important se développe sur certains spécimens frais. Le contraste observé est toujours le même avec la moitié distale étant plus pâle/blanche et la moitié proximale étant plus foncée/brune. Une différence de couleur est déjà observable avant l'exposition sur ces spécimens, mais elle devient beaucoup plus prononcée avec l'exposition. Une ligne de séparation claire se développe entre les deux sections et devient de plus en plus marquée avec le temps.

L'émoussage des rebords est une autre modification majeure qui est observée sur tous les spécimens. Comme pour le polissage, l'émoussage des rebords se développe beaucoup plus rapidement avec des vents à 11.7m/s. Le bord distal semble particulièrement affecté par l'émoussage et plusieurs ébréchures et enlèvements, initialement visibles, disparaissent complètement. Seules les ébréchures de plus grande taille sont encore visibles après l'exposition.

Ces ébréchures sur le bord distal sont souvent associées à des fissures superficielles parallèles au sens de la longueur des spécimens, mais des fissures peuvent également être observées sur d'autres parties du spécimen. Elles sont uniquement observées sur les spécimens secs. La longueur de ces fissures varie de quelques millimètres à la quasi-totalité de la longueur des spécimens. Ces fissures, particulièrement celles de plus petite taille, disparaissent complètement à la suite de l'abrasion éolienne. Il ne reste souvent que quelques fissures de plus grande taille après l'exposition, mais elles sont tout de même moins visibles qu'avant l'exposition (Fig. 5.D). Un spécimen avait des stries liées à l'utilisation d'outils (F-9c). La visibilité de ces stries diminue grandement pendant l'exposition pour ensuite disparaître complètement. Plusieurs spécimens secs avaient une partie significative de leur surface recouverte de petits pores. Comme pour les fissures de petite taille, ces pores tendent à disparaître rapidement avec l'exposition. La disparition des pores est souvent l'une des premières modifications observées même pour lorsque les spécimens sont exposés à des vents de faible vitesse (Fig. 5.A).

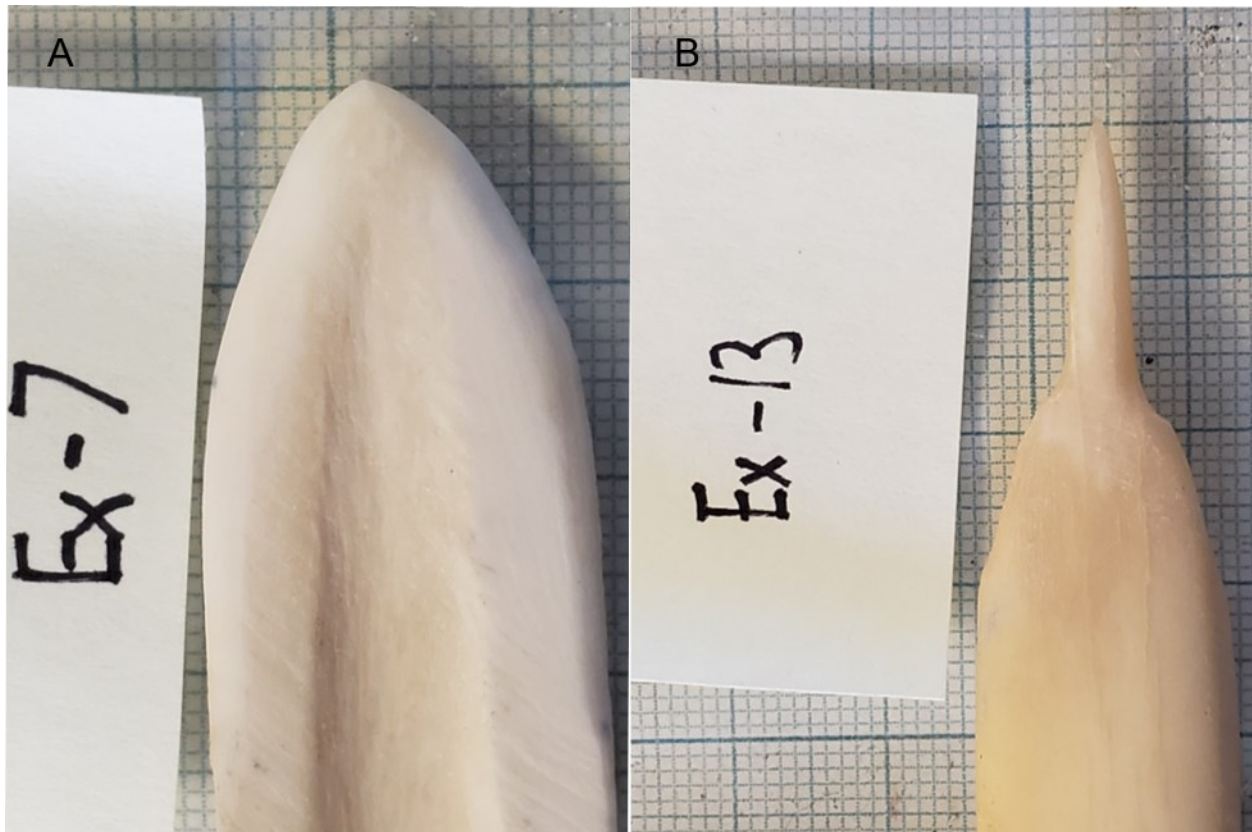


Figure 6. Images des sections travaillées d'outils en os fabriqué par Gates St-Pierre 2007. A) Lissoir #7 : utilisé sur de l'argile et B) Perçoir #13 : utilisé sur de l'écorce.

#### 4.1.1.1 Comparaison avec les outils en os

Lorsque les spécimens abrasés par le sédiment éolien sont comparés aux outils en os, plusieurs différences peuvent être observées. Le type et l'étendue du polissage diffèrent entre ces deux groupes (Fig. 6). Le poli observé sur les outils en os est lustré, ce qui contraste avec le poli mat observé sur les spécimens abrasés. De plus, la zone polie sur les outils en os est limitée aux sections près de la pointe supérieure de l'objet ayant été en contact direct avec la matière travaillée. L'émoussage des bords distaux est également beaucoup moins prononcé sur les outils en os lorsqu'il est présent. Plusieurs des outils en os ne montrent aucun signe d'émoussage. Certains des outils en os ont également une coloration de la pointe associée au transfert du matériau travaillé.

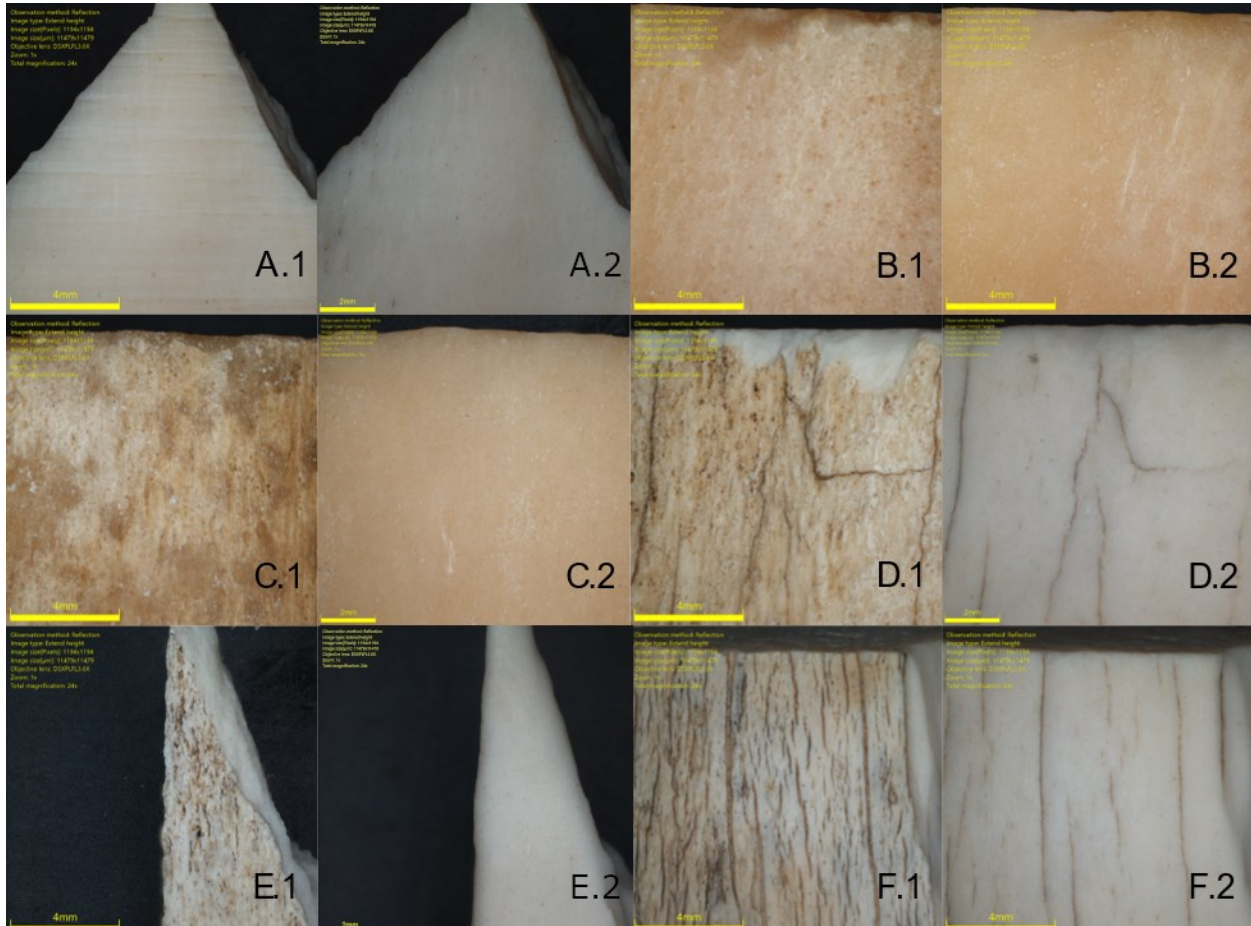


Figure 7. Images prises avec le DSX-100 à 24X avant et après une abrasion intensive. Spécimens F-9c (A) et F-13a (B) après 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment #00 (A.1 et B.1) et après 100 heures additionnelles à 11.7m/s avec le sédiment #00 (A.2 et B.2). Spécimens F-12b (C), F-4d (D), F-3d (E) et F-3b (F) avant (C.1 ; D.1 ; E.1 ; F.1) et après (C.2 ; D.2 ; E.2 ; F.2) 100 heures additionnelles à 11.7m/s avec le sédiment #0.

#### 4.1.2 Évolution microscopique

Avant l'exposition à l'abrasion éolienne, la surface des spécimens est généralement très rugueuse avec la présence fréquente de pores, de fissures superficielles ou encore d'ébréchures près du bord distal (Fig. 7). La grande rugosité de la surface des spécimens est d'autant plus visible à de plus forts niveaux de grossissement (240X et 336X). Le bord distal et les ébréchures

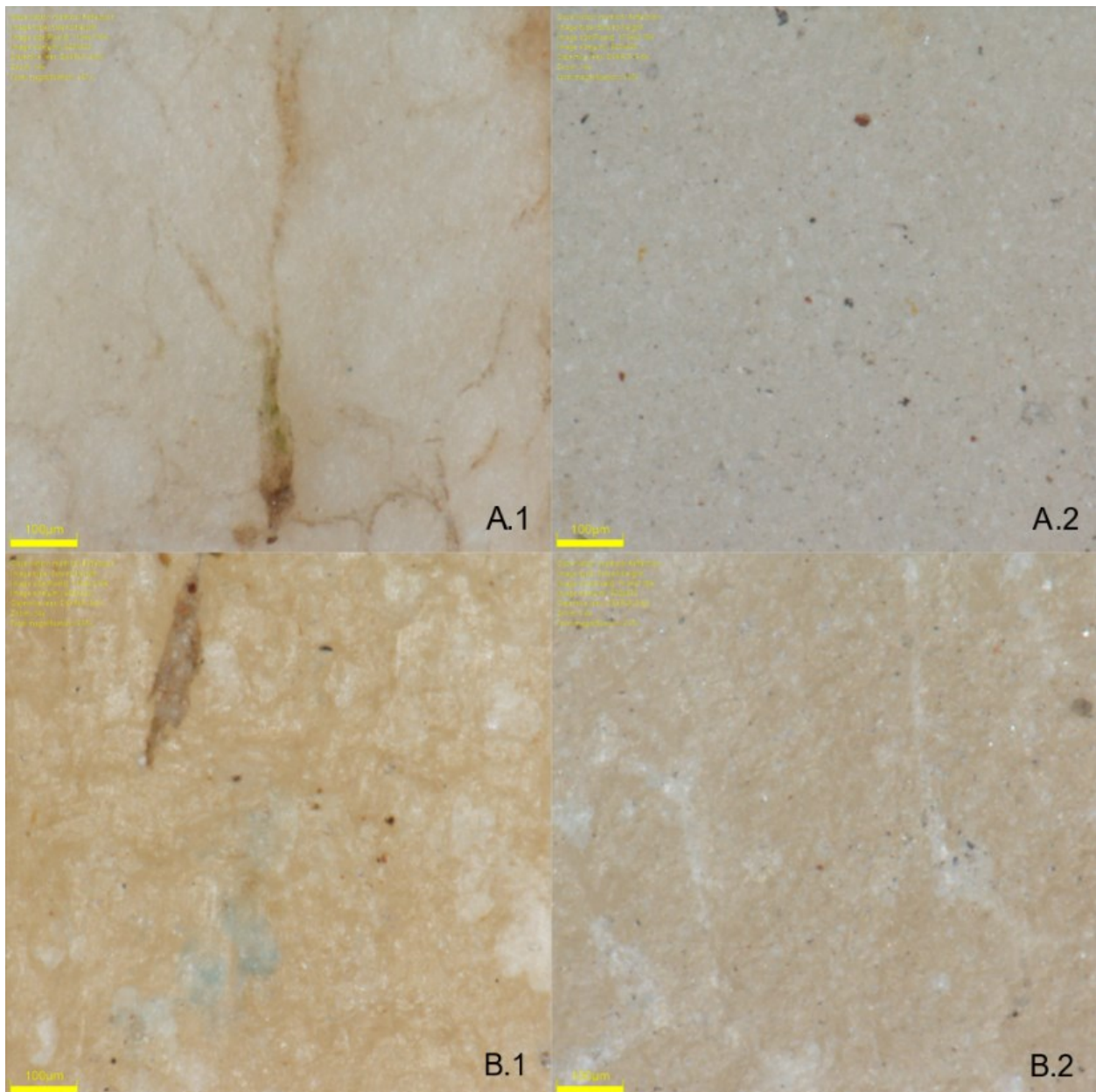


Figure 8. Images prises avec le DSX-100 à 336X avant et après une abrasion intensive. Spécimen F-1c après 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment #00 (A.1) et après 100 heures additionnelles à 11.7m/s avec le sédiment #00 (A.2) et spécimen F-6a avant (B.1) et après (B.2) 100 heures à 11.7m/s avec le sédiment #0.

sont très bien définis. La grande majorité des fissures font moins de 2mm de longueur et sont très superficielles, les autres sont beaucoup plus longues, traversant parfois toute la zone d'observation. Ces fissures plus longues sont également plus profondes. Une minorité de spécimens montrent des fissures plus importantes (Fig. 7.D et E), mais tous les spécimens secs ont de petites fissures. La très grande majorité de ces fissures sont orientées parallèlement au sens de la longueur des os, mais certains spécimens ont des fissures sans orientations spécifiques. Certains spécimens ont des enlèvements qui exposent une partie du tissu qui se situe sous la couche externe d'os corticale (Fig. 7\_E). Il est très facile de différencier entre ces différentes couches avant l'exposition. D'autres spécimens ont des sections de polis lustrés associées à l'enlèvement du périoste avant l'exposition. Il est possible d'observer plusieurs petits filaments de périoste toujours présents sur la surface de ces spécimens. Les spécimens frais semblent généralement plus lisses que les spécimens secs. Ils ont toutefois plusieurs éléments de textures, tels que des fosses qui sont surtout associées à des insertions musculaires. Plusieurs spécimens frais montrent également des petites vallées parallèles orientées dans le sens de la longueur des os (Fig. 7.C).

Après 150 heures d'exposition à des vents de 7.8m/s avec le sédiment fins (#00), les spécimens sont légèrement modifiés par rapport aux spécimens qui n'ont pas été exposés au vent. Des analyses microscopiques n'ont pas été réalisées avant leur exposition. Ils sont donc comparés ici aux images et descriptions réalisées sur les spécimens abrasés aux plus gros sédiments (#0) avant leur exposition. Il est possible de voir que les spécimens sont un peu plus lisses qu'avant l'exposition. Leur couleur est également plus terne et le bord distal et les ébréchures sont légèrement émoussés. Un spécimen (F-9c) a une multitude de stries associées aux traces d'un outil. Il s'agit de l'un des rares spécimens exposés aux sédiments fins qui avait été observé au DSX-100 avant une exposition au vent. Les stries sont visiblement atténuées après 150 heures d'abrasion éolienne, mais sont encore facilement visibles. Le rebord des stries est émoussé. À 336X de grossissement, il est possible de voir le développement de nombreuses petites fosses sur la surface des spécimens.

L'état final des spécimens est fortement lissé. La totalité de la surface observée au DSX-100 est fortement polie. Les rebords sont très émoussés et les ébréchures disparaissent. La distinction entre la couche interne et externe qui était initialement très visible chez certains

spécimens est maintenant beaucoup plus difficile à faire, voire impossible, sur certains spécimens (Fig. 7.E). La très grande majorité des petites fissures ne sont plus visibles. Les fissures plus grandes sont encore observables, mais elles sont fortement atténuées, et paraissent moins longues, larges et profondes qu'avant l'abrasion (Fig. 7.D et F). Les stries liées à l'utilisation d'outils (F-9c) ne sont plus visibles après l'exposition, même à de hauts niveaux de grossissement (Fig. 7.A). Il ne reste plus aucune trace du poli lustré liée à l'enlèvement du périoste ou des filaments de périostes. Ces sections sont maintenant recouvertes d'un poli mat et sont indistinguables du reste de la surface des spécimens (Fig.7.B). Les fosses et vallées qui étaient observables sur certains spécimens frais ne le sont plus et la surface paraît maintenant beaucoup plus lisse (Fig. 7.C). Lorsque les spécimens fortement abrasés sont observés à de très grands niveaux de grossissement (336X), il est possible d'observer que la surface est recouverte d'une série de fosses circulaires peu profondes (Fig. 8). Il s'agit de structures de plus petites tailles de tout ce qui est observé avant l'abrasion, mais elles sont également plus régulières que tout ce qui a été observé antérieurement avec ces fosses recouvrant uniformément la surface exposée. Ces fosses sont généralement plus facilement identifiables sur les spécimens exposés aux plus gros sédiments. Elles sont également plus facilement observables et régulières que sur les spécimens exposés à 150 heures à faible vitesse.

#### **4.1.2.1 Comparaison avec les outils en os**

Plusieurs différences microscopiques sont également identifiables entre les outils en os et les spécimens exposés à l'abrasion éolienne. Les outils en os tendent à avoir une surface plus rugueuse, plusieurs montrant des stries importantes liées à leur utilisation (Fig. 9). Ces stries peuvent être perpendiculaires ou parallèles au sens de la longueur des os variant selon la matière travaillée. Plusieurs des lissoirs montrent de petits enlèvements le long de leur surface ayant des degrés d'émoussage variables contrastant avec l'émoussage uniforme des rebords observés sur les spécimens exposés aux sédiments éoliens. La pointe de plusieurs des perceurs montre un écrasement ou des enlèvements très différents de ce qui est observé sur les spécimens abrasés.

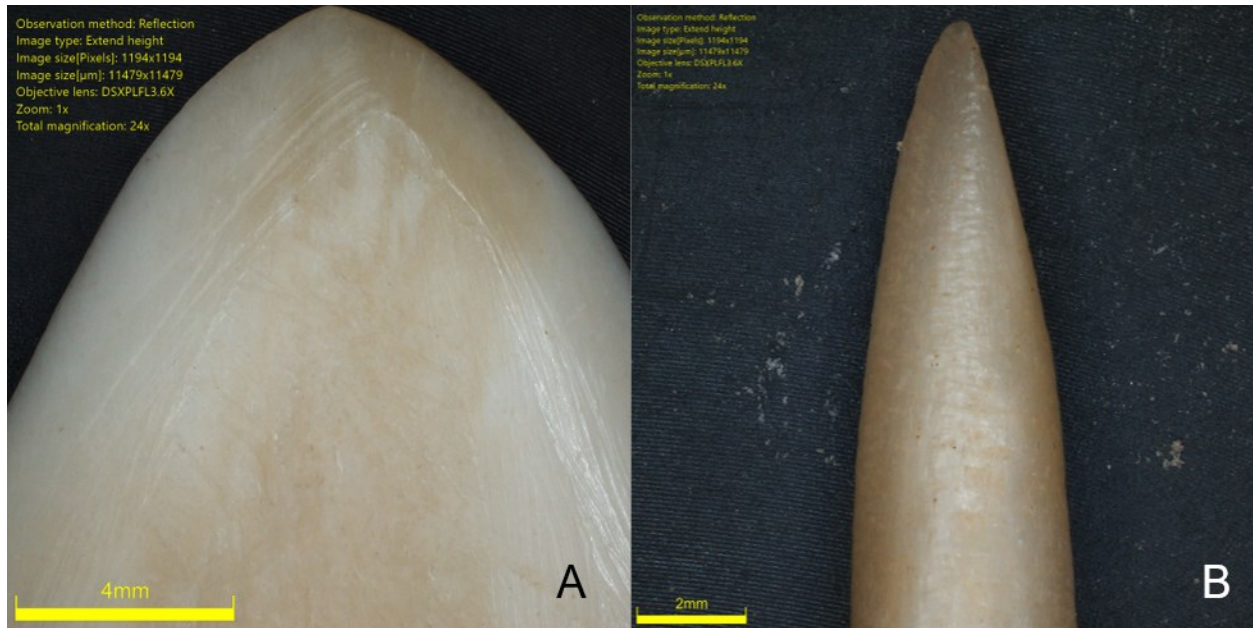


Figure 9. Images à 24X prises avec le DSX-100 des sections travaillées d'outils en os fabriqué par Kevin Geier pour les expérimentations de Gates St-Pierre 2007. A) Lissoir #7 : utilisé sur de l'argile et B) Perçoir #13 : utilisé sur de l'écorce.

## 4.2 Analyse quantitative

De nombreuses analyses quantitatives ont été réalisées sur les spécimens, mais elles peuvent être divisées en deux grandes catégories : celles liées au taux d'abrasion et les facteurs l'influençant et celles concernant les différents paramètres de rugosité.

### 4.2.1 Taux d'abrasion et perte de masse

Une perte de masse a été observée pendant toute l'expérience avec le taux de perte variant selon les conditions expérimentales (Fig. 10). Pour des conditions données, le taux de perte de masse moyen est constant pour les trois conditions expérimentales. Le taux de perte de masse est statistiquement indiscernable pour les spécimens à 11.7m/s avec le sédiment #00 et #0 (0.0181 g/h vs 0.0166 g/h, p-value = 0.73). Le taux observé pour les spécimens à 7.8m/s est significativement plus bas (0.0025g/h, p-value = 1.5e-07) comparé aux autres groupes (Fig. 11.A). Les taux d'abrasion ont été contrôlés pour la superficie des spécimens (Fig. 11.B), afin de limiter l'impact potentiel de la taille des spécimens. Cela n'affecte pas la taille relative des taux d'abrasion mesurés ou la significativité des différences entre les groupes. Les deux groupes exposés à des vents de 11.7m/s étant toujours indiscernables l'un de l'autre (#00 =



$4.84 \times 10^{-4} \text{ g/h}\cdot\text{cm}^2$  et  $\#0 = 5.0 \times 10^{-4} \text{ g/h}\cdot\text{cm}^2$ , p-value = 0.5). Le groupe exposé à des vents de 7.6m/s a un taux significativement plus bas ( $5.16 \times 10^{-5} \text{ g/h}\cdot\text{cm}^2$ , p-value =  $4.4 \times 10^{-11}$ ).

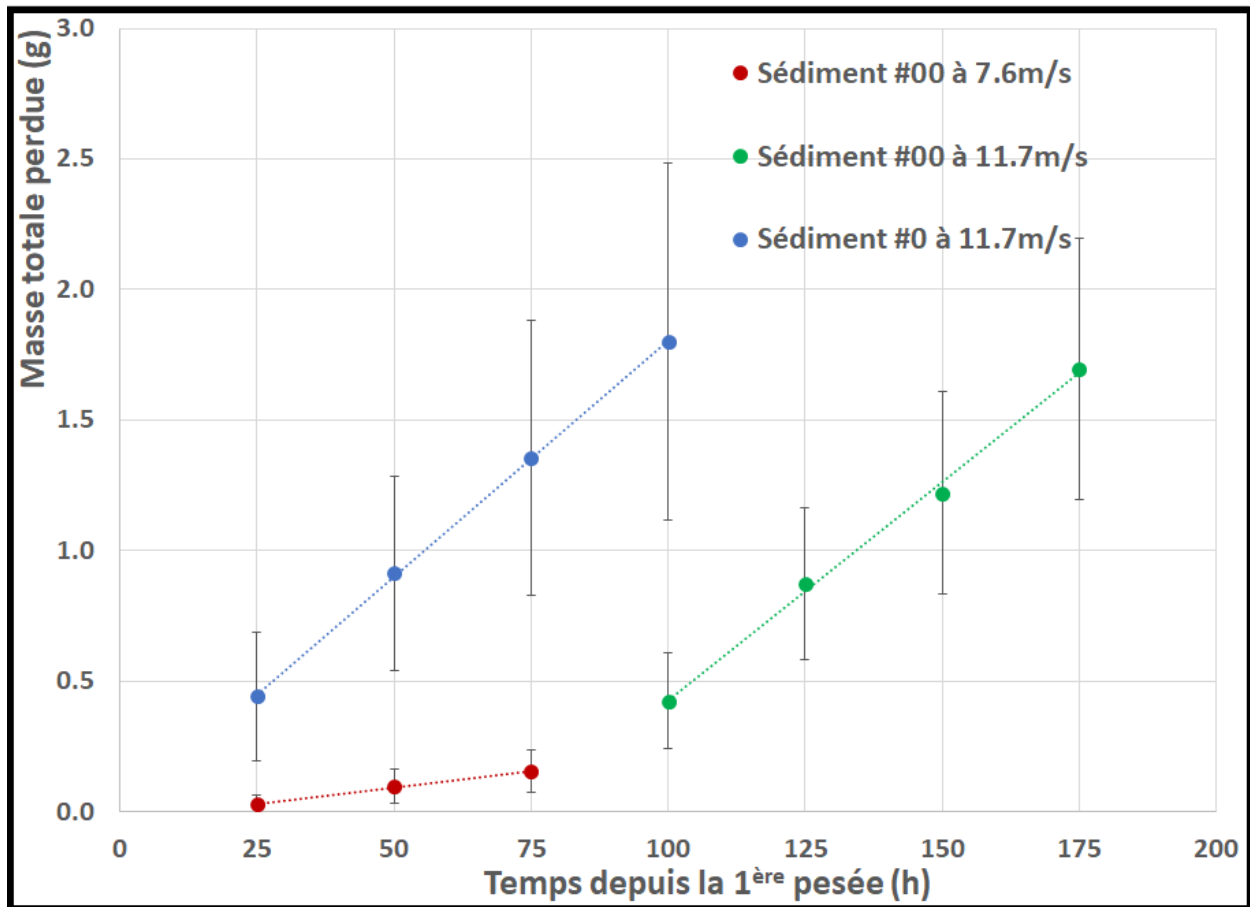


Figure 10. Perte de masse moyenne, avec l'écart type, depuis la première pesée selon les trois conditions expérimentales.

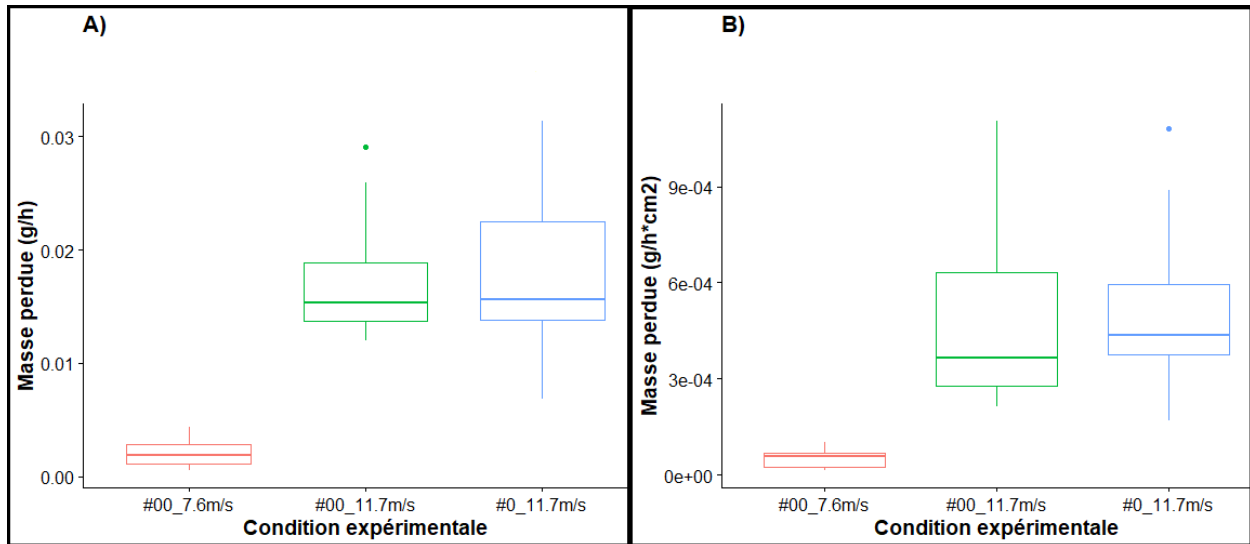


Figure 11. **A)** Taux de perte de masse pour les trois conditions expérimentales. **B)** Taux de perte de masse contrôlé pour la superficie des spécimens pour les trois conditions expérimentales.

#### 4.2.1.1 Taux d'abrasion selon la position

Des analyses ont été réalisées afin de déterminer l'effet du positionnement des spécimens à l'intérieur de la soufflerie et de l'état du spécimen sur les taux d'abrasions (Fig. 12). La position des spécimens exerce une influence sur leur taux d'abrasion avec un taux de perte de masse moyen plus élevée dans la première rangée puis diminuant pour chaque rangée subséquente pour toutes les conditions expérimentales, mais la distinction n'est pas toujours significative (Tableau 7). Ces comparaisons ont été réalisées avec des tests des rangs signés de Wilcoxon puisque certains des échantillons montrent une hétérovariance ou une absence de normalité. Aucune différence significative n'a été trouvée parmi les spécimens exposés au

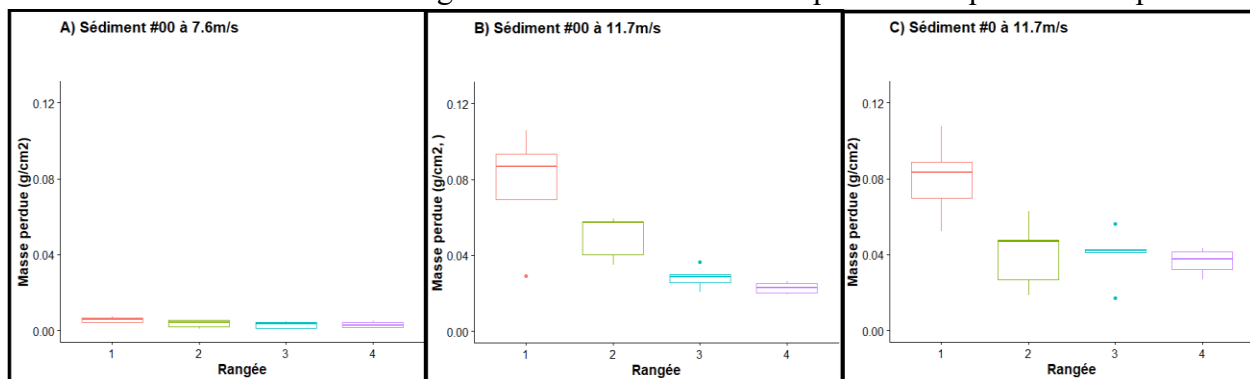


Figure 12. Taux de perte de masse contrôlé pour la superficie pour les quatre rangées de spécimens pour les trois conditions expérimentales.

sédiment #00 à 7.6m/s, tandis que les rangées 1 et 2 forment un groupe statistiquement différent des rangées 3 et 4 pour les spécimens exposés au même sédiment à 11.7m/s. Pour les spécimens exposés au sédiment #0, la première rangée est la seule à avoir un taux significativement différent des autres.

	Rangé	1	2	3
<b>Sédiment #00 à 7.6m/s</b>	2	0.300	-	-
	3	0.290	0.830	-
	4	0.290	0.820	0.840
<b>Sédiment #00 à 11.7m/s</b>	2	0.151	-	-
	3	0.048*	0.032*	-
	4	0.024*	0.024*	0.114
<b>Sédiment #0 à 11.7m/s</b>	2	0.032*	-	-
	3	0.032*	0.730	-
	4	0.032*	0.730	0.730

Tableau 7. Résultats des tests des rangs signés de Wilcoxon comparant le taux de perte de masse contrôlé pour la superficie des différentes rangées de spécimens pour les trois conditions expérimentales. \* indique une différence significative (p-value < 0.05)

#### 4.2.1.2 Taux d'abrasion selon l'état du spécimen

Des comparaisons ont également été réalisées afin de déterminer si l'état de l'os (frais vs sec) avait un impact sur le taux d'abrasion (Fig. 13). Les spécimens frais ont toujours un taux de perte de masse supérieur aux spécimens secs, mais cette différence est uniquement significative pour les spécimens exposés au sédiment #00 à 11.7m/s (p-value = 0.0084).

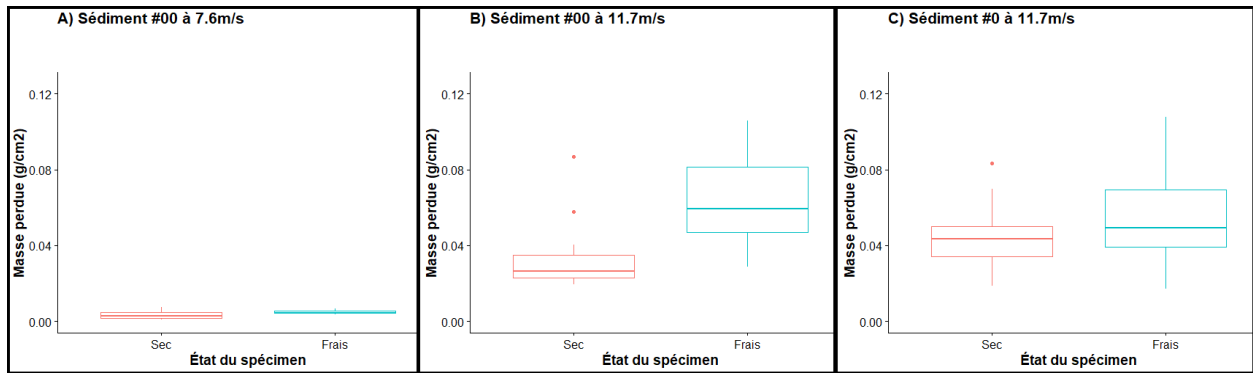


Figure 13. Taux de perte de masse contrôlé pour la superficie selon l'état des spécimens (sec vs frais) pour les trois conditions expérimentales.

#### 4.2.1.3 Taux de transport sédimentaire et susceptibilité à l'abrasion

Le taux de transport sédimentaire a été mesuré pour les différentes conditions expérimentales (Tableau 8). Quatre essais, à l'aide de deux collecteurs (un près de la face interne et l'autre de la face externe de la soufflerie), ont été réalisés. Il n'existe aucune différence significative entre les deux collecteurs, indiquant un transport sédimentaire uniforme sur toute la largeur de la soufflerie. Il est alors possible de calculer la quantité d'énergie cinétique liée au déplacement du sédiment ainsi que la susceptibilité à l'abrasion ( $S_a$ ) des spécimens en os (Tableau 8). Bien que le sédiment #00 à 11.7m/s soit associé à une grande quantité d'énergie cinétique, c'est le sédiment #0 qui est associé à une plus grande  $S_a$ , indiquant un transfert d'énergie cinétique plus efficace, comparé au sédiment plus fin.

	Sédiment #00		Sédiment #0
	7.6m/s	11.7m/s	11.7m/s
<b>Transport sédimentaire</b> (kg/cm²*h)	0.046	0.27	0.19
<b>Énergie cinétique</b> (J/cm²*h)	1.35	18.26	13.25
<b>Susceptibilité à l'abrasion</b> ( $S_a$ )	0.0011	0.0018	0.0026

Tableau 8. Masse de sédiments transportée par cm² par heure, l'énergie cinétique associée à ce transport sédimentaire ainsi que la susceptibilité à l'abrasion ( $S_a$ ) des spécimens pour les trois conditions expérimentales.  $S_a$  étant le ratio de la masse perdue par le spécimen sur la masse de sédiments l'ayant heurté

#### 4.2.2 Analyse de la rugosité de surface

Lorsque les paramètres de rugosité de surface des différents groupes ont analysé, plusieurs tendances claires émergent (Fig. 14 et 15). Ces comparaisons ont été réalisées avec des tests des rangs signés de Wilcoxon. Les valeurs aberrantes visibles dans les figures 14 et 15 ont été retirées avant de réaliser ces analyses.

Une des observations les plus marquantes est que les valeurs mesurées pour les spécimens exposés à des vents de haute vitesse (11.7m/s) sont statistiquement identiques pour les huit paramètres utilisés pour les deux types de sédiments. Il en va de même pour les spécimens avant leur exposition et ceux exposés à des vents de faible vitesse (7.6 m/s). La différence entre les spécimens fortement abrasés et ceux qui sont peu ou pas abrasés est significative ( $p$ -value < 0.05) pour tous les paramètres à l'exception de Sal. (Tableau 9) Les valeurs mesurées pour les spécimens très abrasés sont plus petites que les valeurs initiales pour tous les paramètres de surface et volumétriques, Str étant le seul paramètre qui augmente avec l'abrasion. Étant donné que le sédiment utilisé n'a pas d'influence sur le taux d'abrasion, il a été décidé de créer deux nouvelles catégories (faible et forte abrasion) afin de réduire le nombre de groupes et d'augmenter leur effectif. Le niveau de grossissement utilisé n'a pas d'impact sur les différences observées entre ces deux groupes.

La majorité des paramètres utilisés permettent également de distinguer entre les spécimens avant et après l'abrasion expérimentale avec les plages d'usure des outils en os analysés. La différence entre les outils expérimentaux et les spécimens abrasés est statistiquement significative pour un taux élevé d'abrasion pour tous les paramètres à 336X de grossissement et presque tous ceux à 240X. Pour ce qui est des spécimens faiblement abrasés, les résultats sont similaires à l'exception de Spk pour les lissoirs et de Vmp pour les perçoirs. Ici aussi le niveau de grossissement ne semble pas avoir un effet sur les résultats. Certains des paramètres mesurés permettent également de distinguer entre le poli des lissoirs et celui des perçoirs avec ces différences étant plus marquées à 240X de grossissement.

Les deux groupes pour lesquels les paramètres sont les plus similaires sont les spécimens faiblement abrasés et les traces de fabrication sur les lissoirs avec très peu de paramètres permettant de distinguer entre ces deux groupes. Seuls des paramètres liés à la longueur

d'autocorrélation ont montré une différence significative. Les valeurs des traces de fabrication sont également difficilement distinguables des sections polies des lissoirs et des perçoirs à 336X de grossissement. La majorité des paramètres montrent cependant des différences significatives à 240X de grossissement.

<b>240X</b>	<b>Faible abrasion</b>	<b>Forte abrasion</b>	<b>Lissoir fabrication</b>	<b>Lissoir poli</b>
<b>Forte abrasion</b>	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Str	-	-	-
<b>Lissoir fabrication</b>	Str	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Str	-	-
<b>Lissoir poli</b>	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal; Str	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal; Str	Sq; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal	-
<b>Perçoir</b>	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal	Sq; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Sal; Str	Sq; Spk; Vvc; Vmc; Vmp; Str
<b>336X</b>	<b>Faible abrasion</b>	<b>Forte abrasion</b>	<b>Lissoir fabrication</b>	<b>Lissoir poli</b>
<b>Forte abrasion</b>	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Str	-	-	-
<b>Lissoir fabrication</b>	Sal; Str	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal; Str	-	-
<b>Lissoir poli</b>	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal; Str	Sq; Spk; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal; Str	Sq; Vvv	-
<b>Perçoir</b>	Sq; Vvv; Vvc; Vmc; Sal	Sq; Vvv; Vvc; Vmc; Vmp; Sal	Sq; Vvv; Vmc; Str	Spk; Vmp; Str

Tableau 9. Paramètres de rugosité de surface montrant une différence significative (p-value < 0.05) à la suite de comparaisons réalisées avec des tests des rangs signés de Wilcoxon entre les différents groupes analysés à 240X et 336X.

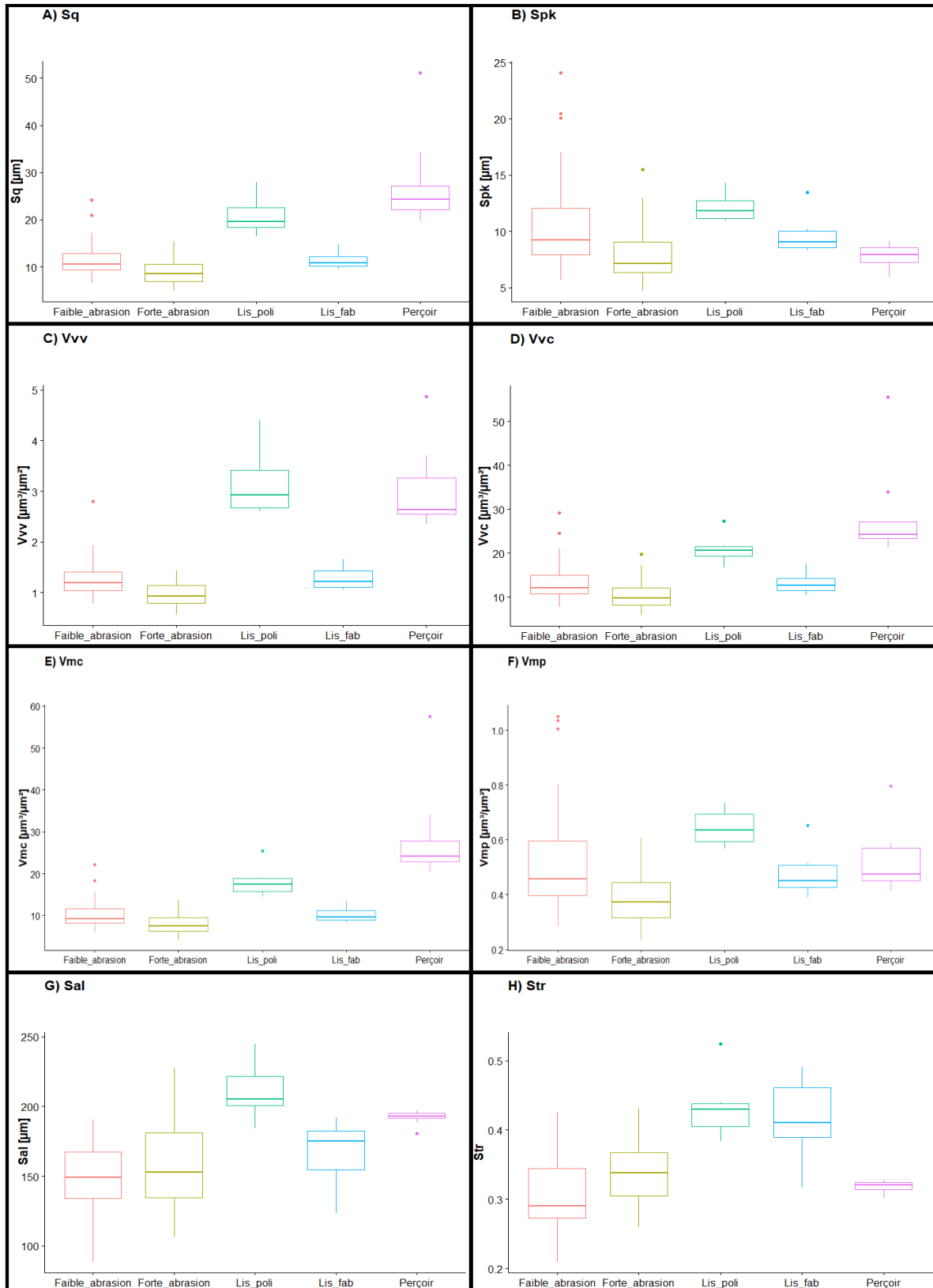


Figure 14. Comparaison des huit paramètres de rugosité de surface pour les cinq groups analysés mesurés à l'aide du DSX-100 à 240X. Lis\_poli correspond aux pages d'usage des lisseurs et Lis\_fab correspond aux traces de fabrication sur les lisseurs.

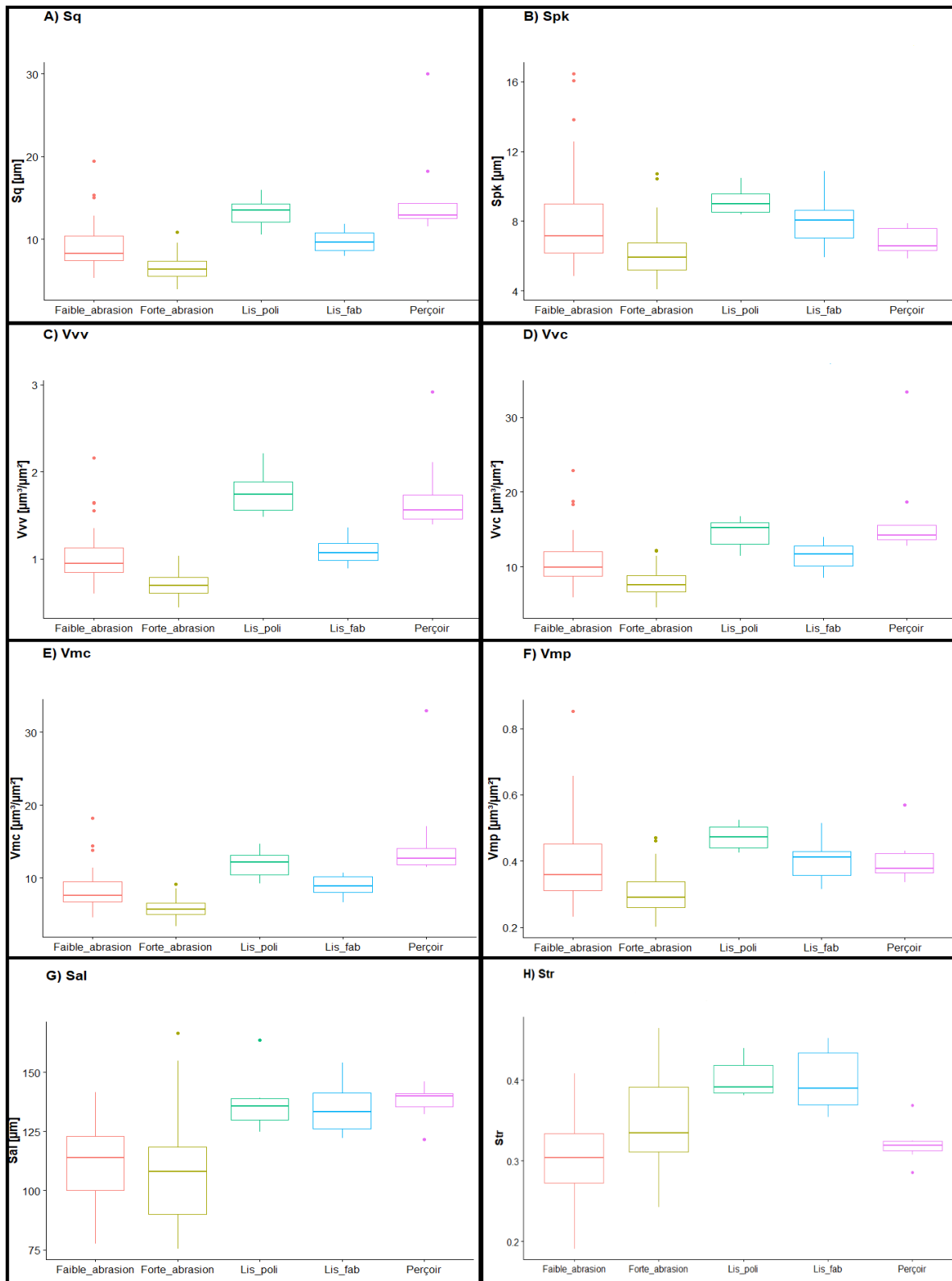


Figure 15. Comparaison des huit paramètres de rugosité de surface pour les cinq groups analysés mesurés à l'aide du DSX-100 à 336X. Lis\_poli correspond aux plages d'usure des lisseurs et Lis\_fab correspond aux traces de fabrication sur les lisseurs.



#### 4.2.2.1 Analyse des composantes principales.

		PC1	PC2	PC2
<b>240X avec 8 variables</b>	Écart type	2.3	1.1015	0.9976
	Proportion de variance	0.6613	0.1517	0.1244
	Proportion de variance cumulée	0.6613	0.8129	0.9373
<b>240X avec 4 variables</b>	Écart type	1.6678	1.091	0.8531
	Proportion de variance	0.5563	0.2381	0.1456
	Proportion de variance cumulée	0.5563	0.7944	0.9399
<b>336X avec 8 variables</b>	Écart type	2.4135	1.0884	0.72873
	Proportion de variance	0.7281	0.1481	0.06638
	Proportion de variance cumulée	0.7281	0.8762	0.9426
<b>336X avec 4 variables</b>	Écart type	1.5094	1.0564	0.6508
	Proportion de variance	0.5696	0.279	0.1059
	Proportion de variance cumulée	0.5696	0.8486	0.9545

Tableau 10. Principaux résultats des trois composantes principales les plus importantes selon le grossissement et le nombre de variables utilisées.

L'analyse des composantes principales a été réalisée pour les huit paramètres de rugosités afin de voir la répartition des différents groupes analysés (Tableau 10 et Fig. 16 et 17). Des analyses d'autocorrélation ont été réalisées afin d'éliminer des paramètres redondants. Ces analyses ont révélé que plusieurs des paramètres sont hautement corrélés ( $R > 0.9$ ) : Sq, Vvv, Vvc, et Vmc ainsi que Spk et Vmp. De nouvelles analyses ont donc été réalisées sans tenir compte des quatre paramètres volumétriques (Fig. 16). Une comparaison entre les analyses réalisées avec et sans les paramètres hautement corrélés indique que la quantité de variation expliquée par les deux premières composantes principales est plus grande lorsque tous les paramètres sont conservés (Fig. 17). Les deux premières composantes principales expliquent au moins 81% de la variance observée dans toutes les analyses. Selon ces analyses, le groupe le plus distinct des autres est celui des lissoirs observés à 240X. Il est également distinctif à 336X, mais recoupe partiellement les traces de fabrications des lissoirs particulièrement lorsqu'analysé sans les variables fortement corrélées. Les perçoirs forment un groupe distinct uniquement à 240X avec huit variables. Ils se recoupent avec les spécimens faiblement modifiés ainsi que les traces de fabrications des lissoirs. Enfin les spécimens fortement et faiblement abrasés sont plutôt distincts les uns des autres, mais montrent une zone se recouvrant dans toutes les analyses.

La combinaison de ces différentes analyses quantitatives permet de conclure que l'abrasion éolienne se distingue aisément des plages d'usures ou traces de fabrication sur des outils en os à l'échelle microscopique, à l'aide des huit paramètres de rugosité. Il est donc possible de départager les os abordés des outils en os peu élaborés ou élaborés.

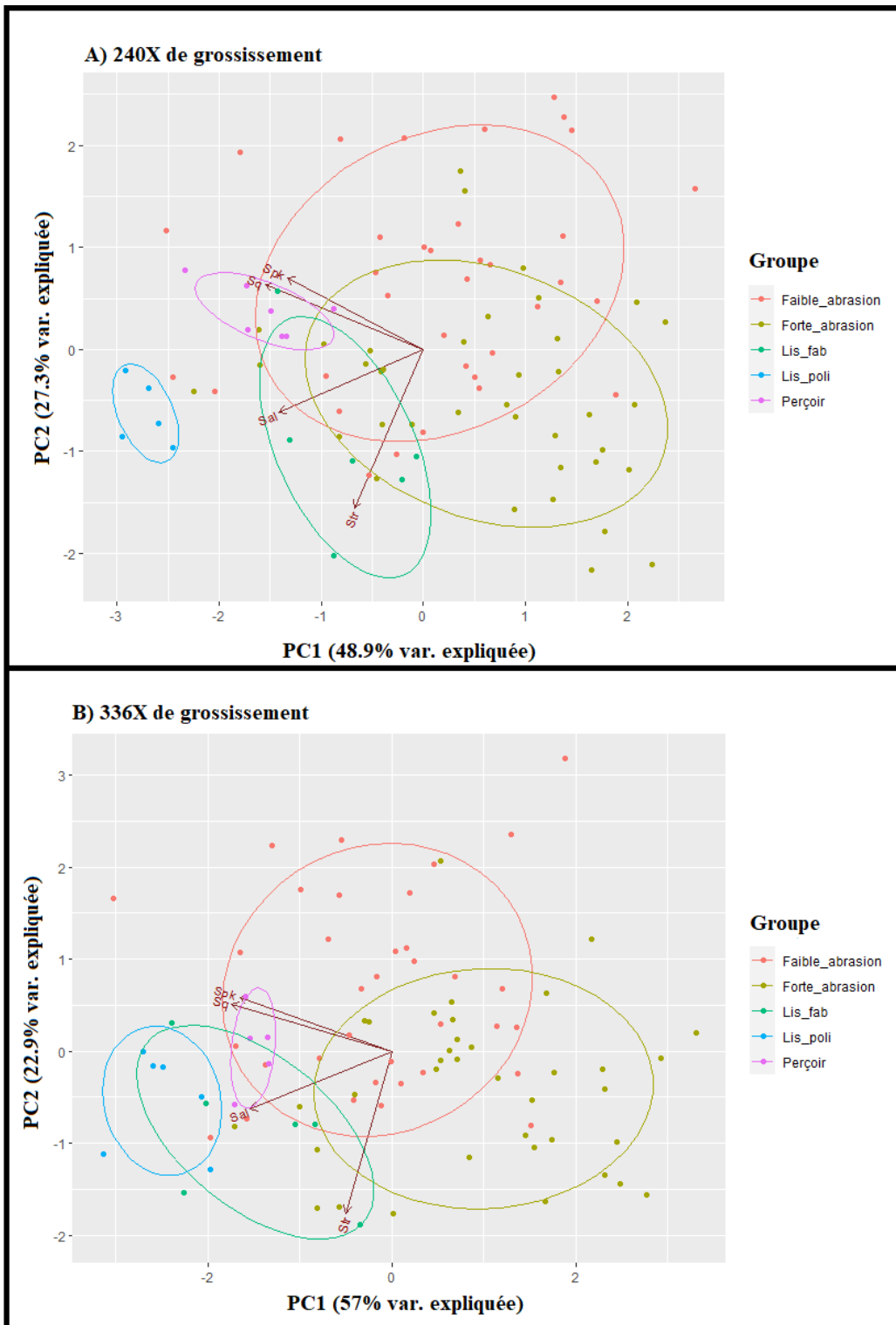


Figure 16. Représentations graphiques des résultats des analyses en composantes principales réalisés avec quatre paramètres de rugosité de surface (Sq, Spk, Sal et Str) à 240X de grossissement (A) et 336X de grossissement (B). Les ellipses représentent la distribution de valeurs normales (75%) pour chaque groupe.

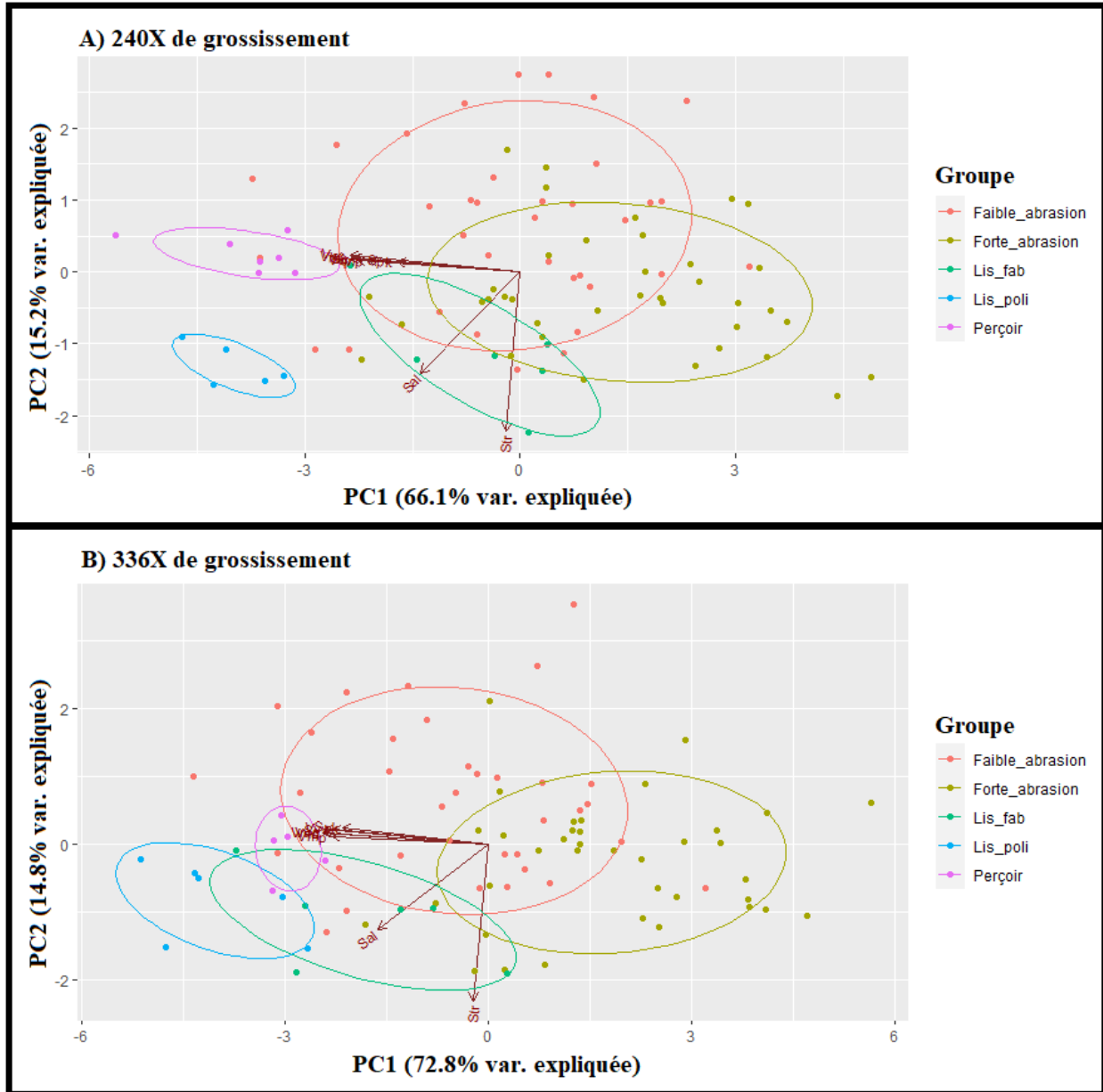


Figure 17. Représentations graphiques des résultats des analyses en composantes principales réalisés avec les huit paramètres de rugosité de surface à 240X de grossissement (A) et 336X de grossissement (B). Les ellipses représentent la distribution de valeurs normales (75%) pour chaque groupe.

## Chapitre 5 : Discussion

Les résultats de cette recherche permettent de réaliser de nombreuses observations sur l'impact de différentes variables sur l'abrasion éolienne ainsi que sur la distinction entre les spécimens abrasés et les plages d'usure des outils expérimentaux. Ces analyses permettent de discuter de la possibilité que l'abrasion éolienne puisse produire des polis trompeurs, mais que les pseudo-outils qui en résultent se distinguent des outils en os d'origine anthropique à l'aide des paramètres quantitatifs de rugosité.

### 5.1 Facteur affectant le taux d'abrasion

La vitesse du vent, la granulométrie du sédiment, l'état du spécimen ainsi que la durée d'exposition sont les principales variables testées par cette expérience. L'impact de la position des spécimens dans la soufflerie, mais également du rôle potentiel de l'angle d'impact sur le type de modification observé.

#### 5.1.1 Vitesse du vent

Le facteur qui affecte le plus le taux d'abrasion est la vitesse du vent. Une augmentation de la vitesse de 54% est associée à un taux d'abrasion environ sept fois plus élevée (7.24 avec le sédiment #0 et 6.64 avec le sédiment #00). Cette augmentation est encore plus dramatique lorsque la taille des spécimens est prise en compte avec des taux d'abrasion près de dix fois plus rapide (9.38 avec le sédiment #0 et 9.69 avec le sédiment #00). La relation entre la vitesse du vent et le taux d'abrasion observé est donc loin d'être un processus linéaire pour les spécimens en os et est plutôt exponentielle, ce qui concorde avec la littérature sur d'autres types de matériaux (Greeley, Marshall et al. 1984). Ce taux d'abrasion beaucoup plus rapide concorde également avec l'évolution de l'aspect macroscopique des fragments d'os avec les spécimens exposés à 25h à 11.7m/s avec le sédiment #0 étant plus modifiée que ceux exposés à 150 heures à 7.6m/s avec le sédiment #00. Toutes les modifications qualitatives associées à l'abrasion éolienne, que ça soit la présence d'un polissage mat, l'émoussage des bords ou l'érosion de pores et de stries, sont plus prononcées après 25h à 11.7m/s qu'après une exposition six fois plus longue à 7.6m/s. Il s'agit cependant de modifications similaires, mais à des niveaux d'intensité variables et tout porte à croire que des vents à plus faible vitesse pourraient éventuellement

produire des modifications aussi importantes si les spécimens étaient exposés pendant suffisamment de temps.

### **5.1.2 Taille des particules**

Aucune différence quantitative significative n'a été trouvée entre les deux sédiments utilisés pour une vitesse donnée. L'évolution macroscopique des spécimens est également très similaire selon la taille du sédiment utilisé, même si les spécimens exposés au sédiment #00 ont été exposés à 150 heures à 7.6m/s avant d'être exposés à un flux d'air à 11.7m/s. L'état final des spécimens est macroscopiquement impossible à distinguer. Une seule différence potentielle selon la taille du sédiment a été observée à de forts niveaux de grossissement, mais pas analysé de manière quantitative. Les fosses microscopiques visibles sur tous les spécimens après l'abrasion semblent être plus grandes et plus visibles sur les spécimens exposés au sédiment #0 que ceux exposés au sédiment #00. La taille des fosses semble être associée à la taille des sédiments heurtant le spécimen, ce qui est logique étant donné un grain de sable plus grand va affecter une plus grande surface du spécimen et donc potentiellement créer une fosse plus importante et cette observation correspond à d'autres descriptions dans la littérature (Marshall 1979, Fernández-Jalvo et Andrews 2016). Cette corrélation entre la taille du sédiment et des fosses n'a cependant pas pu être confirmée quantitativement, avec aucun des paramètres de rugosité étant différents selon la taille du sédiment utilisé, et ne demeure qu'une observation qualitative pour le moment. Il serait nécessaire de réaliser des analyses additionnelles, potentiellement en mesurant directement la taille de ces fosses au microscope, afin de voir s'il y a effectivement une différence significative selon la taille du sédiment utilisé. Si la taille de ces fosses est effectivement corrélée à la taille du sédiment causant l'abrasion, elles pourraient donc être utilisées pour avoir une idée de la taille du sédiment l'ayant abrasée. Cela pourrait être utilisé comme indicateur pour reconstruire les conditions paléoclimatiques en nous informant sur la taille du sédiment transporté ainsi que sur la vitesse du vent minimal présent sur le site.

Une implication méthodologique de l'absence de différence claire selon la taille du sédiment utilisé, outre une différence dans la taille de fosses microscopique, est que les résultats obtenus dans cette recherche pourraient être appliqués à des milieux avec des conditions sédimentaires différentes de celles testées ici. Augmentant le nombre de contextes naturels pour lesquelles cette étude peut être utilisée comme analogue expérimental. Cela signifie également

que le choix du sédiment n'est pas la variable la plus importante à contrôler lors d'expériences futures sur l'abrasion éolienne. Il serait cependant judicieux de ne pas appliquer les taux d'abrasion mesurés dans cette étude à des sédiments de très petites tailles, étant donné qu'ils ont un mode de transport différent que le sable (suspension vs saltation), ce qui pourrait avoir des effets significatifs sur les taux d'abrasion mesurés (Dietrich 1977, Shipman et Rose 1988).

### **5.1.3 État du spécimen**

Deux facteurs peuvent potentiellement expliquer la différence observée entre les taux d'abrasions des spécimens frais et secs sans pourtant indiquer que les spécimens frais sont plus susceptibles d'être abrasés. Le premier est que les spécimens frais peuvent perdre de la masse simplement par le fait d'être séchés pouvant perdre 0.8% de la masse après 15 jours de séchage (Curry 1988). Les spécimens frais étaient nettement plus secs au toucher à la fin de l'expérience. Il est donc probable que leur masse aurait été diminuée, même s'ils avaient été exposés aux flux éoliens sans sédiment. L'autre manière d'expliquer la différence observée est liée au protocole expérimental. Lors des expériences avec le sédiment #00, plusieurs des spécimens frais étaient de plus petites tailles et ont donc été placés dans la première ou deuxième rangée. Cette confusion potentielle entre l'effet de la position et celui de l'état du spécimen est appuyée par le manque de différence significative avec le sédiment #0, contrairement au sédiment #00 où une différence significative est présente. Pour le sédiment #00, cinq des sept spécimens frais étaient placés dans les deux premières rangées, dont trois dans la première, les exposant à des taux d'abrasion plus élevée. Avec le sédiment #0, seuls trois des six spécimens frais sont dans les deux premières rangées, dont deux dans la première. Cela indique que la différence observée avec le sédiment #00 à 11.6m/s est sans doute le résultat d'une confusion entre l'effet du positionnement plutôt qu'un impact différencié de l'abrasion.

### **5.1.4 Durée d'exposition**

Un facteur qui affecte bien évidemment l'intensité de l'abrasion est la durée d'exposition. Plus la durée de l'exposition est longue est plus le spécimen est fortement modifié. Il est vrai que l'aspect macroscopique de certains spécimens frais change peu après 50 heures d'exposition à des vents rapides, mais le taux de perte de masse demeure constant (Fig. 10). Cela signifie qu'avoir une surface osseuse abrasée par le vent ne modifie pas la vitesse à laquelle de la matière

y est enlevée. Il est possible qu'il existe un seuil après lequel il est plus difficile pour les particules heurtant l'os de le modifier, mais, s'il existe, il n'a pas été atteint dans cette expérience. Il serait théoriquement possible pour un vernis, similaire à ce qui est observé dans de nombreuses roches en milieu désertique, de se développer sur la surface de l'os. Un tel vernis pourrait partiellement protéger l'ossement des effets de l'abrasion éolienne. Il est cependant peu probable d'observer le développement de tel vernis dans les conditions testées dans cette expérience, puisqu'ils sont associés à la présence de poussière riche en oxyde de fer et de magnésium (Potter et Rossman 1977). Tout porte donc à croire qu'avec suffisamment de temps, il serait possible d'abraser complètement les ossements dans les conditions de laboratoires testés ici.

### **5.1.5 Angle de l'impact**

Même si tous les spécimens ont été exposés à l'abrasion éolienne dans la même position, il est tout de même possible de commenter l'impact potentiel de l'angle d'impact. Tous les spécimens étaient orientés perpendiculairement au plancher de la soufflerie et au flux d'air. Cela signifie que la grande majorité des impacts entre des particules en mouvement et les spécimens se sont déroulés à près de 90°, avec une certaine variation considérant que plusieurs des particules se déplacent par saltation, indiquant qu'elles possèdent des trajectoires balistiques plutôt que linéaires. Ces impacts très directs pourraient expliquer pourquoi les fosses microscopiques sont observées, mais pas des courtes stries linéaires en forme de comète telle que décrite dans Fernández-Jalvo et Andrews (2016). Les informations sur la directionnalité ou l'angle d'impact ne sont pas disponibles par rapport aux spécimens discutés dans cette référence, mais si les ossements étaient orientés différemment que dans la présente étude cela pourrait expliquer pourquoi de telles stries ne sont pas observées ici. Si les spécimens étaient orientés plus parallèlement à la direction du flux d'air, il serait possible pour les particules de conserver une partie de leur énergie cinétique après l'impact initial pouvant ainsi "rouler" sur la surface de spécimen causant les stries décrites dans Fernández-Jalvo et Andrews (2016). Dans tous les cas, il serait pertinent de réaliser des expériences afin de clarifier l'effet de l'angle d'impact sur l'abrasion éolienne des ossements.

D'autant plus que l'angle d'impact optimal pour favoriser l'abrasion éolienne de matière cristalline se situe entre 0° et 30° tandis qu'à 90° est l'angle d'impact est optimal pour la matière vitreuse (Greeley, Leach et al. 1982). Il est vrai que cette dernière étude contraste des minéraux



cristallins tels que le granite avec des minéraux vitreux tel que l'obsidienne, mais il serait raisonnable de croire que l'os avec la structure cristalline de l'hydroxyapatite se comporte plus comme une roche cristalline que vitreuse. L'angle d'impact pourrait donc changer le taux d'abrasion en plus de la nature des modifications observées. De plus, réaliser des expériences avec des spécimens qui ne sont pas fixés au plancher de la soufflerie, mais plutôt déposés sur le sédiment et libres de se déplacer, permettraient d'observer les mouvements potentiellement causés par l'abrasion éolienne. Ce qui pourrait être une source d'information sur la dispersion des ossements, ainsi que résulter dans des modifications taphonomiques plus compliquées avec différentes parties de l'ossement exposées à différentes intensités d'abrasion.

#### **5.1.6 Position dans la soufflerie**

Il a été déterminé que la position des spécimens dans la soufflerie a une influence significative sur le taux d'abrasion lorsque les spécimens sont exposés à des vents de 11.7m/s. Les taux d'abrasion mesurés par  $\text{cm}^2$  pour la première rangée étant près du double de ce qui est observé dans les rangées ultérieures avec le sédiment #0 et près du triple, lorsque comparé à la troisième et quatrième rangée avec le sédiment #00. Cela indique que la présence d'une ligne de spécimens affecte significativement l'abrasion en aval, même lorsque la distance entre les spécimens a été sélectionnée afin de minimiser leur influence. Le taux d'abrasion des spécimens de la première rangée représente donc le taux maximal pour les conditions auxquelles les spécimens sont exposés. Le taux des autres rangées risque donc d'être plus représentatif des taux observés en conditions naturelles avec la présence d'autres objets à proximité diminuant la vitesse du vent ainsi que le nombre de particules heurtant l'os. Le passage du vent autour de la première rangée entraîne la formation d'une zone de turbulence derrière, les spécimens pouvant changer momentanément la direction du vent et des sédiments transportés. Des zones avec des vitesses de vent négatives peuvent alors être créées en transportant des sédiments dans la direction contraire aux flux d'airs générés par la soufflerie. L'existence de ces flux d'airs négatifs est attestée par une accumulation de sédiment de très petite taille sur le revers de plusieurs ossements. Le fait que le taux d'abrasion diminue après la première rangée de spécimens signifie que la zone de turbulence générée par le passage du vent autour de ces spécimens affecte toujours le flux d'air au moment d'arriver à la prochaine rangée. Autrement dit, le flux d'air n'a pas le temps de redevenir laminaire entre chaque rangée diminuant ainsi son

potentiel abrasif. Plusieurs modifications au protocole pourraient être apportées afin de limiter l'impact de ce phénomène, telles qu'augmenter la distance entre les rangées ou diminuer le nombre de spécimens par rangée. Il serait également possible de modifier l'emplacement des différents spécimens au cours de l'expérience. Par exemple, il serait assez simple de faire une rotation dans l'ordre des spécimens lors de chaque période d'observation.

## 5.2 Susceptibilité à l'abrasion

Le sédiment #0 à 11.7m/s est la condition expérimentale la plus efficace pour diminuer la masse des spécimens avec une perte de 0.0026g par kg de sédiment le percutant. Il s'agit d'une augmentation de 42% par rapport au sédiment #00 à la même vitesse (0.0018g/kg) et de 132% par rapport au sédiment #00 à 7.6m/s (0.0011g/kg). Toutes les valeurs de  $S_a$  calculées ici sont de l'ordre de  $10^{-3}$ , ce qui est un peu plus élevé que les valeurs typiques de  $S_a$  qui tournent généralement autour de l'ordre de  $10^{-4}$  (Greeley, Leach et al. 1982). Cette divergence n'est cependant pas considérée comme étant dramatique puisque plusieurs conditions expérimentales peuvent résulter dans de telles des valeurs de  $S_a$ , telles que de plus grandes vitesses du vent ou une matière plus vulnérable (Greeley, Leach et al. 1982). Avec sa plus grande porosité et étant composée d'un mélange de matière organique et inorganique, il n'est pas étonnant d'observer une plus grande susceptibilité à l'abrasion pour les os, lorsque comparé à des roches ou minéraux utilisés dans les études antérieures.

Il n'est pas étonnant que la valeur la plus faible est celle associée à la vitesse du flux d'air le plus petit. Chaque particule heurtant le spécimen se déplace plus lentement et transfère donc moins d'énergie au spécimen. Ce plus faible niveau d'énergie dans le système à plus faible vitesse est bien démontré par la quantité d'énergie cinétique par unité de surface et de temps ( $1.35 \text{ J/cm}^2\cdot\text{h}$ ) qui n'est qu'une petite fraction de ce qui est associé aux vitesses plus grandes ( $18.26 \text{ J/cm}^2\cdot\text{h}$  avec le sédiment #00 et  $13.25 \text{ J/cm}^2\cdot\text{h}$  avec le sédiment #0). La comparaison de la quantité d'énergie cinétique selon la condition expérimentale révèle que c'est le sédiment #00 à 11.6m/s qui est associé à la plus grande quantité d'énergie. Cela contraste avec les taux d'abrasion qui ne sont pas plus grands pour cette condition expérimentale, lorsque comparés au sédiment #0 à la même vitesse. Plus d'énergie présente dans le système devrait résulter dans une abrasion plus importante, mais ce n'est pas ce qui est observé ici. Plusieurs facteurs peuvent expliquer cette divergence. Même si la masse totale du sédiment transporté #00 est plus

importante que celle du sédiment #0 ( $0.27 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{h}$  vs  $0.19 \text{ kg/cm}^2 \cdot \text{h}$ ) la masse de chaque particule est bien plus grande pour le sédiment de plus grande taille. Cela signifie que chaque collision individuelle avec le sédiment plus grand va être associée à une plus grande quantité d'énergie cinétique. Il y a donc une plus grande chance qu'un impact individuel soit associé à assez d'énergie pour dépasser la valeur seuil nécessaire pour endommager la surface du spécimen et non tout simplement rebondir sur la surface sans la modifier. Si un grand nombre des particules du sédiment #00 heurtent le spécimen avec moins d'énergie que la valeur seuil, cela signifie qu'une proportion de l'énergie cinétique totale associée au déplacement de ces particules n'est pas transférée efficacement aux spécimens. De plus, un bien plus grand nombre de particules du sédiment #00 sont transportées que du sédiment #0 pour une vitesse donnée. Il est donc possible que la concentration de particules du sédiment #00 soit plus grande que le seuil optimal d'abrasion (Suzuki et Takahashi 1981). Des particules pourraient rebondir sur la surface des spécimens heurtant ensuite d'autres particules, réduisant leur vitesse et donc leur capacité de modifier la surface des spécimens.

### **5.3 Analyse des paramètres de rugosité**

Puisque chacun des paramètres de rugosité mesure un aspect différent de la surface des spécimens, ils peuvent nous informer sur des changements ou des différences au niveau de la surface d'un objet. Il est donc possible d'utiliser ces paramètres afin d'interpréter les différences avant et après l'abrasion éolienne, entre l'abrasion éolienne et anthropique et à un moindre degré la différence entre différents types d'outils. L'absence d'une différence significative au niveau d'un ou plusieurs paramètres est également une source d'information vitale afin de comprendre la nature de la surface étudiée.

#### **5.3.1 Effet de l'abrasion éolienne**

Les valeurs mesurées après l'abrasion éolienne sont significativement différentes qu'avant les modifications pour tous les paramètres mesurés à l'exception de Sal et sont plus petites en moyennes pour tous les paramètres liés à la surface ou au volume des spécimens. Les plus faibles valeurs de  $S_q$  après l'abrasion, qui correspond à l'écart-type de la hauteur des points

mesurés sur la surface des spécimens, représente bien l'effet de nivellement causé par l'abrasion éolienne, mais ne nous informe pas sur quelles parties de la surface sont modifiées par l'abrasion ne faisant pas de distinction entre les points plus élevés ou plus bas que la hauteur moyenne. Spk et Vmp nous indiquent que la surface et le volume, des points les plus hauts sont diminués par l'abrasion, ce qui peut expliquer partiellement la diminution observée de Sq. Le fait que ces deux paramètres mesurent un même phénomène, mais dans des dimensions différentes expliquent le très fort taux de corrélation qui est observé entre ces deux paramètres ( $R > 0.95$ ).

La diminution de Vvv, qui représente le volume du vide au-dessus des points les plus bas, avec l'abrasion, indique fort probablement la diminution du volume total de la zone mesurée. La diminution de la hauteur des points les plus élevés diminue la hauteur de la zone mesurée, ce qui diminue nécessairement le volume de la partie la plus basse. Cette explication est renforcée par la diminution de Vmc et Vvc, qui représentent le volume de matière et du vide au-dessus de la surface des zones avec une hauteur près de la moyenne. Si la diminution de Vmc était causée par la création de vallées par l'abrasion, elle serait accompagnée par une augmentation de Vvc ou de Vvv qui mesurait le volume de ces vallées nouvellement créées. Il est donc probable que ces trois paramètres capturent la diminution dans la variation totale de la hauteur de la surface du spécimen. Cette explication permet également d'éclaircir les forts taux de corrélation entre Vvv, Vmc et Vvc avec Sq ( $R > 0.95$ ), étant donné que tous ces paramètres mesurent le nivellement de la surface. L'absence d'une aussi forte corrélation de ces paramètres avec Spk et Vmp indique un processus distinct qui opère au niveau des points les plus hauts de la surface des spécimens. Ce processus est explicable par l'abrasion préférentielle des points les plus hauts, étant donné qu'ils ont plus de chance d'être heurtés par une particule en mouvement que les points plus bas.

Sal, qui représente la distance horizontale la plus courte pour observer un changement de hauteur significative, est le seul paramètre qui ne distingue pas entre les spécimens avant et après l'abrasion. Cela indique que l'abrasion éolienne ne semble pas avoir d'effet sur la probabilité que deux points à proximité sur la surface du spécimen aient des hauteurs significativement différentes. Str, qui représente le ratio de Sal sur la distance horizontale la plus longue pour mesurer un changement de hauteur, est le seul paramètre plus élevé après l'abrasion qu'avant. Cela indique une perte de directionnalité liée à l'abrasion, la surface étant plus isotrope après l'abrasion. Cette différence est potentiellement explicable par la disparition des fissures sur les

spécimens secs et des vallées sur les spécimens frais avec l'abrasion éolienne. Ces deux caractéristiques avaient une directionnalité claire orientée parallèlement au sens de la longueur de l'os et ne sont généralement plus visibles après l'abrasion. Il est également important de noter que même si ces résultats sont statistiquement distincts que les spécimens avant et après l'abrasion sont ni isotropes ( $Str > 0.5$ ) ou anisotropes ( $Str < 0.3$ ) et peuvent donc toutes deux être considéré comme faiblement orientés.

L'analyse des composantes principales avant et après l'abrasion indique deux groupes généralement distincts, mais avec une zone de chevauchement. Cette zone de chevauchement semble être créée par la grande variabilité dans les mesures initiales plutôt qu'un effet variable de l'impact de l'abrasion éolienne sur la surface des spécimens. La quasi-totalité des spécimens réagit de manière similaire à l'abrasion avec des diminutions au niveau des paramètres de surfaces et paramètres volumétriques dans 87.5% des cas (189 sur 216 mesures). Les rares cas où une augmentation de la valeur d'un ou de plusieurs de ces paramètres est mesurée, à la suite de l'abrasion, sont souvent associés aux valeurs initiales les plus faibles et sont situées à l'intérieur de l'incertitude liée à la prise de la mesure.

### **5.3.2 Abrasion éolienne vs outils en os**

Tous les paramètres permettent de distinguer entre les spécimens fortement abrasés et les plages d'usures des lissoirs, tandis que la majorité (tous sauf Spk et Str) distingue entre ces spécimens et les perçoirs. La surface des outils est également différenciable de celles des spécimens faiblement ou non abrasés. Ici aussi la distinction est plus claire lorsque la comparaison est réalisée avec les zones polies des lissoirs. Les plus grandes valeurs de Sq indiquent une plus grande variabilité au niveau de la hauteur de la surface des outils en os, ce qui concorde avec la présence de nombreuses stries sur leur surface. Cette plus grande différence entre les points les plus hauts et plus bas concorde avec les résultats obtenus pour les paramètres volumétriques. La différence la plus dramatique est au niveau du Vvv indiquant que le volume des sections vides au-dessus de la surface est bien plus grand. Cette différence est possiblement imputable à la présence des stries sur les outils, mais il serait surprenant qu'une telle différence soit associée à la présence de quelques stries. Il est probable qu'un autre facteur, présentement inconnu, est responsable d'au moins une partie de cette différence.

Sal permet de distinguer entre les plages d'usures des outils et les spécimens fortement abrasés, tandis que Str permet de distinguer entre les spécimens fortement abrasés, le poli et les traces de fabrication des lissoirs. Les plus grandes valeurs de Sal sur les outils indiquent la présence de structures superficielles de plus grande taille, comparée aux ossements avant et après l'abrasion. Plus la taille des structures est grande, plus il y a de chance que deux points à proximité soient sur cette même structure et soient donc à une hauteur similaire. Malgré la présence de stries sur les outils qui peuvent causer un changement de hauteur rapide diminuant la valeur de Sal, la présence d'un bien plus grand nombre de plus petites structures sur les spécimens abrasés semble compenser la présence de stries. Cela indique que Sal semble être plus efficace à déceler la présence de nombreuses petites structures que la présence de quelques structures plus importantes. Il est étonnant d'observer de plus grandes valeurs de Str pour les lissoirs puisqu'on pourrait supposer que le travail directionnel soit associé à une surface plus anisotrope, mais cela ne semble pas être le cas.

L'analyse des composantes principales permet de différencier entre les plages d'usures des lissoirs et les spécimens avant et après l'abrasion. Les perceurs sont également clairement distincts des spécimens fortement abrasés, mais la différenciation est bien plus difficile pour les spécimens faiblement abrasés. Le groupe le plus anisotrope est celui des spécimens faiblement ou non modifiés, ce qui indique que Str mesure une directionnalité intrinsèque à l'os qui est ensuite diminuée par toute modification additionnelle.

Une surprise qui ressort de ces comparaisons est la difficulté de distinguer entre les spécimens faiblement abrasés et les traces de fabrication sur les lissoirs qui sont caractérisés par de multiples stries de grandes tailles. Les deux surfaces sont qualitativement très différentes l'une de l'autre. Il est probable que les nombreuses stries et autres textures présentes sur les spécimens faiblement ou non abrasés soit quantitativement similaire aux traces de fabrication sur les outils et que les différences diminuent avec l'abrasion éolienne. La grande différence dans la taille des échantillons (N=6 pour les lissoirs et N=35) pour les spécimens faiblement ou non abrasés peut également jouer un rôle potentiel dans la difficulté de distinguer entre ces groupes. Il serait donc pertinent de réaliser des études similaires, mais en augmentant la taille des échantillons d'outils en os étudié et en quantifiant la rugosité de la surface de tous les spécimens avant de les exposer aux conditions expérimentales. L'incapacité des différents paramètres de

rugosité de surface de les différencier indique des limites potentielles de leur utilité ou relève d'une faille dans le protocole de recherche notamment que plusieurs des spécimens non pas été étudiés au microscope à l'aide de ces paramètres avant le début de l'expérience. Cela démontre également l'importance d'utiliser une multitude de paramètres différents afin de caractériser la surface. L'analyse des composantes principales révèle que même sans différence significative entre les traces de fabrication et les spécimens faiblement abrasés pour la plupart des paramètres, la formation de deux groupes généralement distincts, particulièrement à 336X de grossissement, est tout de même visible.

### **5.3.3 Différents types d'outils**

Même si cela n'était pas l'un des buts originaux de cette étude, il peut être intéressant de voir comment les paramètres de rugosité peuvent différencier entre différents types d'outils. Le grossissement joue un rôle important dans l'ampleur des différences observées, les plages d'usures des perçoirs et des lissoirs étant plus faciles à distinguer à 240X. Il en va de même lorsque les traces de fabrication des lissoirs sont comparées aux plages d'usures. Il est difficile de dire exactement pourquoi les outils sont plus différenciables à de plus faibles niveaux de grossissement, mais cela souligne l'importance d'étudier la rugosité de surface à de multiples niveaux de grossissement. Étudier la totalité de la surface des spécimens pourrait potentiellement révéler des informations intéressantes concernant ce sujet.

Les différents paramètres volumétriques permettent de distinguer entre les plages d'usure et les traces de fabrication des outils, particulièrement  $V_{vv}$  à 240X de grossissement. La différence ici ne peut pas être expliquée par l'absence ou la présence de stries puisqu'ils en ont tous. Il est cependant possible que la présence de nombreuses stries de grandes tailles puisse paradoxalement résulter dans de plus petites valeurs de  $V_{vv}$  dans le cas des traces de fabrication.

Les plus faibles valeurs de  $S_{pk}$  et  $V_{mp}$  pour les polis des perçoirs que pour les lissoirs indiquent que le travail réalisé par les perçoirs pourrait enlever les points les plus hauts plus efficacement que celui réalisé avec les lissoirs. Il est également possible qu'une différence liée aux méthodes de fabrications des différents types d'outils, et non à leur utilisation, soit responsable de cette distinction. Des études additionnelles seraient nécessaires afin d'identifier l'origine de cette différence. De même, une plus faible valeur de  $S_{tr}$  des perçoirs indique que leur

surface est plus anisotrope que les plages d'usures et les traces de fabrication des lissoirs. Il semble probable que l'utilisation des perçoirs soit responsable de cette directionnalité des traces de surface, le mouvement de rotation étant plus restreint.

L'analyse des composantes principales révèle ici son utilité, réussissant toujours à différencier entre les plages d'usures des différents outils. Cette séparation est bien plus marquée à 240X de grossissement, mais demeure apparente à 336X. Comme pour les comparaisons des paramètres individuels, il peut être difficile de distinguer entre les plages d'usures et les traces de fabrications avec le PCA, particulièrement à 336X de grossissement. Il est également possible d'observer que la variation présente au niveau des traces de fabrication est bien plus grande que celles des plages d'usures. Les lissoirs ont été utilisés afin de réaliser un travail répétitif avec des mouvements précis, tandis que tous les lissoirs ont été fabriqués de la même manière avec l'aide d'éclat de silex et de chert (Gates St-Pierre 2007). La plus grande étendue des valeurs mesurées sur les traces de fabrication indique que la confection d'un outil produit des valeurs plus variables que son utilisation malgré une intensité d'utilisation variable et présente une autre piste de recherche intéressante.

#### **5.4 Abrasion éolienne comme source de pseudo-outil**

L'analyse qualitative et quantitative des spécimens exposés à l'abrasion éolienne permet d'affirmer qu'il est possible que l'abrasion éolienne soit la source de polissages trompeurs et de pseudo-outils. Il est cependant possible de distinguer les effets de l'abrasion éolienne de ceux de l'action anthropique de manière qualitative, notamment par la présence de fosses microscopiques sur la surface du spécimen, et quantitative grâce à l'utilisation des paramètres de rugosité de surface (Tableau 11). Cela concorde avec les résultats des recherches antérieures qui avaient utilisé d'autres méthodes associées à de plus courtes durées et de plus grandes intensités d'exposition (Shipman et Rose 1988, Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019). Plusieurs des modifications associées à l'abrasion éolienne se distinguent de ce qui est généralement observé sur les outils en os. Étant donné que l'abrasion éolienne est causée par l'impact répété de grains de sable et non à un frottement entre l'os et d'autres matériaux comme c'est le cas avec les outils en os, aucun transfert de matériel n'est observable sur les spécimens abrasés par le vent. Il est vrai qu'il est possible d'observer des grains de sable sur la surface des spécimens à la suite de leur exposition, mais ce phénomène est assez rare étant uniquement observé dans des



fissures plus importantes de quelques spécimens. Cela contraste avec le transfert de matériel fréquemment observé sur les spécimens ayant été utilisé pour travailler d'autres matériaux (Gates St-Pierre 2007). C'est ce transfert de matériel qui peut souvent expliquer l'apparence lustrée des polis d'origine anthropique, tandis que l'abrasion éolienne est caractérisée par des polis mats. De plus, on n'observe pas les stries microscopiques associées à l'utilisation d'os comme outils sur les spécimens abrasés. La présence de stries avec une orientation claire dans le cas des outils en os, contraste avec ce qui est observé sur les spécimens exposés à l'abrasion éolienne, plutôt associée à l'absence totale ou la diminution de l'importance de telles structures et une surface plus homogène. De plus, les modifications observées sur les outils sont limitées à la zone de contact entre l'outil et la matière travaillée, ce qui correspond généralement à une très petite partie de l'objet, tandis que la totalité de la surface exposée à l'abrasion éolienne est modifiée uniformément. Il est vrai qu'un fragment d'os partiellement enterré pourrait théoriquement avoir uniquement une petite portion de sa surface polie près du rebord, mais il semble plus probable qu'une exposition naturelle à l'abrasion éolienne résulterait plutôt dans un poli dégradé à fur et à mesure que l'os est exposé puis enterré par le sédiment, plutôt qu'une zone fortement polie.

Enfin, une modification qui semble particulièrement associée à l'abrasion sédimentaire est le développement de fosses circulaires de très petite taille, sur la totalité de la surface exposée des spécimens abrasés. Ces fosses ont déjà été décrites dans la littérature comme étant associées au transport sédimentaire dans l'air (Shipman et Rose 1988, ou dans l'eau (Thompson, Ball et al. 2011). Leur grand nombre et leur uniformité semblent correspondre plus aux descriptions de l'abrasion éolienne plutôt qu'aquatique (Fernández-Jalvo et Andrews 2016). Aucune utilisation anthropique que nous avons pu relever dans la littérature n'est associée à ce type de modification. Même un faible niveau d'abrasion éolienne semble causer de telles modifications avec plusieurs spécimens montrant de telles fosses après 150 heures à 7.6 m/s. La présence de telles fosses sur la surface d'un ossement semble donc être la meilleure manière de déterminer l'action de l'abrasion éolienne.

		Abrasion éolienne	Outils en os		
			Lissoirs	Perçoirs	
<b>Analyses qualitatives</b>		-Polis uniformes et mats. -Disparition des stries et fissures. -Émoussage des rebords. -Présence de fosses microscopique sur la surface.	-Polis localisés et lustrés. -Présence de stries. -Présence d'enlèvements sur les rebords -Émoussages localisés des rebords. -Présence de matériel transféré sur les plages d'usures,		
<b>Analyses quantitatives</b>	<b>Sq</b>	Valeurs plus faibles. Surface moins variable et plus uniforme.	Valeurs plus élevées. Surface plus variable et moins uniforme.		
	<b>Spk</b>	Valeurs plus faibles que les lissoirs. Abrasion préférentielle des points les plus élevés.	Valeurs plus élevées. Abrasion moins efficace des points les plus élevés.	Valeurs similaires à l'abrasion éolienne. Abrasion préférentielle des points les plus élevés	
	<b>Vvv</b>	Valeurs plus faibles. Surface avec moins de vallées et stries profondes	Valeurs plus élevées. Surface avec plus de vallées et stries profondes		
	<b>Vvc</b>	Valeurs plus faibles. Moins de variabilité au niveau de la hauteur de la surface.	Valeurs plus élevées. Plus de variabilité au niveau de la hauteur de la surface.		
	<b>Vmc</b>	Valeurs plus faibles. Moins de variabilité au niveau de la hauteur de la surface.	Valeurs plus élevées. Plus de variabilité au niveau de la hauteur de la surface.		
	<b>Vmp</b>	Valeurs plus faibles. Présence de moins de piques/ les piques sont de plus petites tailles	Valeurs plus élevées. Présence de plus de piques/ les piques sont de plus grande taille.		
	<b>Sal</b>	Valeurs plus faibles. Structures superficielles de plus petites tailles.	Valeurs plus élevées. Structures superficielles de plus grandes tailles.		
	<b>Str</b>	Valeurs plus faibles que les lissoirs. Surface moins isotrope que les lissoirs.	Valeurs plus élevées. Surface plus isotrope	Valeurs similaires à l'abrasion éolienne. Surface moins isotrope que les lissoirs.	
	<b>PCA</b>	Groupe distinct des plages d'usures des outils en os. Groupe beaucoup plus variable que les outils (N plus grand)	Groupe le plus distinct. Jamais de recouvrement avec l'abrasion éolienne.	Très faible recouvrement avec l'abrasion éolienne (1 PCA sur 4)	

Tableau 11. Résumer des différences qualitatives et quantitatives entre les spécimens exposés à l'abrasion éolienne et les plages d'usures d'outils en os. Les lissoirs et les perçoirs sont séparés uniquement lorsqu'ils varient de manière différente à l'abrasion éolienne.

## 5.5 Implications archéologiques

Cette recherche nous a permis de distinguer entre les polis sur os produits par l'abrasion éolienne et les polis anthropiques. Ce résultat s'ajoute aux observations de Morel (1986) par rapport aux polis naturels. De plus, l'interaction de l'abrasion éolienne avec d'autres agents taphonomiques pourrait résulter dans une perte d'information ainsi qu'être une source de confusion potentielle. La description détaillée des effets de l'abrasion éolienne, ainsi que les méthodes pour la quantifier, qui ont été développées dans cette étude, pourraient être utilisées afin de faire progresser les recherches concernant certains artefacts montrant des polis d'origine controversée. Le cas de Old Crow Flats au Yukon, où l'abrasion éolienne avait été suggérée comme une source potentielle des polis observés sur certains artefacts (Morlan 1984) serait un excellent candidat afin d'appliquer les résultats de cette étude dans un contexte archéologique. L'utilisation des paramètres de rugosité sur les artefacts controversés issus de ce site pourrait révéler des informations essentielles concernant leur origine. Cela pourrait contribuer à faire avancer le débat entourant les premières migrations vers les Amériques et fournir des informations additionnelles sur l'histoire du peuplement de la région (Bourgeon 2015, Krasinski et Blong 2020, Bourgeon 2021). Si l'abrasion éolienne était rejetée comme source potentielle des modifications qui y sont observées, cela serait un argument de plus en faveur d'une présence humaine en Béringie pendant le dernier maximal glaciaire en rejetant l'une des causes naturelles proposées comme étant à l'origine des modifications qui y sont observés.

L'absence de nombreuses descriptions de l'abrasion éolienne comme agent taphonomique dans la littérature peut indiquer qu'il ne s'agit pas d'un processus qui est souvent considéré par les archéologues. La capacité de l'abrasion éolienne à créer des polis trompeurs sur les ossements, indique qu'il est nécessaire pour les archéologues et taphonomistes, particulièrement ceux travaillant en milieu aride, d'être conscient de cette possibilité et des différentes manières qualitatives et quantitatives de les distinguer d'outils en os peu élaborés. Du point de vue taphonomique, l'intensité et la nature spécifique des modifications liées à l'abrasion observée sur des artefacts pourraient être une source d'information paléoclimatique pour les archéologues comme il se fait déjà en géologie (Maxson 1940, Laity 1987).

Cette recherche s'inscrit dans le cadre d'un nombre toujours grandissant d'études expérimentales sur l'impact de différents facteurs naturels sur les ossements et leur capacité de

produire des pseudo-outils (Fernández-Jalvo et Andrews 2003, Thompson, Ball et al. 2011, Sala, Arsuaga et al. 2014, Griffith, Thompson et al. 2016). Comprendre l'effet de ces différents agents taphonomiques permet de mieux saisir les circonstances pouvant résulter dans la formation de pseudo-outils, ainsi que les facteurs pouvant dissimuler de potentielles modifications anthropiques. L'archéologie expérimentale, et plus précisément la taphonomie expérimentale, est un outil essentiel afin de comprendre les trouvailles archéologiques ainsi que les différents processus entourant la formation de sites archéologiques et de distinguer entre les modifications naturelles et anthropiques (Bertran 2017). Dans le cas de cette étude, l'utilisation d'une soufflerie pour simuler l'effet l'abrasion éolienne, une première, a révélé que les sédiments éoliens peuvent causer des modifications similaires à ce qui est observé sur certains outils, mais qu'il est possible de les différencier appuyant les trouvailles d'études antérieures (Shipman et Rose 1988, Yolanda Fernández et Andrews 2016, Frontini, Fernández-Jalvo et al. 2019).

Cette étude permet également d'informer l'analyse des outils en os peu élaborés (Tartar 2012), en démontrant que l'abrasion éolienne peut créer des modifications similaires à ce qui est observé sur certains de ces outils tout en proposant une méthode qui permet de les distinguer. Il serait donc très pertinent pour les futurs chercheurs étudiant ce type d'outil de penser à l'abrasion éolienne, si les ossements sont retrouvés dans un contexte propice au transport sédimentaire éolien. De plus, la méthode de quantification à l'aide des paramètres de rugosité de surface pourrait être utilisée sur les ossements suspectés d'être des outils peu élaborés même s'ils n'ont pas été exposés à l'abrasion éolienne afin de les distinguer de pseudo-outils créés par différents agents taphonomiques. Il serait également possible d'utiliser les paramètres de rugosité afin de potentiellement différencier les outils peu élaborés selon leur utilisation comme il est possible de faire avec les lissoirs et les perceurs dans cette étude.

### **5.5.1 Contexte écologique favorable à l'abrasion éolienne comme agent taxonomique**

Lorsqu'un os est exposé aux intempéries, plusieurs conditions sont nécessaires pour que l'abrasion éolienne puisse jouer un rôle taphonomique important. La disponibilité de sédiment de la bonne taille ainsi que la présence de vent suffisamment fort pour déplacer le sédiment sont deux conditions évidentes pour assister à l'abrasion éolienne. Le taux d'humidité dans le sédiment (Davidson-Arnott, Yang et al. 2008) ainsi que la présence et l'intensité du couvert végétal (Burri, Gromke et al. 2011) sont négativement corrélés au taux de transport sédimentaire et diminuent le

potentiel abrasif du milieu. Les écosystèmes désertiques, qu'ils soient chauds ou froids, sont donc les plus propices pour observer l'abrasion éolienne étant donné qu'ils contiennent une grande quantité de sédiments, ont des climats très secs et ont un faible couvert végétal. Ils sont également souvent associés à des tempêtes fréquentes transportant de grandes quantités de sédiments. Les milieux périglaciaires, particulièrement ceux datant des dernières ères glaciaires, sont certains des environnements le plus aptes à subir un haut niveau d'abrasion éolienne. Les conditions froides et sèches liées aux ères glaciaires permettent le transport d'une grande quantité de loess, un sédiment fin ( $\mu\text{m}$  transporté par le vent. Des dépôts importants de loess peuvent être retrouvés à de hautes latitudes, particulièrement dans l'hémisphère nord (Pye 1996). La grande taille de certains de ces dépôts indique que les conditions étaient propices pour le transport massif de sédiment par le vent. Il est probable qu'il soit plus difficile de distinguer les ossements ayant subi une abrasion éolienne associée au loess particulièrement au niveau qualitatif. Avec un diamètre moyen de 50 à 65  $\mu\text{m}$  (Pye 1996), le loess est trois à dix fois plus petit que les sédiments utilisés dans cette expérience. Il risque de ne pas être associé aux fosses microscopiques qui sont observées sur la surface des spécimens exposés dans la soufflerie ou d'être associé à des fosses de très petites tailles nécessitant un niveau de grossissement encore plus important que ce qui est utilisé dans cette étude. La présence de grande quantité de loess ne signifie pas nécessairement l'absence d'autres types de sédiments de plus grande taille qui pourrait tout de même créer des fosses. L'utilisation des paramètres de rugosités de surface demeure une méthode prometteuse afin de distinguer les ossements modifiés par le loess d'outils en os. Les sites archéologiques associés à ces conditions sont donc d'excellents candidats pour appliquer les résultats de cette étude dans un contexte naturel.

La découverte de trace associée à l'abrasion éolienne sur des ossements pourrait donc être une source d'information concernant les conditions paléoécologiques, indiquant des conditions sèches et venteuses depuis la déposition de l'ossement. Cela indique également la présence d'une grande quantité de sédiments disponibles pour être emportés par le vent dans le passé. Une meilleure compréhension de la relation entre la taille du sédiment et la taille des fosses microscopiques sur la surface des spécimens permettrait potentiellement d'obtenir des informations sur la nature des particules causant l'abrasion. Connaître la taille et particulièrement la taille maximale des particules ayant heurté le spécimen permettrait d'obtenir des informations concernant la vitesse des vents à l'époque considérant que la taille maximale de particule est

étroitement liée à la vitesse du vent (Greeley et Iversen 1985). De plus, en combinant l'information concernant l'abrasion éolienne avec d'autres sources paléoclimatiques et taphonomiques, cela pourrait permettre une meilleure compréhension du milieu dans lequel l'ossement a été exposé. Par exemple, si les conditions éoliennes et sédimentaires du milieu sont bien comprises, l'intensité des modifications observées sur des ossements pourrait indiquer la durée de temps qu'ils ont passé exposés aux intempéries, nous informant sur la vitesse d'enterrement.

### **5.5.2 Équivalence naturelle des conditions de laboratoire**

Comprendre l'abrasion éolienne comme agent taxonomique nécessite d'avoir une idée de la vitesse à laquelle ce processus peut se dérouler en contexte naturel. Il est donc intéressant de comprendre la durée de temps à laquelle les conditions expérimentales correspondent. Obtenir une réponse précise à cette question est très compliqué étant donné la grande variabilité des taux d'abrasions éoliennes en contexte naturel. Même si on considère que le contexte est propice à l'abrasion éolienne, plusieurs facteurs peuvent faire varier l'intensité de l'abrasion éolienne comme agent taphonomique telle la vitesse moyenne des vents ainsi que la fréquence des tempêtes dans la région. La fréquence des tempêtes, avec les grandes vitesses de vents associées, joue un rôle très important dans l'intensité de l'abrasion éolienne (Greeley et Iversen 1985). Cette fréquence peut varier de manière considérable dans le temps et l'emplacement géographique. Même des localités relativement proches l'une de l'autre peuvent avoir des fréquences de tempête très variables selon la topographie et les conditions locales. Par exemple, des mesures de la vitesse du vent à différents emplacements sur une autoroute au Yukon et dans les Territoires du Nord-Ouest ont montré que certaines localités ont subi 44 tempêtes avec une vitesse moyenne du vent de 26.4m/s tandis que d'autres localités situées à quelques km n'en ont subi aucune (Humphries, Burn et al. 2019). Cette même étude a révélé que la vitesse du vent dans la localité la plus venteuse était supérieure à 13.8m/s 9.2% du temps tandis qu'elle ne l'était que 0.1% du temps à d'autres endroits. Il est cependant impossible de comparer directement ces valeurs à celles dans cette étude, puisque la vitesse du vent n'est pas mesurée à la même hauteur.

### **5.5.3 Abrasion éolienne comme agent taphonomique secondaire**

Une des implications intéressantes démontrées par cette étude est l'impact de l'abrasion éolienne sur d'autres types de modifications taphonomiques par exemple, des stries ou polissures dus à l'action anthropique. Cela indique que l'abrasion éolienne est très efficace pour modifier et potentiellement éliminer des stries et d'autres traces d'usure sur des ossements. Cela pourrait cacher l'effet d'autres agents taphonomiques affectant un os avant l'exposition au vent, rendant une analyse taphonomique complète, difficile, voire impossible. Il est donc possible que des outils en os avec des modifications liées à l'utilisation humaine puissent être rendus indistinguables d'autres spécimens d'origine non anthropique par l'action de sédiments éoliens particulièrement s'il s'agit d'outils en os non travaillés ou des outils intermédiaires bruts (Tartar 2012). Même sans éliminer complètement des stries ou d'autres modifications, l'abrasion éolienne, même modérée, pourrait être une source de confusion dans l'identification des agents taphonomiques affectant un os. Une analyse archéozoologique complète devrait donc écarter la possibilité que l'abrasion éolienne ait pu agir sur un assemblage faunique avant d'analyser la fréquence des traces anthropiques. Or, cette recherche nous permet d'identifier la présence d'abrasion éolienne à l'aide notamment de la présence des fosses (section 4.1.2).

## **5.6 Implication méthodologique**

L'utilisation novatrice des paramètres de rugosité de surface afin de quantifier des polissures et d'autres modifications de surface est l'un des aspects de cette étude qui a beaucoup d'implications, pour les analyses taphonomiques. Le but principal de comparer les spécimens exposés à l'abrasion éolienne à des outils en os était de voir s'il était possible de distinguer entre les modifications d'origines anthropiques et éoliennes. Il a donc été décidé d'uniquement comparer les spécimens exposés à l'abrasion à différents types d'outils (lissage et perçage) ayant été utilisés à différents niveaux d'intensité et pour travailler différents matériaux. Il serait cependant très intéressant de tester si les paramètres de rugosité utilisés ici pourraient différencier entre l'intensité du travail ou encore le matériau ayant été travaillé par l'outil. Il serait également possible de sélectionner d'autres paramètres de rugosité de surface, qui ne sont pas utilisés ici, selon la nature spécifique du sujet d'étude. L'utilisation de ces paramètres comporte plusieurs avantages pour de futures analyses taphonomiques et tracéologiques, notamment le haut niveau de standardisation facilitant la comparaison entre différentes analyses, la facilité d'utilisation ainsi que la production de données numériques pouvant être directement utilisées afin de réaliser

différentes analyses quantitatives et statistiques. De plus, un grand nombre de microscopes et d'instruments permettent de les calculer, ce qui diminue potentiellement le besoin d'avoir plusieurs appareils différents ou des appareils très dispendieux. Il reste cependant beaucoup de travail à faire afin de comprendre les limites de cette méthodologie et des différentes applications qu'elle pourrait avoir pour de futures recherches taphonomiques. Il serait notamment très intéressant d'avoir une meilleure compréhension de l'effet du grossissement sur les valeurs mesurées afin de pouvoir éventuellement sélectionner un grossissement optimal selon l'objet d'étude.



## Conclusion

L'exposition expérimentale de fragments d'os longs à une abrasion éolienne dans une soufflerie au Laboratoire d'érosion éolienne a livré des informations sur l'effet de l'abrasion éolienne comme agent taphonomique sur les ossements ainsi que les variables qui influencent son effet. Cette étude visait deux questions de recherche : (1) Comment est-ce que l'abrasion éolienne modifie les ossements ? (2) Est-ce que l'effet de l'abrasion éolienne pourrait être confondu avec l'action d'êtres humains ?

La réponse à la première question de recherche, qui a été obtenue en réalisant des observations répétées sur des fragments d'os exposés à différents traitements expérimentaux, a permis une description détaillée des principales modifications associées à l'abrasion éolienne. Grâce à l'utilisation d'une soufflerie capable de transporter du sédiment, il a été possible d'exposer les spécimens à une abrasion plus proche de ce qui se déroule en contexte naturel que les méthodes utilisées antérieurement qui consistaient généralement à utiliser des polisseuses vibrantes ou des fusils à air comprimé. Cela permet d'obtenir une description des modifications qui peut être plus facilement utilisée comme un analogue pour ce qui est observé en contexte naturel. Les résultats obtenus correspondent cependant assez bien aux descriptions antérieures de l'abrasion éolienne validant les études précédentes qui n'avaient pas accès au même équipement de laboratoire. Le développement d'un polissage mat et uniforme, un émoussage important des rebords, ainsi que la disparition de fissures, stries, polis ou pores initialement présents sur la surface de l'os sont les principales modifications macroscopiques associées à l'abrasion éolienne. L'analyse microscopique de la surface des spécimens permet de mettre en évidence les différentes modifications observées ainsi que de révéler la présence de nombreuses petites fosses uniquement visibles à de hauts niveaux de grossissement. Le développement de ces fosses de très petite taille semble être la meilleure manière de différencier qualitativement l'abrasion éolienne d'autres agents taphonomiques. Contrairement à certaines analyses de précédentes, aucune gravure microscopique n'a été causée par l'abrasion éolienne dans ce cette étude. La vitesse du vent est le principal facteur qui détermine l'intensité et la rapidité des modifications, la taille du sédiment n'ayant que très peu d'influence. Une nouvelle méthode pour quantifier la surface des spécimens, utilisant des paramètres de rugosités, permet de différencier quantitativement les spécimens non abrasés des spécimens abrasés. Les paramètres utilisés permettent de décrire

l'impact de l'Abrasion sur la surface de l'os et de distinguer entre abrasion naturelle et anthropique.

La deuxième question a été résolue en comparant les spécimens abrasés expérimentalement à une collection d'outils en os créés et utilisés dans une recherche précédente. Cette recherche démontre que l'abrasion éolienne se distingue aisément des plages d'usure ou traces de fabrication des outils en os à l'échelle microscopique, à l'aide des huit paramètres de rugosité et la présence de structures distinctives (fosses). Il est donc possible de départager les os abrasés des outils en os peu élaborés ou élaborés lors d'analyses taphonomiques et archéozoologiques.

#### Perspective de recherche

Les résultats de cette recherche ont permis de répondre aux différentes problématiques de recherche et permettent de rejeter l'hypothèse que l'abrasion éolienne puisse résulter dans la formation de pseudo-outils qu'il ne serait pas possible de distinguer d'outils anthropiques. Plusieurs implications additionnelles sur l'impact de l'abrasion éolienne comme agent taphonomique ainsi que des pistes de recherches futures ont été identifiées.

Même s'il a été possible de développer une méthode qui permet de distinguer les os abrasés par le vent des outils en os, cela ne signifie pas que l'abrasion éolienne ne peut pas exercer une influence taphonomique significative dans un contexte archéologique. Il a été observé que même une exposition relativement courte à des vents d'une certaine vitesse peut provoquer des modifications substantielles de la surface d'ossements, notamment en effaçant les traces d'usures initialement présentes sur le spécimen. Cela signifie que des outils exposés aux intempéries dans un contexte aride pourraient voir leurs traces d'usures modifiées, voire complètement effacées. Cela pourrait rendre l'identification d'outils en contexte aride, particulièrement s'il s'agit d'outils non modifiés, plus difficile, voire impossible. L'abrasion éolienne pourrait également rendre la différenciation entre les traces d'usures d'origine anthropique plus difficile à distinguer d'autres types de modifications. Ce rôle potentiel de l'abrasion éolienne comme agent taphonomique secondaire démontre la nécessité de réaliser des études additionnelles afin d'identifier et mieux comprendre son effet sur des outils en os et sur des ossements avec différents types de modifications taphonomiques.

Enfin, l'une des réalisations de cette recherche qui a des implications très importantes pour de nombreuses recherches sur la taphonomie est l'utilisation des paramètres de rugosité de surface afin de quantifier la surface des spécimens. La capacité de plusieurs de ces paramètres de différencier entre des ossements ayant subi différents traitements expérimentaux ainsi qu'entre différents types d'outils indique qu'ils ont un grand potentiel pour des recherches futures. Il s'agit ici de la première fois que ces paramètres ont été appliqués dans un contexte archéologique ou taphonomique, alors une meilleure compréhension des capacités et des limites de cette méthode est encore nécessaire. Cette étude démontre cependant le potentiel de ces paramètres qui pourraient être appliqués dans un grand nombre de contextes en facilitant la quantification, la différenciation, ainsi que l'interprétation de nombreuses traces d'usures et modifications taphonomiques pour de nombreuses recherches futures.

## BIBLIOGRAPHIE

Agenbroad, L. D. (1989). Spiral fractured mammoth bone from nonhuman taphonomic processes at Hot Spring Mammoth site. Bone Modification. R. Bonnichsen et M. A. Sorg. Orono, Main, Center for the Study of the First Americans: 139-147.

Ahler, S. (1980). Experimental Determination of Stone Tool Uses: A Microwear Analysis. Chicago, University of Chicago Press.

Akhmetgaleeva, N. B. (2017). "Hide polish of worked bone tools from East European Late Upper Paleolithic sites of Byki (Russia)." Quaternary International **427**: 225-229.

Anderson, R. S. (1986). "Erosion profiles due to particles entrained by wind: Application of an eolian sediment-transport model." Geological Society of America Bulletin **97**: 1270-1278.

Anderson, R. S. et B. Hallet (1986). "Sediment transport by wind: Toward a general model." Geological Society of America Bulletin **97**(5).

Andrews, P. (1990). Owls Caves and Fossils. London, Natural History Museum Publications.

Backwell, L. et F. d'Errico (2001). "Evidence of termite foraging by Swartkrans early hominids." PNAS **98**(4): 1358-1363

Bagnold, R. S. (1941). The physics of blown sand and desert dunes. London, Chapman & Hall.

Behrensmeyer, A. K. (1978). "Taphonomic and ecologic information from bone weathering." Paleobiology **4**(2): 150-162.

Behrensmeyer, A. K. et S. M. Kidwell (1985). "Taphonomy's contributions to paleobiology." Paleobiology **11**(1): 105-119.

Bertran, P. B., Jean-Guillaume Todisco, Dominique Vallin, Luc (2017). Géoarchéologie et taphonomie des vestiges archéologiques : impacts des processus naturels sur les assemblages et méthodes d'analyse. Taphonomie. J.-P. Brugal, Editions des Archives Contemporaines: 123-156.

Bishop, D. G. et D. C. Mildenhall (1994). "The geological setting of ventifacts and wind-sculpted rocks at Mason Bay, Stewart Island, and their implications for late Quaternary paleoclimates." New Zealand Journal of Geology and Geophysics **37**(2): 169-180.

Blateyron, F. (2013). The Areal Field Parameters. Characterisation of Areal Surface Texture: 15-43.

Bourgeon, L. (2015). "Bluefish Cave II (Yukon Territory, Canada): Taphonomic Study of a Bone Assemblage." PaleoAmerica **1**(1): 105-108.

Bourgeon, L. (2021). "Revisiting the mammoth bone modifications from Bluefish Caves (YT, Canada)." Journal of Archaeological Science: Reports **37**.

Bradfield, J. (2015). "Use-trace analysis of bone tools: A brief overview of four methodological approaches." The South African Archaeological Bulletin **70** (201): 3-14.

Brain, C. K. (1967). "BONE WEATHERING AND THE PROBLEM OF BONE PSEUDO-TOOLS." South African Journal of Science: 97-99.

Brett, C. E. et J. R. Thomka (2013). Fossils and Fossilisation. eLS.

Bridges, N. T. et J. E. Laity (2013). 11.8 Fundamentals of Aeolian Sediment Transport: Aeolian Abrasion. Treatise on Geomorphology. J. Shroder, N. Lancaster, D. J. Sherman and A. C. W. Baas. San Diego, Academic Press. **11**: 134-148.

Bridges, N. T., et al. (2004). "Insights on rock abrasion and ventifact formation from laboratory and field analog studies with applications to Mars." Planetary and Space Science **52**(1-3): 199-213.

Buc, N. (2011). "Experimental series and use-wear in bone tools." Journal of Archaeological Science **38**(3): 546-557.

Burke, A. et F. d'Errico (2008). "A Middle Palaeolithic bone tool from Crimea (Ukraine)." Antiquity **82**: 843-852.

Burri, K., et al. (2011). "Aeolian sediment transport over vegetation canopies: A wind tunnel study with live plants." Aeolian Research **3**(2): 205-213.

Cáceres, I., et al. (2011). "Was it the deer or the fox?" Journal of Archaeological Science **38**(10): 2767-2774.

Cadée, G. C. (1991). The History of Taphonomy The Processes of Fossilization. S. K. Donovan. London, Belhaven Press: pp. 3-21.

Cinq-Mars, J. (1979). "Bluefish Cave I: A Late Pleistocene Eastern Beringian Cave Deposit in the Northern Yukon." Canadian Journal of Archaeology / Journal Canadien d'Archéologie **3**.

Cinq-Mars, J. et R. Morlan (1999). Blueish Caves and Old Crow Basin: A New Rapport. Ice Age Peoples of North America. Environments, Origins, and Adaptations of the First Americans. R. Bonnicksen and K. L. Turnmire. Corvallis, Oregon State University Press 200-212.

Coles, J. M. (1973). Archaeology by Experiment. London, Routledge.

Coles, J. M. (1979). EXPERIMENTAL ARCHAEOLOGY. London, Academic Press.

Curry, J. D. (1988). "The effects of drying and re-wetting on some mechanical properties of cortical bone." Journal of Biomechanics **21**: 439-442.

D'Errico, D. (1993). "Criteria for Identifying Utilised Bone: The Case of the Cantabrian "Tensors"." Current Anthropology **34(3)**: 298-311.

Davidson-Arnott, R. G. D., et al. (2008). "The effects of surface moisture on aeolian sediment transport threshold and mass flux on a beach." Earth Surface Processes and Landforms **33(1)**: 55-74.

Demitroff, M. (2016). "Pleistocene Ventifacts and Ice-Marginal Conditions, New Jersey, USA." Permafrost and Periglacial Processes **27(1)**: 123-137.

Dietrich, R. V. (1977). "Impact abrasion of harder by softer materials." Journal of Geology **85**: 242-246.

Dietrich, R. V. (1977). "Wind erosion by snow." Journal of Glaciology **18(78)**: 148-149.

Fernández-Jalvo, Y. et P. Andrews (2003). "Experimental effects of water abrasion on bone fragments." Journal of Taphonomy **1**: 147-163.

Fernández-Jalvo, Y. et P. Andrews (2016). Atlas of Taphonomic Identifications, Springer, Dordrecht.

Fernández-Jalvo, Y., et al. (2014). "Digestion versus abrasion features in rodent bones." Lethaia **47(3)**: 323-336.

Fernández-López, S. R. et Y. Fernández-Jalvo (2002). The limit between biostratigraphy and fossilization. Current topics on Taphonomy and fossilization. M. D. Renzi, M. V. P. Alonso, M. Belinchón et al. Valencia: pp. 27-36.

Frontini, R., et al. (2019). "Abrasion in archaeological fish bones from sand dunes. An experimental approach." Archaeological and Anthropological Sciences **11(9)**: 4891-4907.

Gates St-Pierre, C. (2007). Bone Awls of the St. Lawrence Iroquoians: A Microwear Analysis. Bones as tools : current methods and interpretations in worked bone studies. C. Gates St-Pierre and R. B. Walker. Oxford, Archaeopress: 107-118.

Gillies, J. A., et al. (2002). "Drag coefficient and plant form response to wind speed in three plant species: Burning Bush (*Euonymus alatus*), Colorado Blue Spruce (*Picea pungens glauca.*), and Fountain Grass (*Pennisetum setaceum*)." Journal of Geophysical Research: Atmospheres **107**(D24).

Gordon, B. (1976). "Antler pseudo-tools made by caribou." Primitive Art and Technology: 121-128.

Graham, R. W. (1981). "Preliminary report on late Pleistocene vertebrates from the Selby and Dutton archeological/paleontological sites, Yuma County, Colorado." Rocky Mountain Geology **20**(1): 33-56.

Greeley, R. et J. D. Iversen (1985). Wind as a Geological Process. Cambridge, Cambridge University Press.

Greeley, R., et al. (1982). "Rate of wind abrasion on Mars." Journal of Geophysical Research **87**(B12).

Greeley, R., et al. (1984). Abrasion by Aeolian Particles: Earth and Mars, NASA Contractor Reports.

Greeley, R., et al. (1984). Abrasion by Aeolian Particles: Earth and Mars, NASA Contractor Reports.

Griffith, S. J. et C. E. L. Thompson (2017). The Use of Laser Scanning for Visualization and Quantification of Abrasion on Water-Submerged Bone. Human Remains: Another Dimension: 103-122.

Griffith, S. J., et al. (2016). "Experimental abrasion of water submerged bone: The influence of bombardment by different sediment classes on microabrasion rate." Journal of Archaeological Science: Reports **10**: 15-29.

Haynes, G. (1988). "Longitudinal Studies of African Elephant Death and Bone Deposits." Journal of Archaeological Science **15**: 131-157.

Haynes, G. (2016). "Evidence of carnivore gnawing on Pleistocene and Recent mammalian bones." Paleobiology **6**(3): 341-351.

Humphries, J., et al. (2019). "Storm Wind Frequency and Direction, Dempster Highway, Richardson Mountains, Yukon and Northwest Territories." Cold Regions Engineering: 137-145.

Hutson, J. M., et al. (2013). "Osteophagia and bone modifications by giraffe and other large ungulates." Journal of Archaeological Science **40**(12): 4139-4149.

Jin, J. J. H. et P. Shipman (2010). "Documenting natural wear on antlers: A first step in identifying use-wear on purported antler tools." Quaternary International **211**(1-2): 91-102.

Johnson, K. L., et al. (1973). "The effect of the indenter elasticity on the Hertzian fracture of brittle materials." Proceedings, Royal Society London **334**: 95-117.

Kerbis Peterhans, J. C. (1990). The roles of porcupines, leopards and hyenas in ungulate carcass dispersal: implications for paleoanthropology. . Department of Anthropology, University of Chicago. **PhD**.

King, J., et al. (2008). "Investigations of the law-of-the-wall over sparse roughness elements." Journal of Geophysical Research **113**(F2).

King, L. C. (1936). "Wind-faceted stones from Marlborough, New Zealand." Journal of Geology **44**: 201-213.

Korth, W. W. (1979). "Taphonomy of Microvertebrate fossil assemblages." Annals of the Carnegie Museum **48**: 235–285

Kozlikin, M. B., et al. (2020). "Unshaped Bone Tools from Denisova Cave, Altai." Archaeology, Ethnology & Anthropology of Eurasia **48**(1): 16-28.

Krasinski, K. E. et J. C. Blong (2020). "Unresolved Questions about Site Formation, Provenience, and the Impact of Natural Processes on Bone at the Bluefish Caves, Yukon Territory." Arctic Anthropology **57**(1): pp. 1-21.

Laity, J. E. (1987). " Topographic effects on ventifact development, Mojave Desert, California." Physical Geography **8**: 113-132.

Laity, J. E. (2009). Landforms, Landscapes, and Processes of Aeolian Erosion. Geomorphology of Desert Environments A. J. Parsons and A. D. Abrahams, Springer Science+Business Media.

Laity, J. E. et N. T. Bridges (2009). "Ventifacts on Earth and Mars: Analytical, field, and laboratory studies supporting sand abrasion and windward feature development." Geomorphology **105**(3-4): 202-217.

Lancaster, N. (1984). "Characteristics and occurrence of wind erosion features in the Namib Desert." Earth Surfaces Processes and Landforms **9**: 469-478.

Li, Z. et C. Shen (2010). "Use-wear analysis confirms the use of Palaeolithic bone tools by the Lingjing Xuchang early human." Chinese Science Bulletin **55**(21): 2282-2289.



Lian-You, L., et al. (2003). "Wind tunnel measurements of adobe abrasion by blown sand: profile characteristics in relation to wind velocity and sand flux." Journal of Arid Environments **53**(3): 351-363.

Lyman, L. R. (2010). "What Taphonomy Is, What it Isn't, and Why Taphonomists Should Care about the Difference." Journal of Taphonomy **8**(1).

Madgwick, R. (2014). "What makes bones shiny? Investigating trampling as a cause of bone abrasion." Archaeological and Anthropological Sciences **6**(2): 163-173.

Marshall, J. R. (1979). Experimental abrasion of natural materials, University College London. **Ph.D.:** 301.

Maxson, J. H. (1940). "Fluting and faceting of rock fragments." Journal of Geology **48**.

McCauley, J. F., et al. (1979). "Pitted and fluted rocks in the Western Desert of Egypt: Viking comparisons." Journal of Geophysical Research **84**: 8222-8232.

McKenna-Neuman, C. and W. G. Nickling (1987). "A theoretical and wind-tunnel investigation of the effect of capillary water on the entrainment of sediment by wind." Can. J. Soil Sc **69**: 79-96.

McKenna Neuman, C. (1993). "A review of aeolian transport processes in cold environments." Progress in Physical Geography **17**: 137-155.

McKenna Neuman, C., et al. (2021). "Air flow and scour patterns around erosion control elements." Aeolian Research **50**.

Montalvo, C. I., et al. (2007). "Taphonomic analysis of remains of mammals eaten by pumas (*Puma concolor Carnivora, Felidae*) in central Argentina." Journal of Archaeological Science **34**(12): 2151-2160.

Morel, P. (1986). Quelques Polis Naturels D'Apparence Trompeuse. *Artefacts*, 3, 43-45.

Morlan, R., et al. (1990). "Accelerator Mass Spectrometry Dates on Bones from Old Crow Basin, Northern Yukon Territory." Canadian Journal of Archaeology / Journal Canadien d'Archéologie **14**: 75-92.

Morlan, R. E. (1984). "Toward the definition of criteria for the recognition of artificial bone alterations." QUATERNARY RESEARCH **22**: 160- 171.

Nickling, W. G. et C. McKenna Neuman (2009). Aeolian Sediment Transport Geomorphology of Desert Environments. A. J. Parsons and A. D. Abrahams, Springer: 517-556.

Olsen, S. L. (1989). "On Distinguishing Natural from Cultural Damage on Archaeological Antler." Journal of Archaeological Science **16**: 125-135.

Olsen, S. L. et P. Shipman (1988). "Surface Modification on Bone: Trampling versus Butchery." Journal of Archaeological Science **15**: 535-553.

Outram, A. K. (2008). "Introduction to experimental archaeology." World Archaeology **40**(1): 1-6.

Pante, M., et al. (2020). "Bone tools from Beds II-IV, Olduvai Gorge, Tanzania, and implications for the origins and evolution of bone technology." J Hum Evol **148**: 102885.

Pokines, J. T., et al. (2016). "The effects of experimental freeze-thaw cycles to bone as a component of subaerial weathering." Journal of Archaeological Science: Reports **6**: 594-602.

Potter, R. M. et G. R. Rossman (1977). "Desert Varnish: The Importance of Clay Minerals." Science **196**(4297): 1446-1448.

Pye, K. (1996). "The Nature, Origin and Accumulation of Loess." Quaternary Science Reviews **14**: 653-667.

Reynolds, P. J. (1999). The nature of experiment in archaeology. Experiment and Design: Archaeological Studies in Honour of John Coles. A. F. Harding. Oxford, Oxbow Books.

Richter, M. et D. Dettloff (2002). Experiments in Hide Brain-tanning with a Comparative Analysis of Stone and Bone Tools. Department of Sociology/Archaeology. La Crosse, University of Wisconsin. **PhD**.

Sala, N., et al. (2014). "Taphonomic comparison of bone modifications caused by wild and captive wolves (*Canis lupus*)." Quaternary International **330**: 126-135.

Schlyter, P. (1994). "Paleo-Periglacial Ventifact Formation by Suspended Silt or Snow—Site Studies in South Sweden." Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography **76**(3): 187-201.

Sharp, R. P. (1949). "Pleistocene ventifacts east of the Big Horn Mountains, Wyoming." Journal of Geology **57**: 173–195.

Sharp, R. P. (1964). "Wind-Driven Sand in Coachella Valley, California." Geological Society of America Bulletin **75**(9).

Sharp, R. P. et M. C. Malin (1984). "Surface geology from Viking landers on Mars: a second look." Bulletin of the Geological Society of America **95**: 1398-1412.

Shipman, P. (1981). "Applications of Scanning Electron Microscopy to Taphonomic Problems." ANNALS NEW YORK ACADEMY OF SCIENCES **376**(1): 357-385.

Shipman, P. et J. Rose (1988). "Bone tools: An experimental approach." Scanning electron microscopy in archaeology: 303-336.

Stanford, D. (1979). The Selby and Dutton Sites: Evidence for a Possible Pre-Clovis Occupation of the High Plains. Pre-Llano Cultures of the Americas: Paradoxes and Possibilities. R. L. Humphrey and D. Stanford. Washington, D.C., Anthropological Society of Washington: 101-123.

Stiner, M. C. (2008). Taphonomy. Encyclopedia of Archaeology: 2113-2119.

Suzuki, T. et K. Takahashi (1981). "An Experimental Study of Wind Abrasion." The Journal of Geology **89** (4): 509-522.

Tartar, E. (2003). "L'analyse techno-fonctionnelle de l'industrie en matière osseuse dite « peu élaborée »." Préhistoires Méditerranéennes **12**.

Tartar, E. (2012). "The recognition of a new type of bone tools in Early Aurignacian assemblages: implications for understanding the appearance of osseous technology in Europe." Journal of Archaeological Science **39**(7): 2348-2360.

Thompson, C. E. L., et al. (2011). "The abrasion of modern and archaeological bones by mobile sediments: the importance of transport modes." Journal of Archaeological Science **38**(4): 784-793.

Thorson, R. M. et D. R. Guthrie (1984). "River Ice as a Taphonomic Agent: An Alternative Hypothesis for Bone "Artifacts"." QUATERNARY RESEARCH **22**(2): 172-188.

Tremblay, L. P. (1961). "Wind striations in northern Alberta and Saskatchewan, Canada." Bulletin of the Geological Society of America **72**: 1561-1564.

White, T. D. et Folkens, P. A. (2005). Bone Biology & Variation, The Human Bone Manual, Burlington, Elsevier.

## Annexe 1 : État initial des spécimens

Spécimen	Espèce	État	Longueur max (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Morphologie	Surface (cm <sup>2</sup> )
<b>F-1a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	104.01	5.56	5.75	Pointu	15.66
<b>F-1b</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	114.3	27.95	5.06	Plat	40.05
<b>F-1c</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	111.54	28.93	5.05	Plat	29.96
<b>F-1d</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	114.31	34.09	5.91	Plat	52.33
<b>F-2a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	98.85	28.96	6.64	Plat	30.59
<b>F-2b</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	99.92	28.08	6.00	Plat	36.22
<b>F-2c</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	97.82	29.99	4.72	Plat	42.01
<b>F-3a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	138.79	35.55	5.49	Plat	58.92
<b>F-3b</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	141.52	17.25	7.72	Plat	44.95
<b>F-3c</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	139.33	25.43	6.50	Plat	48.54
<b>F-3d</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	99.07	5.67	5.59	Pointu	20.50
<b>F-4a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	118.22	24.04	7.39	Plat	32.15
<b>F-4b</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	119.06	6.37	5.9	Pointu	17.17
<b>F-4c</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	118.28	19.75	7.32	Plat	27.60
<b>F-4d</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	121.47	33.39	5.85	Plat	46.74
<b>F-5a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	126.47	16.03	4.98	Plat	39.83
<b>F-5b</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	125.18	34.36	4.43	Plat	57.74
<b>F-5c</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	129.58	30.41	5.45	Plat	51.43
<b>F-6a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Frais	165.1	21.67	5.08	Irrégulier	59.14
<b>F-7a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Frais	128.07	12.54	4.90	Irrégulier	58.39

Spécimen	Espèce	État	Longueur max (mm)	Largeur (mm)	Épaisseur (mm)	Morphologie	Surface (cm <sup>2</sup> )
<b>F-8a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	160.38	36.73	13.1	Irrégulier	71.94
<b>F-8b</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	155.58	9.7	3.42	Pointu	49.87
<b>F-8c</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	155.6	6.57	7.77	Pointu	35.45
<b>F-9a</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	151.87	21.08	5.93	Irrégulier	39.17
<b>F-9b</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	95.75	20.7	4.59	Irrégulier	33.12
<b>F-9c</b>	<i>Odocoileus virginianus</i>	Sec	150.6	14.2	6.33	Pointu	66.59
<b>F-10a</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	136.17	35.87	6.12	Plat	52.31
<b>F-10b</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	101.19	35.76	7.21	Plat	37.40
<b>F-10c</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	76.04	22.39	5.66	Pointu	29.66
<b>F-11a</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	107.44	27.89	7.89	Plat	29.68
<b>F-11b</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	110.59	26.64	8.07	Plat	53.24
<b>F-11c</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	101.11	30.36	6.99	Plat	38.09
<b>F-11d</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	100.96	29.34	6.66	Plat	26.52
<b>F-12a</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	104.82	40.42	8.15	Plat	57.17
<b>F-12b</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	108.19	38.38	10.14	Plat	54.70
<b>F-12c</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	94.5	5.71	6.49	Pointu	14.46
<b>F-13a</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	101.78	45.08	9.26	Plat	48.89
<b>F-13b</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	96.71	29.37	7.46	Plat	38.83
<b>F-13c</b>	<i>Alces alces</i>	Frais	78.49	10.69	7.36	Pointu	20.59

Tableau 12. Descriptions initiales des spécimens avant leur exposition à l'abrasion éolienne. La largeur et l'épaisseur du bord distal ont été mesurées à 1cm de la pointe du spécimen.

## Annexe 2 : Masse des spécimens

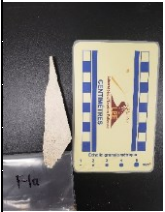
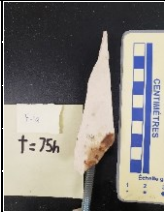

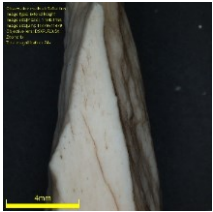

Spécimen	Masse t0 (g)	Masse t25 (g)	Masse t50 (g)	Masse t75 (g)	Masse t100 (g)
<b>F-2a</b>	52.46	52.07	51.74	51.38	51.02
<b>F-2b</b>	48.37	48.36	48.15	47.98	47.69
<b>F-2c</b>	66.92	66.64	66.34	66.03	65.79
<b>F-3d</b>	40.19	39.77	39.33	38.91	38.48
<b>F-4a</b>	55.42	55.03	54.61	54.25	53.89
<b>F-4b</b>	39.51	39.21	38.91	38.62	38.31
<b>F-4c</b>	49.95	49.58	49.19	48.85	48.5
<b>F-4d</b>	83.63	83.19	82.7	82.23	81.71
<b>F-6a</b>	96.14	95.6	95.07	94.62	94.13
<b>F-7a</b>	100.64	100.48	100.21	99.95	99.65
<b>F-8a</b>	171.11	170.31	169.52	168.81	167.98
<b>F-8b</b>	108.8	108.39	108.1	107.79	107.47
<b>F-8c</b>	57.08	56.64	56.27	55.86	55.57
<b>F-10a</b>	92.5	91.9	91.3	90.85	90.35
<b>F-10b</b>	73.19	72.47	71.94	71.35	70.84
<b>F-10c</b>	61.97	61.23	60.69	60.03	59.34
<b>F-12a</b>	108.63	108.63	107.58	106.88	106.21
<b>F-12b</b>	104.79	103.87	103.11	102.37	101.72
<b>F-12c</b>	36.29	35.82	35.46	35.06	34.73
<b>Moyenne</b>	<b>76.19</b>	<b>75.75</b>	<b>75.27</b>	<b>74.83</b>	<b>74.39</b>

Tableau 13. Masse des spécimens exposés au sédiment #0 pendant 100 heures avec une vitesse de 11.7m/s à chaque 25 heures.



<b>Spécimen</b>	<b>Masse t75 (g)</b>	<b>Masse t 100 (g)</b>	<b>Masse t 125 (g)</b>	<b>Masse t 150 (g)</b>	<b>Masse t 175 (g)</b>	<b>Masse t 200 (g)</b>	<b>Masse t 225 (g)</b>	<b>Masse t 250 (g)</b>
<b>F-1a</b>	32.89	32.87	32.83	32.8	32.59	32.24	31.83	31.44
<b>F-1b</b>	55.35	55.34	55.32	55.31	55.22	54.77	54.37	53.91
<b>F-1c</b>	49	48.96	48.93	48.87	48.55	48.13	47.6	47.14
<b>F1-d</b>	76.57	76.58	76.49	76.42	76.37	75.81	75.67	75.37
<b>F-3a</b>	86.27	86.26	86.23	86.17	85.93	85.59	85.26	84.82
<b>F-3b</b>	79.24	79.23	79.2	79.17	78.99	78.66	78.36	77.98
<b>F-3c</b>	67.58	67.49	67.42	67.37	67.22	66.75	66.52	66.14
<b>F-5a</b>	47.17	47.15	47.14	47.09	46.87	46.52	45.97	45.48
<b>F-5b</b>	84.95	84.96	84.93	84.89	84.67	84.34	84.15	83.71
<b>F-5c</b>	65.68	65.68	65.66	65.62	65.43	65.18	64.77	64.3
<b>F-9a</b>	60.46	60.45	60.33	60.28	60.11	59.81	59.5	59.11
<b>F-9b</b>	79.7	79.66	79.47	79.45	79.23	78.84	78.8	78.48
<b>F-9c</b>	100.96	100.9	100.78	100.63	100.33	99.86	99.81	99.34
<b>F-11a</b>	61.25	61.23	61.17	61.09	60.77	60.26	59.87	59.39
<b>F-11b</b>	97.69	97.58	97.5	97.45	97.14	96.68	96.4	95.91
<b>F-11c</b>	68.9	68.79	68.72	68.64	68.13	67.43	66.78	65.99
<b>F-11d</b>	54.69	54.67	54.61	54.58	54.02	53.34	52.77	52.1
<b>F-13a</b>	107.12	107.11	107.01	106.94	106.54	106	105.68	105.15
<b>F-13b</b>	93.06	93.05	92.92	92.84	92.34	91.69	91.21	90.53
<b>F-13c</b>	40.8	40.78	40.74	40.71	40.25	39.68	39.11	38.53
<b>Moyenne</b>	<b>72.03</b>	<b>72.00</b>	<b>71.93</b>	<b>71.87</b>	<b>71.60</b>	<b>71.15</b>	<b>70.81</b>	<b>70.33</b>


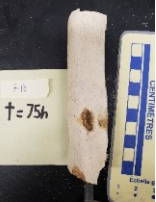
Tableau 14. Masse des spécimens exposés au sédiment #0 pendant 100 heures avec une vitesse de 11.7m/s à chaque 25 heures.





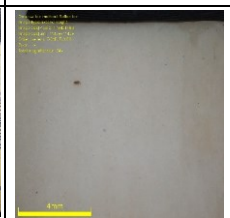
## Annexe 3 : Description qualitative des spécimens


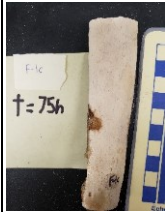

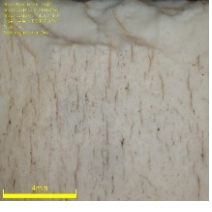

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-1a	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Ébréchure à la pointe supérieure. L'objet est 2mm moins épais dans les 3 premiers mm. Fissure linéaire diagonale de 13mm dans un axe supérieur gauche à inférieur droit. Plusieurs petites taches brunes, surtout dans la section inférieure. Rebords bien définis.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Développement de croûte de sédiment dans la section inférieure. Causé par la présence de colle dans cette section. Les taches brunes sont moins visibles sur toute la surface. Présence de taches de colle, dont une à côté de la fissure. Le spécimen est moins foncé.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Développement de taches sombres additionnelles. Faible émoussage des rebords latéraux. Sinon pas grand changement par rapport à 75h. Le spécimen est un peu plus lisse au toucher. Micro : Surface texturée surtout sur les côtés de la pointe. Présence d'une fissure superficielle. Les rebords de la pointe sont bien définis.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Polissage mat uniforme et généralement continu sur la majorité de la surface, exception faite des deux sections plus foncées formées de l'union de plusieurs taches observées plus tôt. L'une dans la région inférieure et l'autre dans la section centrale. Le spécimen est lisse au toucher et on l'observe plus de pores. Émoussage significatif des rebords. Lisse au toucher. La partie supérieure de la fissure n'est plus visible et toute la fissure est moins visible qu'avant. Il y a une accumulation de sédiment sombre sur le revers du spécimen.			

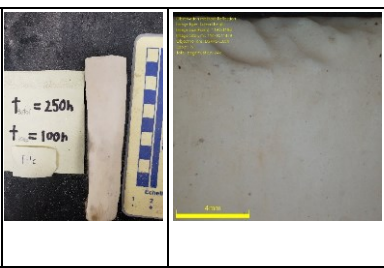



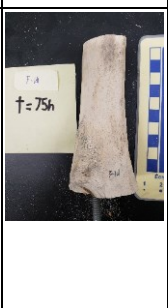
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Les deux sections plus foncées se sont unifiées pour former une seule tache plus foncée. Les rebords sont encore plus émoussés. La majorité de la fissure n'est plus visible à l'œil nu. L'accumulation de sédiment sur le revers du spécimen continue et est de plus en plus foncée. Le spécimen est très lisse au toucher. Micro : Surface lisse et blanchie. Plus de trace de la fissure. Les rebords de la pointe sont très émoussés.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Polissage rapide après l'augmentation de la vitesse. Augmentation de la zone modifiée par la colle avec le temps.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Polissage uniforme dans les sections sans colle.</p>		


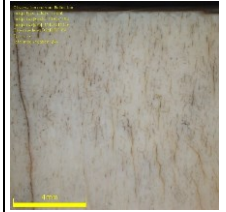


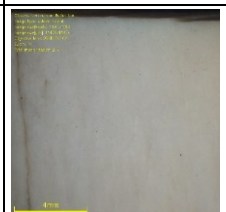
<b>TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE</b>			
Date: 22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-1b	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos: t0, t75, t150,		
Granulométrie: #00	t150_24X, t200, t250,		
Expérimentateur: Félix	t250_24X		
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Pas de polis. Projection osseuse de 13.5mm de longueur, 3mm de hauteur et 2mm de hauteur dans la section supérieure gauche de l'objet. Il y a de nombreuses petites fissures et petites taches brunes sur la surface de l'os. Foramen dans la section centrale.</p>			
<b>Description à 75 heures:</b>			
<p>Accumulation de sédiment dans et à proximité du foramen. Les petites fissures sont plus visibles. Probablement puisque les autres éléments de textures sont atténués. Les taches brunes ne sont plus visibles. La couleur du spécimen est plus pâle. Cette différence est la plus évidente dans la section inférieure. Développement de taches graisseuses à la droite du foramen et le long du rebord inférieur.</p>			





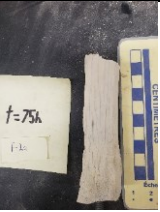
<b>Description à 150 heures:</b>		
Les petites fissures sont un peu moins visibles, mais toujours très présentes. Faible émousage des rebords. Le spécimen commence à être plus lisse au toucher. Initiation d'un polissage mat sur la majorité de la surface. Micro : Surface faiblement texturée. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Présence d'une ébréchure importante. Rebord supérieur bien défini.		
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>		
Les petites fissures ne sont plus visibles. Polissage mat prononcé sur toute la surface, mais davantage sur le côté gauche du spécimen. Les rebords sont toujours plus émousés. Le spécimen est très lisse au toucher. L'accumulation de sédiment sur le revers est très prononcée et foncée. Micro : Surface très lisse et blanchie. Presque plus aucune trace des fissures et de l'ébréchure. Rebord supérieur émousé.		
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
Les petites fissures ne sont plus visibles. Polissage mat prononcé sur toute la surface, mais davantage sur le côté gauche du spécimen. Les rebords sont toujours plus émousés. Le spécimen est extrêmement lisse au touché. L'accumulation de sédiment sur le revers est très prononcée et foncée.		
<b>Progression:</b>		
Progression : Polissage rapide après l'augmentation de la vitesse. Développement d'un poli uniforme.		
<b>Remarques:</b>		
Remarques : Le spécimen est uniformément poli et lissé.		


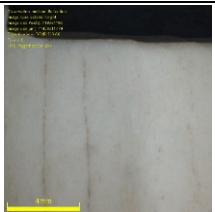
TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date:22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-1c	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Ébréchure dans la partie centrale/centre gauche. 12mm de longueur, 2.5mm de hauteur et entre 1 et 2 mm d'épaisseur. Autres ébréchures plus petites (<1mm) sur le reste de la section supérieur. Présence d'un grand nombre de petites taches brunes, surtout dans la section inférieure et la section supérieure droite.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
La grande majorité des petites taches brunes ne sont plus visibles. Développement de section grasseuse, causé par la colle, près du rebord inférieur et du rebord gauche dans la section centrale du spécimen. De nombreuses petites fissures superficielles sont plus visibles. Pas de polissage.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Initiation d'un poli mat sur la toute la surface, exception faite des sections grasseuses. Faible émoussage des bords. Surtout visible dans les ébréchures près du rebord supérieur. Les fissures superficielles sont moins visibles et nombreuses. Le spécimen commence à être plus lisse au toucher. Micro : Surface faiblement texturée. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Présence de plusieurs ébréchures importantes. Rebord supérieur et ébréchures bien définis.		 	
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Polissage mat important sur toute la surface. Même les surfaces grasseuses. Le spécimen est lisse au toucher. Émoussage important des rebords et des ébréchures. Les taches grasseuses sont moins prononcées. Tache ovoïde plus foncée dans la section inférieure gauche. Les fissures superficielles ne sont plus visibles. Le F-1c écrit au feutre commence à disparaître. Le spécimen est lisse au toucher.			
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>			


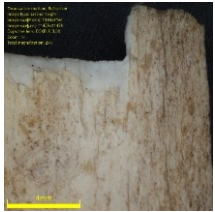

<p>Toute la surface est recouverte d'un poli mat très important. Le spécimen est très lisse au toucher. Les ébréchures sont très émoussées. La section ovoïde n'est plus visible. Le F-1c écrit au feutre est presque complètement disparu. Le spécimen est très lisse au touché. Micro : Surface très lisse et blanchie. Presque plus aucune trace des fissures. Les ébréchures sont moins prononcées. Le rebord supérieur est émoussé.</p>	
<p><b>Progression:</b></p>	
<p>Progression : Développement rapide d'un polissage après l'augmentation de la vitesse.</p>	
<p><b>Remarques:</b></p>	
<p>La perte des petites taches brunes est presque toujours la première modification visible</p>	

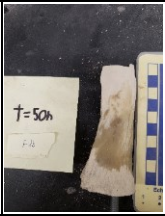

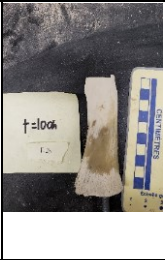

<p style="text-align: center;"><b>TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE</b></p>			
<p>Date:22-02-2021</p>	<p>Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM</p>		
<p>No d'échantillon: F-1d</p>	<p>Durée totale: 250 heures</p>		
<p>Vitesse du vent 7.6 m/s &gt;&gt; 11.7 m/s</p>	<p>Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X</p>		
<p>Granulométrie: #00</p>			
<p>Expérimentateur: Félix</p>			
<p><b>État initial:</b></p>		<p><b>Images macro</b></p>	<p><b>Images micro (24X)</b></p>
<p>Pas de polis. Longue enthèse musculaire sur la partie droite. Plusieurs petites ébréchures sur la face latérale droite. Présence d'un tubercule osseux important dans la section inférieure gauche avec plusieurs pores importants. Fissure linéaire superficielle de 47.5mm de longueur commençant à 6mm du côté gauche. Plusieurs petites fissures de surfaces dans la moitié inférieure.</p>			
<p><b>Description à 75 heures:</b></p>			
<p>Atténuation de la couleur du spécimen. Diminution de la quantité de pores et de fissures visibles surtout dans la section inférieure et sur le tubercule osseux, mais cette section demeure assez rugueuse. La fissure superficielle est toujours facilement visible.</p>			
<p><b>Description à 150 heures:</b></p>			

<p>Pas beaucoup de changement par rapport à t=75h. La section centrale est un peu plus lisse au toucher. Faible émoussage du rebord supérieur. Micro : Surface faiblement texturée. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Une fissure plus importante du côté gauche. Présence de quelques petites ébréchures. Rebord supérieur et ébréchures bien définis.</p>		
<p><b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>Polissage mat sur la section centrale et supérieure. Cette section est lisse au toucher. Diminution importante du nombre de pores et fissures visibles près du tubercule osseux et le l'enthèse musculaire. La section inférieure de la fissure superficielle n'est plus visible, réduisant sa longueur à 42mm. Émoussage important du rebord supérieur. Plusieurs des petites ébréchures ne sont plus visibles. Le F-1d écrit sur la section inférieure commence à disparaître.</p>		
<p><b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>Accentuation du polissage mat dans les sections centrale et supérieure. Ces sections sont très lisses au toucher. Les contours du tubercule sont de plus en plus polis. La fissure superficielle continue de perdre de la longueur et fait maintenant 36mm de longueur. Le F-1d continue à disparaître, avec le F étant maintenant difficile à identifier. Micro : Surface très lisse et blanchie. Plus de trace des fissures superficielles. La fissure plus importante est encore visible, mais semble moins profonde. Les ébréchures sont encore visibles, mais sont très émoussées.</p>		
<p><b>Progression:</b></p>		
<p>Développement rapide d'un polissage après l'augmentation de la vitesse. Disparition de plus en plus des textures et fissures de surface au fil du temps.</p>		
<p><b>Remarques:</b></p>		
<p>Même si la tubérosité est fortement modifiée, elle l'est beaucoup moins que le reste du spécimen.</p>		


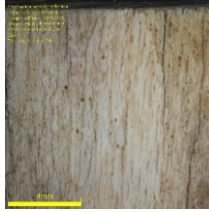


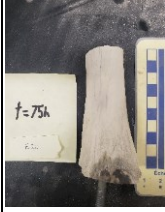
TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-2a	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Spécimen sec avec un rebord supérieur droit. Pas de polis. Projection osseuse sur la partie supérieure gauche de l'objet. 12.6mm de long, 2.5mm de haut et 3.6 à 1mm d'épais. Petite ébréchure sur la projection. Plusieurs fissures linéaires superficielles parallèles allant sur le sens de la longueur. Longueurs variables, mais certaines font presque tout l'os. Fissure plus importante sur la section de droite. Traverse toute la largeur de l'os. Plus visible sur la face interne (12.4mm de long). Causé par la scie à vibration. Insertion au centre de l'os avec plusieurs pores. Moitié inférieure de couleur plus foncée. Micro : Surface rugueuse de couleur beige à noir. Trois fissures superficielles clairement visibles. Rebord supérieur, droit et net. Insertion musculaire visible.</p>			
<b>Description à 25 heures:</b>			
<p>Blanchissage de l'os. De nombreux pores ne sont plus visibles, mais il en reste encore beaucoup. Faible émoussage du rebord supérieur. Initiation d'un poli mat, surtout visible sur la moitié supérieure. Le spécimen est un peu plus lisse au toucher.</p>			
<b>Description à 50 heures:</b>			
<p>Blanchissage additionnel. Polissage mat sur la majorité de la surface. Plus développé sur la moitié supérieure. Certaines des fissures superficielles, surtout celles de plus petites tailles, commencent à être effacées. L'insertion n'est presque plus visible. Diminution du nombre de pores visible. Émoussage additionnel du rebord supérieur. Le spécimen est lisse au toucher.</p>			
<b>Description à 75 heures:</b>			
<p>Polissage mat sur presque toute la surface, très développée sur la moitié supérieure. Seuls quelques pores sont encore visibles dans la section inférieure. Seules les fissures superficielles les plus grandes sont encore visibles. Émoussage important du rebord supérieur et des ébréchures.</p>			



<b>Description à 100 heures:</b>		
Le spécimen est très lisse au toucher. Le degré de polissage continue d'augmenter. Les fissures superficielles sont un peu moins visibles. Il reste encore quelques pores, mais uniquement à l'extrémité inférieure. Émoussage majeur du rebord supérieur et des ébréchures. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Les fissures superficielles sont moins visibles, celle plus à droit ne l'est plus. Émoussage important du rebord supérieur. L'insertion n'est plus distincte.		
<b>Progression:</b>		
Développement continu d'un polissage mat sur toute la surface. Le nombre de fissures superficielles et de pores diminue continuellement.		
<b>Remarques:</b>		
Le développement du spécimen est beaucoup plus régulier qu'avec les spécimens exposés à 2 vitesses différentes.		




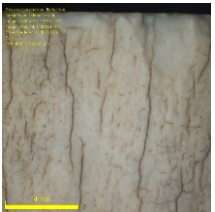

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-2b	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen sec avec un rebord supérieur droit. Pas de polis. Projection osseuse sur le rebord supérieur droit. 4.5 mm de long, 2.75 de haut et 2.5 à 1.25 de large. Colle sur une grande partie de la surface, mais pas dans la section supérieure. Petites ébréchures sur tout le rebord supérieur. Grand nombre de pores, surtout dans la section inférieure. Micro : Surface texturée de couleur blanche à brun. Présence de quelles ébréchures clairement visibles et de plusieurs petites fissures superficielles. Rebord supérieur droit et net			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage de la section supérieur (la ou il n'y a pas de colle). Diminution du nombre de pores dans la section inférieure. Initiation d'un polissage mat sur la partie supérieure. La colle a été séchée, mais recouvre toujours la même surface. Faible émoussage du rebord supérieur et des ébréchures.			


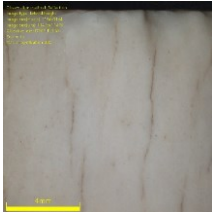
<b>Description à 50 heures:</b>		
Diminution de la surface recouverte par la colle. Polissage mat clair de la section supérieure. Diminution du nombre de pores dans la section inférieure. Les sections non recouvertes de colles sont lisses au toucher. Émoussage du rebord supérieur et des ébréchures.		
<b>Description à 75 heures:</b>		
La taille de la région polie continue d'augmenter au fur et mesure que la région avec de la colle perd de l'ampleur. La moitié supérieure est maintenant blanche, polie et lisse. Émoussage important du rebord supérieur. Diminution du nombre de pores à l'extrémité inférieure.		
<b>Description à 100 heures:</b>		
La moitié supérieure est maintenant très polie. Émoussage majeur du rebord supérieur. Les ébréchures ne sont presque plus visibles. La section supérieure est très lisse au toucher. Diminution du nombre de pores à l'extrémité inférieure. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Les fissures superficielles ne sont presque plus visibles. Émoussage important du rebord supérieur. Les ébréchures ne sont plus visibles.		
<b>Progression:</b>		
Il est possible de voir le polissage remplacer peu à peu la zone avec la colle. Augmentation continue du polissage dans la section supérieure.		
<b>Remarques:</b>		
La colle semble être très efficace à protéger le spécimen de l'abrasion.		




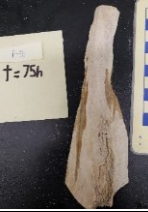





TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-2c	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen sec avec un rebord supérieur droit. Pas de polis. Couleur beige. Plusieurs petites ébréchures surtout sur la moitié supérieure droite. Plusieurs fissures superficielles parallèles. Présente sur toute la surface, mais plus nombreuses du côté gauche. Présence de colle près de l'extrémité inférieure. Plusieurs pores, dont certains de plus grande taille dans la section inférieure. Micro : Surface rugueuse de couleur blanche à brun. Présence de plusieurs petites fissures superficielles. Deux fissures plus importantes dans la section droite.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage du spécimen. Diminution importante du nombre de pores, surtout dans la partie supérieure. Faible émoussage du rebord supérieur et des ébréchures. Initiation d'un polissage mat sur la grande majorité de la surface. Un peu plus lisse au toucher.			
<b>Description à 50 heures:</b>			
Polissage mat partout sauf l'extrémité inférieure. Diminution du nombre de fissures superficielles visible. Émoussage du rebord supérieur et des ébréchures. Il ne reste plus de pores dans la moitié supérieure et moins dans la section inférieure. Surface est lisse au toucher.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Accentuation du polissage sur toute la surface. Il est très développé dans la section supérieure. La grande majorité des fissures superficielles ne sont plus visibles. Les ébréchures sont de moins en moins visibles à cause de l'émoussage. Surface très lisse au toucher.			




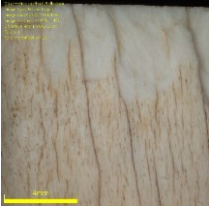

<b>Description à 100 heures:</b>		
<p>Polissage mat majeur sur presque toute la surface. Il ne reste que quelques fissures de visibles. Diminution importante du nombre de pores partout où il n'y a pas de colle. Certaines des ébréchures de plus petites tailles ne sont presque plus visibles. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Seules les fissures superficielles les plus importantes sont encore visibles. Émoussage important du rebord supérieur. Les ébréchures ne sont plus visibles. Présence d'une plaque plus pâle au centre de la zone étudié. Surface très lisse au toucher.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Développement continu d'un polissage mat sur toute la surface et de l'émoussage des rebords. Le nombre de fissures superficielles et de pores diminue continuellement.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Intéressant de penser aux origines potentielles de la plaque plus pâle visible sur la 2e image microscopique.</p>		



TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-3a	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Plusieurs petites ébréchures sur le rebord supérieur. Une ébréchure plus importante à 9mm du côté droit. Plusieurs fissures superficielles parallèles sur le sens de la longueur. Plusieurs petites taches brunes sur toutes la surface surtout du côté gauche.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Développement d'une section grasseuse importante dans la moitié inférieure droite causée par la colle. La moitié inférieure de la section grasseuse est plus foncée que la moitié supérieure. Atténuation des couleurs du spécimen rendant les fissures superficielles plus visibles. Diminution du nombre de taches brunes visibles.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Faible émoussage du rebord supérieur. Sinon pas grand changement par rapport à t=75h. Spécimen commence à être lisse au touché. Micro : Surface faiblement texturée. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Présence de plusieurs ébréchures. Rebord supérieur et ébréchures faiblement émoussées.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Développement d'un polissage mat important dans la moitié supérieure. Un polissage similaire, mais moins prononcé se retrouve dans la section inférieure gauche (là où il n'y a pas de tache grasseuse). Les sections polies sont très pâles, voire blanches et lisses au toucher. La section grasseuse perd de l'importance et devient plus pâle. Plusieurs des fissures superficielles sont moins visibles ou découpées en plusieurs sections plus courtes. Émoussage sur le rebord supérieur, l'ébréchure de plus grande taille n'est presque plus visible.			



<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Accentuation du polissage dans les sections supérieur et gauche. La majorité des fissures superficielles ne sont plus visibles. Le spécimen est très pâle et blanc sauf dans la section graisseuse. Polissage majeur dans le long du rebord droit dans la section supérieure. Aucune fissure n'est visible dans cette section. Émoussage important du rebord supérieur. Le spécimen est très lisse au toucher. L'ébréchure à 9mm du côté droit n'est plus visible. Micro : Surface lisse et blanchie. Seules quelques fissures superficielles sont encore visibles. Les ébréchures et le rebord supérieur sont très émoussés. Les ébréchures sont moins visibles.</p>		
<b>Progression:</b>		
Polissage rapide et émoussage important après l'augmentation de la vitesse.		
<b>Remarques:</b>		
La colle protège très efficacement la surface du spécimen		


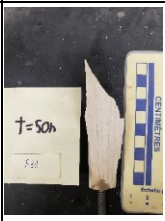
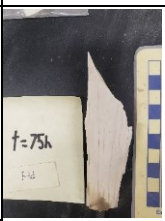
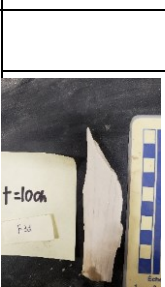

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-3b	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150,		
Granulométrie: #00	t150_24X, t200, t250,		
Expérimentateur: Félix	t250_24X		
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Pas de polis. Ébréchure importante sur le rebord supérieur gauche. 35.6mm de long, 3.5 de large et 1.1mm d'épais. Ébréchure similaire sur le rebord droit (difficile à mesurer). Ébréchures plus petites sur le rebord supérieur, surtout à l'extrémité des fissures. Plusieurs fissures superficielles parallèles sur le sens de la longueur. Tubérosité majeure dans la section centrale inférieure avec des textures importantes.</p>			

<p><b>Description à 75 heures:</b></p>		
<p>Atténuation de la couleur du spécimen qui est généralement plus pâle. Couleur beaucoup plus uniforme. Développement de taches graisseuses dans la section centrale droite et la moitié inférieure gauche causé par la colle. La tache le long du rebord gauche semble suivre l'une des fissures superficielles.</p>		
<p><b>Description à 150 heures:</b></p>		
<p>Diminution de l'importance de la tache graisseuse de côté droit. Le spécimen est un peu plus lisse au toucher. Peu de changement par rapport à t=75. Micro : Surface très texturée. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Deux fissures plus importantes avec la même orientation. Présence d'un enlèvement sur le rebord droit. Rebord supérieur bien défini.</p>		
<p><b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>Polissage mat sur la moitié supérieure. Léger émoussage des rebords et des ébréchures. Importante diminution dans la taille et la visibilité des taches graisseuses. La moitié supérieure est lisse au toucher. Le spécimen est beaucoup plus pâle et blanchâtre. La diminution de couleur et la disparition de certaines textures de petite taille rendent les fissures superficielles de plus grande taille plus visible.</p>		
<p><b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>Accentuation du polissage. La majorité du spécimen est maintenant recouvert d'un polissage mat, mais il demeure plus prononcé dans la moitié supérieure. Émoussage important du rebord supérieur, les ébréchures de plus petites tailles ne sont plus visibles. Le spécimen est très lisse au toucher. De très nombreuses petites fissures superficielles ne sont plus visibles. Micro : Surface lisse et blanche. Seules quelques fissures superficielles sont encore visibles. Les fissures plus importantes sont encore visibles, mais semblent moins profondes et prononcées. Émoussage du rebord des rebords. Émoussage très important de l'enlèvement.</p>		
<p><b>Progression:</b></p>		
<p>Développement rapide d'un polissage après l'augmentation de la vitesse. Il est de plus en plus facile de voir les fissures de plus grande taille à mesure que les autres disparaissent.</p>		
<p><b>Remarques:</b></p>		
<p>La tubérosité dans la section inférieure demeure relativement inchangée durant l'exposition.</p>		



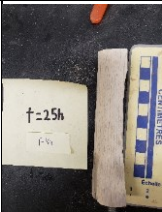
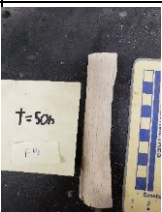
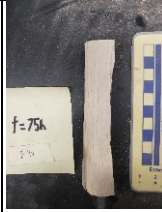
TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-3c	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Plusieurs ébréchures de tailles variables sur le rebord supérieur augmentant en taille de la gauche à la droite. Plusieurs fissures superficielles parallèles sur le sens de la longueur. Les fissures sont enlignées avec les ébréchures. Petites taches brunes sur toute la surface, surtout dans la section inférieure.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Formation de tache grasseuse brunâtre dans la section inférieure du spécimen causé par la colle. Atténuation de la couleur du spécimen. Diminution du nombre de taches brunes visible.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Faible émoussage du rebord supérieur et des ébréchures. Le spécimen est un peu plus lisse au toucher. Micro : Surface faiblement texturée. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Trois fissures plus importantes avec la même orientation. Plusieurs ébréchures importantes près du rebord supérieur. Rebord supérieur et ébréchures faiblement émoussées.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Développement d'un polissage mat sur tout le spécimen, sauf la zone grasseuse dans la section inférieure du spécimen. Le spécimen à une couleur pâle et blanchâtre et est lisse au toucher. Émoussage du rebord supérieur. Les ébréchures sont beaucoup moins prononcées. Seules les fissures superficielles de plus grande taille sont encore visibles. La zone grasseuse est moins collante et une couleur plus grisâtre.			


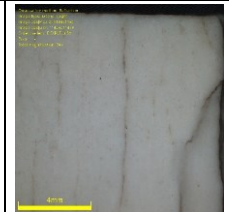
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Accentuation du polissage mat sur la majorité de la surface particulièrement du côté droit dans la section centrale. La majorité des fissures superficielles dans cette section ne sont plus visibles ou très difficiles à voir. Le spécimen est très lisse au toucher. L'émoussage du rebord supérieur et des ébréchures continue de s'accroître. Micro : Surface lisse et blanche. Seules quelques fissures superficielles sont encore visibles. Les fissures plus importantes sont encore visibles, mais semblent moins profondes et prononcées. Faible émoussage du rebord supérieur. Les ébréchures sont très émoussées et moins visibles.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Développement rapide d'un polissage après l'augmentation de la vitesse. Disparition des textures de surfaces et atténuation des fissures superficielles, particulièrement du côté droit.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>La tache de colle demeure importante pendant toute la durée de l'expérience.</p>		



TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-3d	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Spécimen sec. Pas de polis. Pointe très fine (1.5mm d'épaisseur vs 5.59 à 1cm). Plusieurs fissures superficielles presque parallèles sur le sens de la longueur. Elles s'éloignent les unes des autres plus elles se rapprochent du bord supérieur. Colle près de l'extrémité inférieure. Présence de nombreuses petites taches brunes sur toute la surface. 227 écrit au stylo sur le spécimen. Micro : Surface rugueuse de couleur blanche à brun. Rebord gauche droit. Il est facile de distinguer entre la face extérieure de l'os plus brunâtre et la partie intérieure de l'os plus blanchâtre qui a été exposé pendant la création du spécimen.</p>			



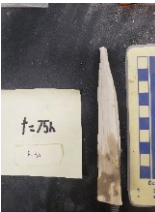

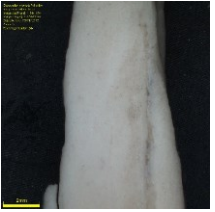
<b>Description à 25 heures:</b>		
Blanchissage du spécimen. Initiation d'un poli mat sur tout le spécimen. Le 227 n'est presque plus visible. Plus de taches brunes. Les fissures superficielles le sont encore cependant. Le spécimen commence à être au toucher. Surface un peu plus lisse au toucher. Faible émoussage des rebords.		
<b>Description à 50 heures:</b>		
Polissage mat sur toute la surface. Le spécimen est lisse au toucher. Les fissures superficielles commencent à être moins visibles. Faible diminution de la zone avec de la colle. Émoussage des rebords. Presque plus aucune trace du 227.		
<b>Description à 75 heures:</b>		
Presque plus aucune trace du 227. Accentuation du polissage sur toute la surface. Émoussage additionnel des rebords. Les fissures superficielles sont moins visibles. Le spécimen est plus lisse au toucher. Plus aucune trace du 227. Lisse au toucher.		
<b>Description à 100 heures:</b>		
Polissage majeur sur toute la surface. Les fissures superficielles restantes sont beaucoup moins visibles. Émoussage important des rebords, surtout visible, près de la pointe. Très lisse au touché. Le spécimen est très lisse au toucher. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Émoussage important des rebords. Il est très difficile de distinguer entre l'os externe et interne près de la pointe.		
<b>Progression:</b>		
Développement continu d'un polissage mat sur toute la surface et de l'émoussage des rebords. Le nombre et la visibilité des fissures superficielles diminuent continuellement.		
<b>Remarques:</b>		
L'émoussage de la pointe est très important et la pointe semble plus arrondie après l'abrasion.		





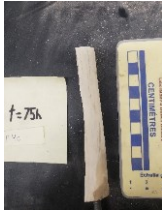




TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-4a	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen sec avec un rebord supérieur droit. Pas de polis. Plusieurs petites ébréchures sur le rebord supérieur. Souvent à l'extrémité des fissures. Plusieurs fissures superficielles parallèles sur le sens de la longueur. Présence de colle dans le coin inférieur gauche. Enlèvement important de la couche externe de l'os cortical près du rebord supérieur du côté droit. Micro : Surface rugueuse de couleur blanche à brun. Rebord supérieur droit avec quelques ébréchures. Facile de distinguer entre la couche externe de l'os cortical et l'os intérieur exposé par l'enlèvement. Plusieurs fissures superficielles de visibles.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage du spécimen. Initiation du polissage sur toute la surface. Le spécimen commence à être lisse au toucher. Faible émoussage des rebords.			
<b>Description à 50 heures:</b>			
Polissage mat sur toute la surface. Diminution du nombre de fissures superficielles de visibles. Accentuation de l'émoussage des rebords et de l'enlèvement. Le spécimen est lisse au toucher.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Polissage mat important sur toute la surface. Seules les fissures superficielles de plus grande taille sont encore visibles. Le spécimen est plus lisse au toucher. Émoussage important des rebords. Les ébréchures sur le rebord supérieur ne sont presque plus visibles.			




<b>Description à 100 heures:</b>		
<p>Polissage très important sur toute la surface. Encore moins de fissures superficielles de visibles. Émoussage majeur des rebords. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Émoussage important des rebords. Il est plus difficile de distinguer entre l'os externe et interne près de l'enlèvement.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Développement continu d'un polissage mat sur toute la surface et de l'émoussage des rebords. Le nombre et la visibilité des fissures superficielles diminuent continuellement.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Le spécimen est poli un peu moins vite que plusieurs autres.</p>		


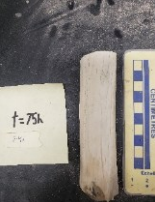


TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-4b	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75,		
Granulométrie: #0	t100, t100_x24		
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Spécimen sec avec une pointe. Pas de polis. Enlèvement important dans le coin supérieur droit sur le sens de la longueur. Plusieurs (2 principales) fissures superficielles parallèles sur le sens de la longueur. Aucune dans la section d'étude. Beaucoup de colle dans la moitié inférieure. Micro : Surface texturée de couleur blanche à brun. Facile de distinguer entre la couche externe de l'os cortical et l'os intérieur exposé par l'enlèvement. Plusieurs petites fissures superficielles de visibles. Rebords latéraux nets et clairs.</p>			


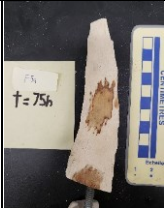



<b>Description à 25 heures:</b>		
Blanchissage sur spécimen. Initiation du polissage dans les sections sans colles. Faible émoussage des rebords et de l'enlèvement. Le spécimen commence à être lisse au toucher.		
<b>Description à 50 heures:</b>		
Polissage mat sur toute la surface sans colle. La surface recouverte de colle n'a pas encore changé. Certaines des fissures de plus petites tailles sont moins visibles. Émoussage des rebords et de l'enlèvement. Un peu plus lisse au toucher.		
<b>Description à 75 heures:</b>		
Accentuation du polissage et de l'émoussage. Seules les fissures superficielles les plus grosses sont encore visibles. Spécimen lisse au toucher.		
<b>Description à 100 heures:</b>		
Spécimen très poli avec un émoussage important des rebords. Le spécimen est très lisse au toucher. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Plus de fissures superficielles de visible. Émoussage important des rebords. Il est plus difficile de distinguer entre l'os externe et interne près de l'enlèvement.		
<b>Progression:</b>		
Développement continu d'un polissage mat sur toute la surface non recouverte de colle et de l'émoussage des rebords.		
<b>Remarques:</b>		
La surface recouverte de colle demeure constante pendant l'expérience, contrairement à d'autres spécimens.		


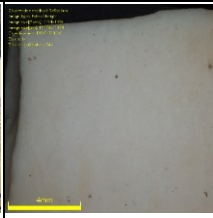
TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-4c	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen sec avec le rebord supérieur droit. Pas de polis. Ébréchure sur la section supérieure gauche. Plusieurs fissures superficielles parallèles sur le sens de la longueur dans la moitié gauche. Insertion près du rebord droit de Présence de colle dans le coin inférieur droit. Présence de petits pores, surtout sur la moitié droite du spécimen le long de l'insertion musculaire. Micro : Surface rugueuse de couleur blanche à brun. Rebord supérieur droit avec plusieurs ébréchures nettes et claires. Plusieurs petites fissures superficielles et pores de visibles. Insertion visible avec plusieurs pores.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage du spécimen. Initiation d'un polissage mat sur tout le spécimen (sauf ou il y a de la colle). Le polissage semble plus important près de l'insertion. Presque plus de pores de visibles. Faible émoussage des rebords et des ébréchures. Le spécimen commence à être lisse au toucher.			
<b>Description à 50 heures:</b>			
Polissage mat sur toute la surface. Diminution du nombre de fissures superficielles de visible. Émoussage des rebords et des ébréchures. Il commence à être plus difficile à distinguer les ébréchures. Le spécimen est plus lisse au toucher.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Accentuation du polissage sur toute la surface. Diminution dans la visibilité des fissures restante. La plupart des ébréchures ne sont presque plus visibles. Le spécimen est très lisse au toucher. Diminution de la zone avec de la colle.			

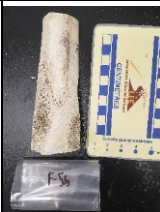

<b>Description à 100 heures:</b>		
Polissage mat majeur sur toute la surface exposée. Les ébréchures ne sont plus vraiment visibles. Il ne reste des traces que des fissures superficielles les plus importantes. Spécimen encore plus lisse au toucher. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Presque plus de fissures superficielles de visible. Émoussage important. Les ébréchures ne sont plus visibles. Plus de trace de l'insertion.		
<b>Progression:</b>		
Développement continu d'un polissage mat sur toute la surface non recouverte de colle et de l'émoussage des rebords.		
<b>Remarques:</b>		
Faible diminution de la zone avec de colle.		

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-4d	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen sec avec un rebord supérieur droit. Pas de polis. Plusieurs petites ébréchures sur le rebord supérieur. Plusieurs fissures superficielles parallèles sur le sens de la longueur dans la section de droite. Fissures superficielles en formes de T et d'Y dans la section de gauche. Présence de colle dans la section inférieure. Micro : Surface rugueuse de couleur blanche à brun. Rebord supérieur droit et net avec plusieurs ébréchures. Plusieurs petites fissures superficielles.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage du spécimen. Initiation d'un polissage mat sur tout le spécimen (sauf ou il y a de la colle). Faible émoussage des rebords et des ébréchures. Le spécimen commence à être lisse au toucher. Diminution de la zone avec de la colle.			





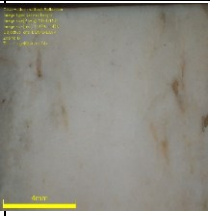
<p><b>Description à 50 heures:</b></p> <p>Polissage mat sur toute la surface. Diminution du nombre de fissures superficielles de visible. Émoussage des rebords et des ébréchures. Il commence à être plus difficile à distinguer les ébréchures. Le spécimen est plus lisse au toucher. Seules les fissures sur le sens de la longueur sont encore visibles.</p>		
<p><b>Description à 75 heures:</b></p> <p>Accentuation du polissage sur toute la surface, il est cependant plus important dans la section centrale. Diminution dans la visibilité des fissures restante. La plupart des ébréchures ne sont presque plus visibles. Le spécimen est très lisse au toucher. Diminution de la zone avec de la colle.</p>		
<p><b>Description à 100 heures:</b></p> <p>Polissage mat majeur sur toute la surface exposée. Il est toujours plus important dans la section centrale. Les ébréchures ne sont plus vraiment visibles. Il ne reste des traces qu'une petite partie des fissures superficielles. Spécimen encore plus lisse au toucher. Micro : Très lisse et presque uniformément blanc. Plusieurs fissures superficielles sont encore visibles. Émoussage important. Les ébréchures ne sont plus visibles.</p>		
<p><b>Progression:</b></p> <p>Développement continu d'un polissage mat sur toute la surface non recouverte de colle et de l'émoussage des rebords.</p>		
<p><b>Remarques:</b></p> <p>Le polissage semble plus important dans la section centrale du spécimen.</p>		






TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-5a	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Présence de nombreuses fissures superficielles parallèle sur le sens de la longueur du spécimen. Fissure plus importante à environ 2mm du rebord droit et commençant à 18mm du rebord supérieur. Petites taches brunes dans la partie supérieure et pores près du rebord inférieur.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Développement de zones grassesuses brunâtre dans les sections centrale et inférieure causées par la colle. Diminution du nombre de pores et taches brunes visible et atténuation de la couleur du spécimen.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Diminution dans l'importance de la zone grasseuse centrale. Le spécimen est un peu plus lisse au toucher. Faible émoussage du rebord supérieur. Initiation d'un poli mat dans la moitié supérieure. Micro : Surface faiblement texturée. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Plusieurs petites ébréchures le long du rebord supérieur. Rebord supérieur et ébréchures bien définis.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Développement d'un polissage mat sur la majorité de la surface. Le spécimen a maintenant une couleur pâle et blanchâtre. Plus de taches brunes, presque plus de pores et les fissures superficielles ne sont plus visibles. Seule la fissure près du rebord droit est encore clairement visible. Les zones grassesuses ne sont plus collantes et ont une couleur grisâtre. Émoussage du rebord supérieur. Spécimen lisse au toucher.			

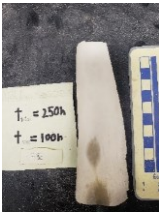
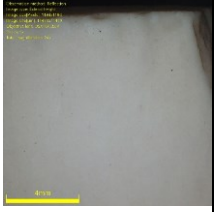
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
Accentuation du polissage, particulièrement dans la section supérieure. Seule la fissure près du rebord droit est encore visible. Le spécimen est très lisse au toucher. Émoussage important du rebord supérieur. Spécimen très lisse au touché. Micro : Surface très lisse et blanchie. Plus de traces des fissures superficielles ou des ébréchures. Rebord supérieur émoussé.		
<b>Progression:</b>		
Développement rapide du polissage et disparition des textures et fissures après l'augmentation de la vitesse du vent.		
<b>Remarques:</b>		
Polis très prononcés dans la section supérieure.		


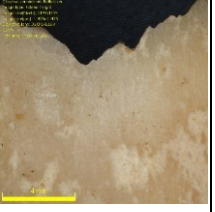

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-5b	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Plusieurs petites ébréchures sur le rebord supérieur du côté gauche. Plusieurs fissures de petites tailles et autres textures de surfaces sur la majorité du spécimen. La moitié inférieure gauche est très rugueuse. La section centrale supérieure est délimitée par deux insertions musculaires. Fissure importante dans le sens de la longueur linéaire à 14.5mm du rebord gauche. 43.6mm de long. Traverse toute l'épaisseur de l'os. Fissure importante courbée dans la section inférieure droite. Traverse toute l'épaisseur de l'os. 10.3 mm du rebord droit à son plus loin et 37.3mm entre la base et le point le plus haut. Un morceau d'os pourrait être enlevé. Tubérosité très texturée dans la section inférieure gauche.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Atténuation de la couleur du spécimen. Certaines des fissures de surfaces sont un peu moins visibles. Développement d'une zone grasseuse dans la section inférieure centrale causé par la colle.			


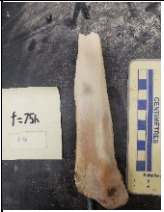

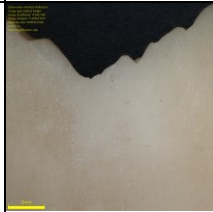


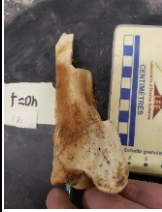
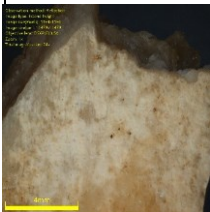



<b>Description à 150 heures:</b>		
<p>Le spécimen est un peu plus lisse au toucher sur dans la section centrale de la moitié supérieure. Le F-5b inscrit à la base du spécimen commence à être érodé, mais est encore facilement visible. Initiation de polissage entre les deux insertions musculaires. Micro : Surface très texturée. Présence d'une insertion le long du côté gauche. Plusieurs fissures superficielles allant dans toutes les directions. Petites ébréchures le long du rebord supérieur. Rebord supérieur et ébréchures bien définis.</p>		
Description à <b>200 heures</b> (50 heures à 11.7m/s):		
<p>Développement d'un poli mat sur la moitié supérieure et droite du spécimen. Les sections polies ont une couleur pâle et blanchâtre. Le polissage est particulièrement marqué dans la section centrale entre les deux insertions. Cette section est lisse au toucher. Émoussage du rebord supérieur et des ébréchures. Le F du F-5b n'est presque plus visible. La majorité des textures et fissures de surface ne sont plus visibles. La section qui pouvait être enlevée dans la section inférieure droit est tombée.</p>		
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Accentuation du polissage sur la majorité de la surface. Seule la zone très rugueuse dans la section inférieure gauche n'est pas polie. Émoussage prononcé du rebord supérieur et des ébréchures. La très grande majorité des fissures et textures de surface ne sont plus visibles. La section entre les deux insertions musculaires demeure la plus polie et est très lisse au toucher. Micro : Surface lisse et blanchie. Plus de traces des fissures superficielles ou des ébréchures. Rebord supérieur émoussé. L'insertion est beaucoup moins visible.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Développement rapide du polissage après l'augmentation de la vitesse. Vitesse de polissage très variable selon la section.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>: La section plus rugueuse ne semble que légèrement affectée par l'abrasion. Le morceau qui est tombé a été préservé afin de conserver la masse totale du spécimen.</p>		



TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-5c	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Projection osseuse sur la section gauche du rebord supérieur. 11.5mm de long, 2mm de haut et 1.85mm de large. Ébréchures sur la section droite du rebord supérieur. Plusieurs petites fissures près du rebord droit dans la section inférieure sur le sens de la largeur. Quelques fissures superficielles sur le sens de la longueur, surtout dans la section centrale. Plusieurs petites taches brunes sur toute la surface.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Développement de deux zones grassieuses dans la section centrale inférieure. La plupart des petites taches brunes sont disparues. Atténuation de la couleur du spécimen. Émoussage potentiel du rebord supérieur et des ébréchures.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Faible émoussage du rebord supérieur et des ébréchures. Sinon pas grand changement par rapport à t=75h. Micro : Surface très texture. Plusieurs fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os. Plusieurs petites ébréchures le long du rebord supérieur. Rebord supérieur et ébréchures faiblement émoussées.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Développement d'un polissage mat sur la majorité de la surface surtout dans la moitié supérieure. Le spécimen est pâle et blanchâtre. Disparition de la majorité des fissures superficielles longitudinales dans la moitié supérieure. Accentuation de l'émoussage des ébréchures et du rebord supérieur. Les zones grassieuses sont grisâtres et moins collantes. Le spécimen est lisse au toucher.			



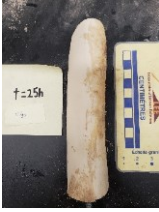
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
Accentuation du polissage sur la majorité de la surface. Il n'y a presque aucune fissure ou texture visible sur la moitié supérieure. La moitié supérieure est très lisse au toucher. Émoussage important du rebord supérieur avec plusieurs des ébréchures n'étant plus visibles. Micro : Surface très lisse et blanchie. Plus de traces des fissures superficielles et presque plus de traces des ébréchures. Rebord supérieur et ébréchures très émoussées.		
<b>Progression:</b>		
Développement rapide d'un polissage, surtout dans la section supérieure après l'augmentation de la vitesse.		
<b>Remarques:</b>		
La section inférieure semble avoir été moins affectée par l'abrasion. Peut-être puisqu'elle était souvent cachée par le sable.		


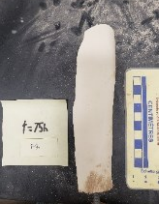


TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-6a	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen frais avec un rebord supérieur irrégulier dentelé avec plusieurs petites pointes. Pas de polis. Majoritairement blanchâtre avec quelque sections brun-jaunâtre. Tubérosité près de l'extrémité inférieure. Présence de nombreux petits pores, surtout dans la section inférieure. Présence de plusieurs taches plus foncées le long du côté droit. 2 fissures dans la section inférieure gauche. Micro : Surface relativement lisse. Quelque plaque plus pâle dans la section inférieure. Pointes et ébréchure facilement visible sur le rebord supérieur.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage du spécimen. Polissage mat sur toute la surface. Plus marqué dans la section supérieure. Disparition de toutes les taches plus foncées. Diminution du nombre de pores visibles. Faible émoussage du rebord supérieur. Le spécimen commence à être plus lisse au toucher.			




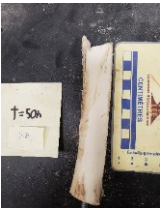

<b>Description à 50 heures:</b>		
Augmentation du polissage sur toute la surface et de l'émoussage du rebord supérieur. Le spécimen est lisse au toucher.		
<b>Description à 75 heures:</b>		
Poli mat sur toute la surface. Il est toujours plus visible dans la section supérieure. Émoussage plus important du rebord supérieur.		
<b>Description à 100 heures:</b>		
Faible accentuation du polissage sur toute la surface. Émoussage plus prononcé. Le spécimen est très lisse au toucher. Micro : Surface très lisse est blanchie. Émoussage important du rebord. Surface plus uniforme		
<b>Progression:</b>		
Progression de polissage moins visible que pour plusieurs autres spécimens après son initiation. Il apparaît rapidement, mais se développe moins rapidement par la suite visiblement par la suite.		
<b>Remarques:</b>		
L'évolution du polissage semble plus difficile à décrire qualitativement pour les spécimens frais.		

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-7a	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Spécimen frais avec une forme très irrégulière de couleur brun-jaunâtre. Présence d'une épiphyse complète dans la section inférieure. Pas de polis. La pointe est composée d'une projection osseuse d'environ 2cm de large par 3cm de hauteur. Plusieurs pores de plus grande taille sur l'épiphyse. Micro : Surface relativement lisse. Pointes et petites ébréchures visibles sur le rebord supérieur. Rebord supérieur bien défini.</p>			
<b>Description à 25 heures:</b>			
<p>Développement d'un polissage mat sur tout le spécimen, mais plus prononcé sur la diaphyse. Blanchissage de la projection osseuse. Diminution du nombre de pores visible. Faible émoussage des rebords. La moitié supérieure commence à être plus lisse au toucher.</p>			
<b>Description à 50 heures:</b>			
<p>Faible augmentation du polissage sur toute la surface. Augmentation plus prononcée sur la métaphyse. Émoussage additionnel des rebords.</p>			
<b>Description à 75 heures:</b>			
<p>Peu de différence par rapport à t=50 heures. Émoussage additionnel des rebords.</p>			



<b>Description à 100 heures:</b>		
<p>Peu de changement au niveau du degré de polissage. La moitié supérieure du spécimen est très lisse au toucher. Émoussage additionnel des rebords. Micro : Blanchissage très prononcé. Il est possible de voir une série de vallées qui n'était soit pas visible soit pas présent avant. Émoussage important des rebords et disparition des ébréchures.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Développement rapide d'un polissage mat dans la partie supérieure, mais ne change pas beaucoup après les premiers 50 heures d'exposition.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Développement potentiel de stries micros sur le sens de la longueur à la suite de l'exposition</p>		



TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-8a	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Spécimen sec avec une pointe arrondie. Quelques petites ébréchures le long du rebord supérieur. Enlever le périoste a donné un aspect lustré et plus blanc à plusieurs endroits particulièrement dans la partie supérieure gauche. Il reste encore une fine couche de périoste du côté droit. Micro : Section lustrée après l'enlèvement du périoste. On peut encore voir des filaments de périoste. Couleur blanchâtre. Rebord supérieur bien défini.</p>			
<b>Description à 25 heures:</b>			
<p>Blanchissage du spécimen du côté gauche. Initiation d'un polissage mat dans la moitié gauche du spécimen. Enlèvement de beaucoup de périoste à droite, mais il en reste encore. Le côté gauche est plus lisse au toucher. Faible émoussage du rebord supérieur.</p>			






<b>Description à 50 heures:</b>		
<p>Presque tout le spécimen est maintenant blanc et montre un polissage mat. Il ne reste qu'une petite partie du périoste initial surtout dans la section inférieure et près du rebord droit. Certaines des ébréchures ne sont plus visibles.</p>		
<b>Description à 75 heures:</b>		
<p>Accentuation du polissage et de l'émoissage. Tout le spécimen est lisse au toucher. Il reste encore un peu de périoste dans la section inférieure.</p>		
<b>Description à 100 heures:</b>		
<p>Polissage mat important sur toute la surface sauf la où il reste encore un peu de périoste. Rebord supérieur très émoissé. Micro : Surface très lisse est blanchie. Plus de traces du périoste ou de la section plus lustrée. Rebord émoissé.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Développement rapide d'un polissage là où il y avait moins de périoste (25h), mais cela prend plus de temps dans les sections avec du périoste (50 heures).</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Le périoste semble fournir une certaine protection, même si la majorité est enlevée assez vite, il en reste encore après 100 heures.</p>		






TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-8b	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Spécimen sec avec une pointe irrégulière. Projection osseuse importante sur le côté gauche. Section polie sur le côté gauche composé de multiples stries perpendiculaires au sens de la longueur de 13.5mm de long par 10.5mm de large à 38mm du rebord inférieur. Rebord supérieur très irrégulier avec de multiples pointes et enlèvements. Long enlèvement de forme triangulaire à l'extrême gauche de 28mm de longueur. Il reste une fine couche de périoste sur une partie important de l'os.</p> <p>Micro : Section lustrée composée de multiples stries après l'enlèvement du périoste. On peut encore voir des filaments de périoste. Couleur blanche à brun. Rebord supérieur bien défini.</p>			
<b>Description à 25 heures:</b>			
<p>Blanchissage de tout le spécimen. Enlèvement de la majorité du périoste restant. Initiation d'un polissage mat dans les sections avec moins de périoste.</p>			
<b>Description à 50 heures:</b>			
<p>Polissage mat sur presque toute la surface. Émoussage du rebord supérieur et de la pointe. Le spécimen est généralement lisse au toucher.</p>			
<b>Description à 75 heures:</b>			
<p>Légère accentuation du polissage sur toute la surface. Enlèvement de périoste additionnel. Il commence à être plus difficile de distinguer la section initialement polie du reste du spécimen. Émoussage additionnel des rebords.</p>			





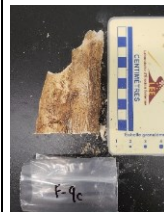

<b>Description à 100 heures:</b>		
<p>La section initialement polie n'est plus visible. Spécimen très lisse au toucher sauf ou il reste encore un peu de périoste. Émoussage important des rebords. Micro : Surface très lisse est blanchie. Plus de traces du périoste, de la section plus lustrée ou des stries la composant. Rebord émoussé. Enlèvement d'une section d'os important près de la base de la pointe.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Développement rapide d'un polissage et de l'émoussage des rebords. La vitesse à laquelle le périoste est enlevé est beaucoup plus grande au début de l'expérience.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Première fois qu'un enlèvement d'une telle quantité d'os est observé au microscope.</p>		


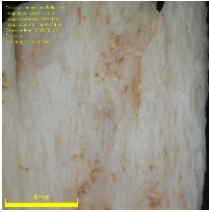



TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 22-02-21	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-8c	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Spécimen sec avec une forme en pointe. 3 sections polies sur la section inférieure droite. Elles sont toutes composées de multiples stries rapprochées qui sont perpendiculaires au sens de la longueur de l'os. La plus grosse se situe à 44mm du rebord inférieur et fait 22mm de longueur par 12mm de largeur. La deuxième se situe 34 du rebord inférieur et 8mm du rebord droit et fait 6mm de longueur par 5mm de largeur. La première couche d'os cortical est enlevée sur toute la pointe et jusqu'à 66mm de la pointe supérieure du côté gauche. Il reste du périoste sur une bonne partie du spécimen, surtout près de la base de la pointe. Micro : Surface un peu rugueuse de couleur blanche. Les rebords sont bien définis et il est possible de voir plusieurs petites vallées.</p>			


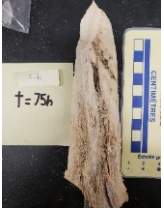



<b>Description à 25 heures:</b>		
Blanchissage de la majorité du spécimen. Enlèvement d'une grande quantité de périoste. Initiation d'un polissage mat là où il n'y a plus de périoste. Il est plus difficile de distinguer les zones polies et les stries les compensant. Faible émoussage des rebords et de la pointe.	 A photograph of a specimen at 25 hours. The specimen is a light-colored, elongated object with a pointed tip. It is placed next to a blue and white ruler for scale. A small white label with the text 't=25h' is visible to the left of the specimen.	
<b>Description à 50 heures:</b>		
Polissage mat sur la majorité de la surface. Les zones polies composées de stries ne sont presque plus visibles. Un peu de périoste additionnel a été enlevé. Le spécimen est lisse au toucher là où il n'y a pas de périoste. Émoussage additionnel des rebords et de la pointe.	 A photograph of a specimen at 50 hours. The specimen is similar to the one at 25 hours but appears smoother. A small white label with the text 't=50h' is visible to the left of the specimen.	
<b>Description à 75 heures:</b>		
Polissage important sur presque toute la surface. Il ne reste que du périoste à l'extrémité inférieure et près de la base de la pointe. Les zones initialement polies ne sont plus distinguables du reste du spécimen. Pointe et rebords très émoussés.	 A photograph of a specimen at 75 hours. The specimen is even smoother and more rounded at the tip. A small white label with the text 't=75h' is visible to the left of the specimen.	
<b>Description à 100 heures:</b>		
Faible augmentation du polissage et de l'émoussage. Micro : Surface lisse et très blanche. Plus de vallées visibles. Émoussage important de la pointe.	 A photograph of a specimen at 100 hours. The specimen is very smooth and white. A small white label with the text 't=100h' is visible to the left of the specimen.	 A microscopic view of the specimen at 100 hours. The surface is very smooth and white. A yellow scale bar is visible at the bottom left of the image.
<b>Progression:</b>		
Développement rapide d'un polissage et de l'émoussage des rebords. La vitesse à laquelle le périoste est enlevé est beaucoup plus grande au début de l'expérience. Les zones initialement polies sont rapidement cachées par du polissage additionnel.		
<b>Remarques:</b>		
L'abrasion a enlevé presque toute trace des polis initiaux.		



TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-9a	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Enlèvement important de forme triangulaire de la première couche d'os sur le rebord supérieur gauche (juste à droite de la courbe de l'os). Fais presque tout le rebord supérieur avec une taille maximale à gauche et minimale à droite. Il reste un peu de périoste sur la surface donnant une couleur brunâtre au spécimen.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Atténuation de la couleur de l'os. La majorité du périoste restant a été enlevé. Section inférieure plus rugueuse avec plusieurs pores maintenant visibles sans périoste.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
La majorité du périoste restant a été enlevé. Faible émoussage du rebord supérieur. Initiation d'un poli mat sur la majorité de la surface. Diminution du nombre de pores visible dans la section inférieure de l'os. Micro : Surface très texturée. Plusieurs petites vallées parallèles au sens de la longueur de l'os. Présence d'un enlèvement du côté gauche. Rebords faiblement émoussés.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Augmentation claire du degré de polissage sur toute la surface. La grande majorité du spécimen est maintenant recouvert d'un polissage mat. Le spécimen a maintenant une couleur pâle et blanchâtre et est lisse au toucher. Émoussage important du rebord supérieur et de l'enlèvement de forme triangulaire. Il ne reste presque aucun périoste. La majorité des textures dans les sections inférieures ne sont plus visibles. Le spécimen à une allure plus uniforme.			




<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
Accentuation du polissage et de l'émoussage du rebord supérieur. Même la section inférieure montre un polissage significatif avec seulement quelques textures encore visibles. Micro : Surface très lisse et blanchie. Plus de traces des vallées. Émoussage important des rebords et de l'enlèvement.		
<b>Progression:</b>		
Développement d'un polissage même avant l'augmentation de la vitesse du vent, mais devient plus significatif après.		
<b>Remarques:</b>		
L'abrasion éolienne semble très efficace pour enlever le périoste.		




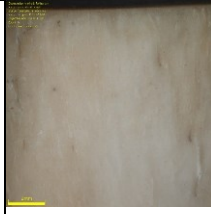
TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-9b	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pointe irrégulière. Spécimen sec. Il reste une quantité significative de périoste sur la partie inférieure droite. Là où le périoste a été enlevé (moitié droite de l'objet avant la courbe de l'os), la surface semble lustrée et réfléchit la lumière. Le rebord supérieur montre plusieurs ébréchures, dont l'une, de forme triangulaire à l'extrémité droite.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Blanchissage d'une grande partie de la surface. Partiellement causé par l'enlèvement additionnel de périoste manuellement avant l'exposition. Il est resté encore dans la section inférieure droite du spécimen. Il y a une petite zone grasseuse au centre du spécimen causé par la colle.			

<p><b>Description à 150 heures:</b></p>		
<p>Peu de changement par rapport à <math>t=75h</math>. Faible diminution de la taille de la zone grasseuse. Le spécimen est un peu plus lisse au toucher. Micro : Surface très texture. Présence d'une fissure importante du côté gauche. Plusieurs petites dépressions dans la partie centrale. Rebord supérieur bien défini.</p>		
<p><b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>Polissage mat sur la totalité de la surface non recouverte de périoste. La section supérieure du périoste initial a été enlevée par l'abrasion. Les sections, qui avaient du périoste, sont plus blanche que celles qui n'en avait pas. Il y a une démarcation claire. Disparition de la zone grasseuse. Émoussage prononcé des rebords. Le spécimen est lisse au toucher.</p>		
<p><b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>Accentuation du polissage sur toute la surface et de l'émoussage des rebords. Un peu plus de périoste a été enlevé. La démarcation entre les zones avec et sans périoste est encore présente, mais moins prononcée. Le spécimen est très lisse au toucher. Micro : Surface plus lisse et blanchie. Les dépressions centrales ne sont plus visibles. La fissure à gauche est toujours visible. Émoussage des rebords.</p>		
<p><b>Progression:</b></p>		
<p>Développement rapide d'un polissage mat après l'augmentation de la vitesse. Diminution continue de la quantité de périoste présent.</p>		
<p><b>Remarques:</b></p>		
<p>L'abrasion éolienne peut enlever le périoste présent sur un os, mais le fait plus lentement avec ce spécimen.</p>		


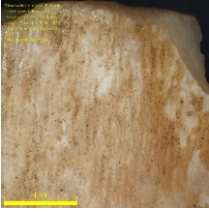


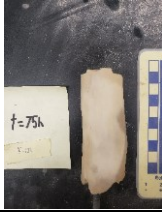


TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-9c	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen sec et pointu. La pointe est composée d'une série de stries perpendiculaire au sens de la longueur de l'os. Semble avoir été causé par une scie. La section sciée fait 48mm de longueur et a une largeur maximale de 16.5mm. Il reste une quantité significative de périoste dans la section inférieure droite.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Faible décoloration de la majorité du spécimen. Une partie du périoste a été enlevé à la main avant l'exposition. Certaines des stries dans la section sciée sont moins visibles.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Pas beaucoup de changement avec t=75h. Faible émoussage des rebords du spécimen. Micro : Surface très texture. Présence de plusieurs stries perpendiculaire au sens de la longueur de l'os. Faible émoussage des rebords.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Développement d'un polissage mat sur toute la surface non recouverte de périoste. La majorité des stries ne sont plus visibles. Il est de plus en plus difficile et distingué entre la section qui était initialement sciée et celle qui ne l'était pas. Une partie du périoste a été enlevé. Émoussage prononcé des rebords. Les sections sans périoste sont lisses au toucher.			
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>			

<p>Accentuation du polissage sur toute la surface libre de périoste et de l'émoussage des rebords. Enlèvement d'un peu plus de périoste. Il n'y a presque plus de stries dans la section sciée. La différence entre la section sciée et non sciée est maintenant minimum. Micro : Surface très lisse et blanchie. Plus de traces des stries. Émoussage important des rebords.</p>		
<p><b>Progression:</b></p>		
<p>Développement rapide d'un polissage mat après l'augmentation de la vitesse.</p>		
<p><b>Remarques:</b></p>		
<p>L'abrasion éolienne peut effacer les stries liées à l'utilisation ou la fabrication.</p>		

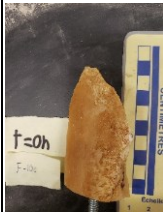
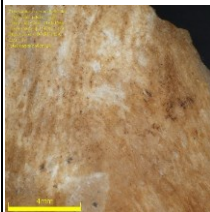


<p style="text-align: center;"><b>TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE</b></p>			
<p>Date: 25-02-2021</p>	<p>Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM</p>		
<p>No d'échantillon: F-10a</p>	<p>Durée totale: 100 heures</p>		
<p>Vitesse du vent: 11.7m/s</p>	<p>Photos:</p>		
<p>Granulométrie: #0</p>			
<p>Expérimentateur: Félix</p>			
<p><b>État initial:</b></p>		<p><b>Images macro</b></p>	<p><b>Images micro (24X)</b></p>
<p>Spécimen frais. Plus brun-jaunâtre dans la section inférieure. Plus blanc dans la section supérieure. Pas de polis. Rebord supérieur très droit sauf pour quelques petites ébréchures à gauche. Présence de 2 insertions dans la partie centrale. Les insertions ont plusieurs petits pores. Micro : Couleur beige à brun. Très rugueux. L'insertion est bien visible à gauche. Présence d'une dépression de forme irrégulière près du rebord supérieur.</p>			
<p><b>Description à 25 heures:</b></p>			
<p>Blanchissage de tout le spécimen surtout dans la section supérieure. Les pores sur les insertions sont plus visibles. Début d'un polissage mat sur toute la surface plus prononcée dans la section centrale.</p>			



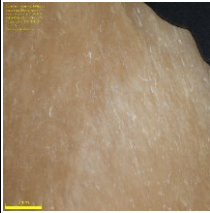
<b>Description à 50 heures:</b>		
Polissage mat sur toute la surface. Émoussage du rebord supérieur. Diminution du nombre de pores de visible. Lisse au toucher.		
<b>Description à 75 heures:</b>		
Accentuation du polissage et de l'émoussage. Polissage plus important dans la section centrale. Encore moins de pores de visible. Plus lisse au toucher.		
<b>Description à 100 heures:</b>		
Des parties des insertions commencent à être plus difficiles à voir. Seule une petite partie des pores sont encore visibles. Très lisse au toucher. Micro : Surface lisse et très banche. Plus de trace de la dépression. La majorité des traces de l'insertion ne sont plus visibles.		
<b>Progression:</b>		
Développement rapide d'un poli puis évolution plus lente. Diminution du nombre de pores et de la visibilité des insertions avec le temps.		
<b>Remarques:</b>		
Avec assez de temps même des structures très apparentes comme des insertions peuvent se faire effacer avec l'abrasion		





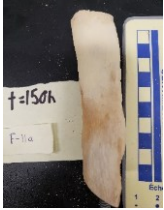
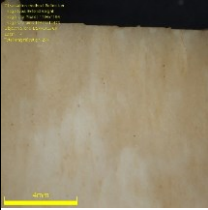


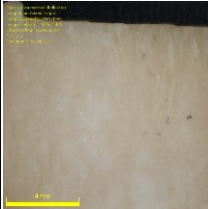
TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 25-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-10b	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen frais de couleur brun-jaunâtre. Pas de polis. Rebord supérieur droit avec une projection osseuse importante au centre du rebord supérieur (21.2 mm de long, 4.1 de largeur maximale et 3.6mm de hauteur max. Quelques petites ébréchures. Micro : Couleur beige à brun. Présence de nombreuses vallées parallèle au sens de la longueur de l'os. Le rebord supérieur est bien défini.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage de tout le spécimen. Début d'un polissage mat sur toute la surface. Faible émoussage du rebord supérieur. Surface un peu plus lisse au toucher.			
<b>Description à 50 heures:</b>			
Blanchissage et polissage additionnel de toute la surface. Rebord supérieur plus émoussé.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Faible polissage et émoussage additionnel de toute la surface.			
<b>Description à 100 heures:</b>			
Peu de changement par rapport à t=75h. Micro : Surface lisse et très banche. Les vallées ne sont plus visibles. Émoussage important du rebord supérieur.			




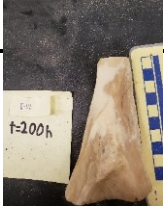
<b>Progression:</b>
Apparition rapide d'un poli qui change lentement par la suite
<b>Remarques:</b>
L'évolution macroscopique des spécimens frais semble plus lente/plus difficile à observer après la première phase de polissage rapide.


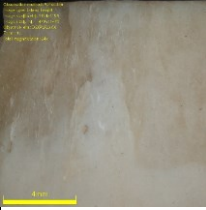
TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 25-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-10c	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen frais avec un rebord supérieur en pointe. Pas de polis. Couleur généralement très foncée. Stries sur la partie centrale (26mm sous la pointe et à 16.6mm du rebord gauche) de 1.2mm de large et 9.7mm de long. Surface plus rugueuse du côté droit. Micro : Couleur beige à brun. Présence de dépression plus pâle. Le rebord supérieur est bien défini.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Blanchissage de tout le spécimen, surtout près du côté droit. Début d'un polissage sur tout le spécimen. Faible émoussage des rebords. Les stries ne sont presque plus visibles.			
<b>Description à 50 heures:</b>			
Polissage mat sur toute la surface. Plus de traces des stries. Émoussage plus important du rebord supérieur. Spécimen est lisse au toucher.			


<b>Description à 75 heures:</b>		
Petite augmentation du degré de polissage et d'émoussage.		
<b>Description à 100 heures:</b>		
Peu de changement visible par rapport à t=75. Micro : Couleur plus uniforme beige/brune. Plus de traces des dépressions, plus pâles. Plus lisse. Émoussage prononcé du rebord supérieur.		
<b>Progression:</b>		
Apparition rapide d'un poli qui change lentement par la suite. Les stries sont disparues assez rapidement.		
<b>Remarques:</b>		
L'abrasion a fait disparaître toute trace macroscopique des stries sur la surface de l'os.		

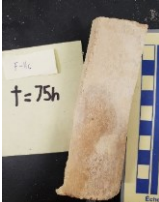





TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-11a	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen frais avec un rebord supérieur plat. Pas de polis. Projection osseuse sur le rebord supérieur du côté gauche. Fais 15.5mm de long, 4mm de largeur (max) et 3mm de hauteur (max). Couleur tachetée, brun et blanc.			
<b>Description à 75 heures:</b>			




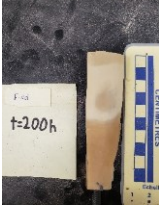
<p>Changement de couleur marqué dans la moitié supérieure du spécimen. Cette section est beaucoup plus blanche et uniforme qu'avant l'exposition.</p>		
<p><b>Description à 150 heures:</b></p>		
<p>Faible polissage mat et émoussage du rebord supérieur et des ébréchures. Le spécimen commence à être lisse au toucher. Micro : Surface assez lisse. Rebord supérieur faiblement émoussé.</p>		
<p><b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>Polissage mat sur toute la surface. Une zone circulaire plus foncée est maintenant visible au milieu de la moitié supérieur. Le spécimen est plus lisse au toucher. Le rebord supérieur est plus émoussé.</p>		
<p><b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b></p>		
<p>La zone circulaire plus foncée est maintenant très visible. Accentuation du poli. L'émoussage du rebord supérieur est plus prononcé. Micro : Relativement peu de changement. Faible blanchissage. Zone plus texturée près du rebord supérieur du côté droit. La surface est plus lisse.</p>		
<p><b>Progression:</b></p>		
<p>Il y a un plus petit contraste entre le polissage avant et après le changement de vitesse que pour plusieurs autres spécimens.</p>		
<p><b>Remarques:</b></p>		
<p>Plus faible degré de différence observé que sur plusieurs autres spécimens. Surtout au niveau microscopique.</p>		

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-11b	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Rebord supérieur plat. Spécimen frais et de couleur brun-jaunâtre. Pas de polis. Rebord supérieur très droit sauf pour une petite ébréchure à l'extrême gauche. Fissure formant un demi-cercle avec un diamètre de 30mm sur le côté droit. Commence à 22mm du rebord supérieur. À son maximum elle est à 13.5mm du côté droit. Présence d'une grande tubérosité sur la section inférieure.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Blanchissage du spécimen. La différence est surtout notable dans les sections plus jaunâtres. Il est plus sec au toucher. La tubérosité semble plus lisse.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Faible émoussage des rebords. Le spécimen est un peu plus lisse au toucher. Perte de textures additionnelles sur la tubérosité. Micro : Surface assez lisse. Rebord supérieur faiblement émoussé. Petites ébréchures près du rebord supérieur. Quelques fissures superficielles parallèles au sens de la longueur de l'os.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Développement d'un polissage mat sur toute la surface. Les sections qui ont été blanchies sont maintenant d'une couleur brune beaucoup plus prononcée. Émoussage des rebords. Le spécimen est lisse au toucher. Perte de la majorité des textures de la tubérosité.			


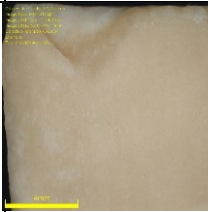
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Accentuation du polissage mat sur toute la surface. Le spécimen est très lisse au toucher. Diminution de l'intensité de la couleur des sections brunes. Ils sont maintenant très mats. Perte additionnelle de texture sur la tubérosité. Même la tubérosité commence à être lisse au toucher. Micro : faible blanchissage. Zone plus texturée dans la région centrale. Disparition des fissures superficielles. Rebord supérieur plus émoussé.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Changement de couleur assez drastique pendant l'expérience. Cela passe d'un brun jaunâtre à une couleur plus blanchâtre puis à nouveau un brun pour finir avec un brun très mat.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>La fissure ne semble pas avoir été affectée sur ce spécimen. Cela contraste avec ce qui est observé sur plusieurs autres spécimens. Le spécimen devient aussi plus foncé avec le temps, ce qui est particulier.</p>		

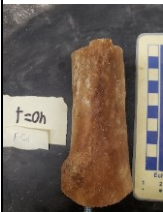


TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-11c	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
<p>Rebord supérieur plat. Spécimen frais. Pas de polis. Ébréchure sur le rebord supérieur à l'extrême droite de 9mm de longueur par 2.5mm de hauteur (max). Couleur brun-jaunâtre surtout dans la partie inférieure et le long du rebord droit. Présence d'une insertion musculaire dans la moitié supérieure gauche avec plusieurs pores.</p>			

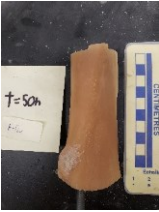



<b>Description à 75 heures:</b>		
Blanchissage du spécimen. La différence est surtout notable dans les sections plus jaunâtres. Il est plus sec au toucher. Diminution de la visibilité des pores. Il est possible de voir une petite fissure perpendiculaire au sens de la longueur juste sous la fin de l'insertion musculaire.		
<b>Description à 150 heures:</b>		
Faible émoissage des ébréchures et des rebords. Tout le spécimen est lissé. Initiation d'un polissage mat sur toute la surface. Distinction claire entre la moitié supérieure plus claire et la moitié inférieure plus foncée. Le spécimen commence à être plus lisse au toucher. La fissure est plus visible. Micro : Surface très texturée. Plusieurs pores sur l'insertion près du côté gauche. Plusieurs ébréchures le long du rebord supérieur. Rebord supérieur et ébréchures bien définis.		
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>		
Développement d'un polissage mat sur toute la surface. Surtout visible dans la section plus claire. La distinction entre les sections claire et foncée est encore plus marquée. Émoissage important des ébréchures. Certaines des ébréchures plus petites sont difficilement visibles. La fissure est encore plus visible. Le spécimen est lisse au touché.		
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
Accentuation du polissage sur toute la surface. L'insertion musculaire n'est presque plus visible. Seule la plus grande ébréchure est encore visible, mais elle est fortement émoissée. La fissure commence à être émoissée. Micro : Surface lisse et faiblement blanchie. Plus de traces des pores et presque plus de trace de l'insertion. Les ébréchures ne sont généralement plus visibles. Émoissage important du rebord supérieur. Micro : Surface blanchie et lisse. Émoissage important du rebord supérieur et de l'ébréchure.		
<b>Progression:</b>		
Division claire du spécimen en deux moitiés (claires et foncée) qui s'accroît avec le temps. Développement rapide d'un polissage après l'augmentation de la vitesse.		
<b>Remarques:</b>		
Je ne sais pas si la fissure a été causée par l'expérience ou des manipulations ou si elle a simplement été exposée par l'abrasion.		




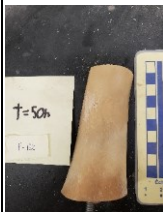

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-11d	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Rebord supérieur plat. Spécimen frais. Pas de polis. Plusieurs ébréchures sur le rebord supérieur dont une, près de rebord gauche, de forme triangulaire avec une base de 5.8mm et une hauteur de 4mm. La majorité du spécimen est d'un brun jaunâtre.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Changement de couleur drastique. La moitié supérieure a été complètement blanchie et il y a une démarcation très claire entre la moitié supérieure claire et la moitié inférieure plus foncée.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Faible émoussage du rebord supérieur. Le spécimen commence à être lisse au toucher. Initiation d'un polissage mat sur toute la surface.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Polissage mat sur toute la surface. Développement d'une bande plus foncée à environ 1cm du rebord supérieur. Émoussage important des rebords et des ébréchures. Certaines des ébréchures plus petites ne sont presque plus visibles. Le spécimen est lisse au toucher. Cercle plus foncé dans la section plus claire.			





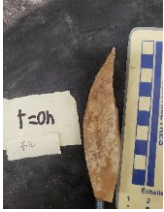
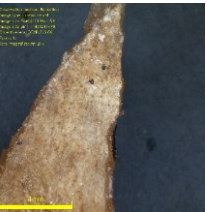
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
Accentuation du polissage. Le spécimen est très lisse au toucher. Émoussage additionnel des rebords et des ébréchures. La majorité des ébréchures sont maintenant difficilement visibles. Le cercle plus foncé l'est encore davantage. Micro : Surface lisse et blanchie. Rebord supérieur et ébréchure très émoussée.		
<b>Progression:</b>		
Division rapide du spécimen en deux sections de couleur très différente. Émoussage et polissage rapide après l'augmentation de la vitesse.		
<b>Remarques:</b>		
La division en deux zones distinctes semble être une caractéristique fréquente chez les spécimens frais.		


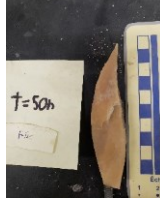
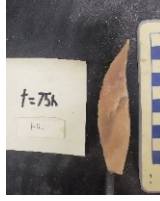


TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 25-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-12a	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen frais. Pas de polis. Projection osseuse centrale sur le rebord supérieur. Directement au-dessus de l'insertion. 15.7 de longueur par 4.25 de largeur et 2.7 de hauteur. Il y a des ébréchures à la droite de la projection, l'une accolée à la projection et plusieurs plus petites plus on se rapproche du rebord droit. Couleur très foncée. Présence d'une tubérosité avec plusieurs pores dans le coin inférieur gauche. Micro : Très rugueux. Beige à brun foncé. Présence de plusieurs vallées parallèle au sens de la longueur. Le rebord gauche de la projection est bien défini.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Initiation d'un polissage mat sur toute la surface. Disparition de plusieurs pores sur la tubérosité. Le polissage est moins prononcé sur la tubérosité. Faible émoussage des rebords. Commence à être lisse au toucher.			



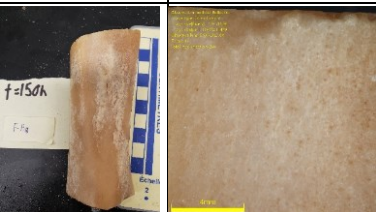

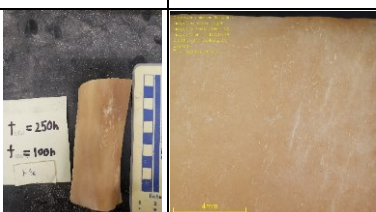
<b>Description à 50 heures:</b>		
<p>Polissage et émoussage additionnel. Les ébréchures ne sont presque plus visibles. Plus de pores de visible sur la tubérosité. Lisse au toucher. Émoussage des rebords.</p>		
<b>Description à 75 heures:</b>		
<p>Accentuation du degré de polissage. Surtout visible sur la tubérosité. Le rebord supérieur est très émoussé et les ébréchures ne sont plus visibles.</p>		
<b>Description à 100 heures:</b>		
<p>Polissage majeur de toute la surface incluant la tubérosité. Très lisse au toucher. Micro : Surface lisse et de couleur plus uniforme. Les petites vallées ne sont plus visibles. Le rebord gauche de la projection est émoussé.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Apparition rapide d'un poli qui change plus lentement par la suite.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>La tubérosité prend beaucoup plus de temps à polir que le reste de la surface.</p>		

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 25-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-12b	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Spécimen frais. Pas de polis. Rebord supérieur très droit. Quelques ébréchures très petites le long du rebord supérieur. Couleur plus pâle avec plusieurs petits cercles plus foncés sur toute la surface. Présence de plusieurs stries dans la section centrale et prêt du rebord gauche parallèle au sens de la longueur. Plaque plus foncée au déçu des stries près du rebord gauche. Micro : Très rugueux. Blanc à brun foncé. Présence de plusieurs vallées parallèle au sens de la longueur. Le rebord supérieur est bien défini et présente plusieurs ébréchures.			
<b>Description à 25 heures:</b>			
Polissage mat sur toute la surface, moins prononcé dans la section inférieure. Disparition des cercles plus foncés et des stries dans la section centrale. Émoussage du rebord supérieur. La plaque plus foncée est maintenant la plus pâle. Un peu plus lisse au toucher.			
<b>Description à 50 heures:</b>			
Accentuation du polissage sur toute la surface. Progression plus marquée dans la section inférieure. Diminution du nombre de stries visible près du côté gauche. Émoussage additionnel du rebord supérieur. Il n'y a plus de traces des ébréchures. Lisse au toucher.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Polissage important sur toute la surface, même la section inférieure. La section inférieure est toujours plus foncée que le reste du spécimen. Émoussage très prononcé. Très lisse au toucher.			

<b>Description à 100 heures:</b>		
Peu de changement macroscopique de visible par rapport à $t=75h$ . Micro : Surface lisse et de couleur plus uniforme et blanchâtre. Les petites vallées ne sont plus visibles. Le rebord supérieur est très émoussé et les ébréchures ne sont plus visibles.		
<b>Progression:</b>		
Le polissage est plus lent dans la section inférieure que le reste du spécimen.		
<b>Remarques:</b>		
Le polissage plus lent de la section inférieure pourrait être causé par le fait que cette partie est souvent recouverte de sable.		





TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 25-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-12c	Durée totale: 100 heures		
Vitesse du vent: 11.7m/s	Photos: t0, t0_24X, t25, t50, t75, t100, t100_x24		
Granulométrie: #0			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Rebord supérieur très pointu. Couleur brun-jaunâtre avec des taches plus pâles dans la section centrale. Fissure traversant l'os cortical du côté droit commençant à 29.2mm de la pointe. Travers l'os de supérieur-interne à inférieur-externe. 11.4mm de longueur. Se divise en deux fissures superficielles lorsqu'elle atteint la surface extérieure. L'une garde la même orientation que la fissure principale sur une longueur de 9mm et l'autre travers l'os perpendiculairement sur une longueur de 10.4mm. Micro : Surface un peu rugueuse. Couleur beige à brun. Les rebords de la pointe sont bien définis.			




<b>Description à 25 heures:</b>		
Développement d'un polissage mat sur toute la surface. Les fissures sont maintenant beaucoup plus visibles. Le spécimen a une couleur beaucoup plus uniforme. Faible émoussage des rebords. Un peu plus lisse au toucher.		
<b>Description à 50 heures:</b>		
Faible augmentation du degré de polissage et d'émoussage. Pas de changement au niveau de la visibilité des fissures. Lisse au touché.		
<b>Description à 75 heures:</b>		
Faible augmentation du polissage et de l'émoussage.		
<b>Description à 100 heures:</b>		
Peu de changement concernant le poli par rapport t=75h. Émoussage des rebords important Micro : Surface lisse et de couleur plus uniforme et blanchâtre. Les rebords sont très émoussés.		
<b>Progression:</b>		
Apparition rapide d'un polissage puis développement lent pendant le reste de l'expérience.		
<b>Remarques:</b>		
Les fissures n'ont pas été effacées par l'abrasion sur ce spécimen. Elles étaient peut-être trop profondes.		

TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-13a	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Rebord supérieur droit présentant de nombreuses petites ébréchures. Le spécimen montre une courbature importante. Spécimen frais de couleur brun-jaunâtre. Surface avec beaucoup de texture surtout dans la section centrale, associée à des zones plus pâles.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Faible diminution dans l'intensité de la couleur des sections plus foncées. Faible diminution de certaines textures de surfaces.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Faible émoussage du rebord supérieur et des ébréchures et de certaines textures de surfaces. Le spécimen commence à être lisse au touché. Micro : Surface texturée. Plusieurs petites vallées parallèles au sens de la longueur de l'os. Plusieurs ébréchures sur le rebord supérieur. Rebord supérieur et ébréchures faiblement émoussés.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Polissage mat sur toute la surface. Diminution importante de la majorité des textures superficielles. Émoussage marqué du rebord supérieur et des ébréchures. Le spécimen est lisse au toucher.			
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>			
Accentuation du polissage et de l'émoussage. Il ne reste qu'une petite fraction des textures qui étaient initialement visibles. Le spécimen à un aspect beaucoup plus uniforme qu'avant. Micro : Surface plus lisse est uniforme. Émoussage important du rebord supérieur et des ébréchures.			






<b>Progression:</b>
Développement rapide d'un polissage mat après l'augmentation de la vitesse.
<b>Remarques:</b>
On n'observe pas la division en deux sections de couleur différente comme sur plusieurs autres spécimens frais.



**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE:  
FICHE DESCRIPTIVE A1:D36A41A1:C30A1:E36A1:E30A1:D36A1:D31**

Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-13b	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Rebord supérieur droit présentant de nombreuses petites ébréchures. Spécimen frais. Présence d'un foramen à 1cm du rebord gauche et 3cm du rebord supérieur. Présence de plusieurs petites sections plus foncées sur toute la surface.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
Faible atténuation de la couleur du spécimen. Le foramen est maintenant plus visible.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Le spécimen est d'une couleur beaucoup plus uniforme et foncée. Il reste encore quelques sections plus pâles. Il commence à être lisse au toucher. Faible émoussage du rebord supérieur. Initiation d'un polissage mat sur toute la surface. Micro : Surface texturée. Plusieurs petites dépressions sur toute la surface. Quelques petites ébréchures le long du rebord supérieur. Rebord supérieur et ébréchures faiblement émoussées.			

<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Polissage mat sur toute la surface. Tout le spécimen est maintenant brun et à une couleur uniforme. Le spécimen est lisse au toucher. Émoussage important du rebord supérieur.</p>		
<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Accentuation du polissage sur tout le spécimen et de l'émoussage des rebords. Micro : Surface lisse et avec une couleur plus uniforme. Plus de traces des petites dépressions. Émoussage du rebord supérieur et des ébréchures.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Le spécimen tend vers une couleur plus foncée et uniforme avec le temps.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Certains spécimens frais deviennent plus foncés et uniformes, tandis que d'autre deviennent plus claires ou développement des sections avec des contrastes clairs de couleurs.</p>		



TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE			
Date: 23-02-2021	Lieu: Laboratoire d'érosion éolienne - UdeM		
No d'échantillon: F-13c	Durée totale: 250 heures		
Vitesse du vent 7.6 m/s >> 11.7 m/s	Photos:t0, t75, t150, t150_24X, t200, t250, t250_24X		
Granulométrie: #00			
Expérimentateur: Félix			
<b>État initial:</b>		<b>Images macro</b>	<b>Images micro (24X)</b>
Pas de polis. Pointe très fine et rebords tranchants. Spécimen frais. Mélange de sections plus foncées, surtout dans la moitié inférieure, et des sections plus claires dans la moitié supérieure. Présence d'une encoche à près de 3.5 cm du rebord inférieur le long du rebord droit. Présence de quelques petites fosses sur la surface.			
<b>Description à 75 heures:</b>			
La moitié inférieure est plus uniformément foncée. Émoussage de l'encoche sur le rebord droit. Les petites fosses sont plus visibles à cause du changement de couleur.			
<b>Description à 150 heures:</b>			
Le spécimen tend à devenir uniformément brun. Les fosses sont maintenant très visibles, mais il ne semble pas avoir été émoussé. Le spécimen comme à être lisse au toucher. Initiation d'un polissage mat sur toute la surface. Micro : Surface texturée. Plusieurs petites dépressions/fosses sur toute la surface. Faible émoussage du rebord.			
<b>Description à 200 heures (50 heures à 11.7m/s):</b>			
Polissage mat sur toute la surface. Il ne reste presque plus de petites fosses. Émoussage important de l'encoche. Le spécimen est toujours très pointu et à toujours des rebords tranchants.			

<b>Description à 250 heures (100 heures à 11.7m/s):</b>		
<p>Accentuation du polissage et de l'émoussage. Seul le restant d'une des fosses est encore visible. Le spécimen est très lisse au toucher. Il y a un certain émoussage au niveau de la pointe. Les rebords sont un peu moins tranchants qu'avant. Micro : Surface lisse et avec une couleur plus uniforme. Plus de traces des petites dépressions. Émoussage plus prononcé du rebord.</p>		
<b>Progression:</b>		
<p>Tends vers une couleur uniforme. Développement d'un polissage mat après l'augmentation de la vitesse.</p>		
<b>Remarques:</b>		
<p>Il s'agit du spécimen qui ressemble le plus à un outil parmi tous ceux étudiés. Les rebords sont restés tranchants pendant toute l'expérience.</p>		

**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-2	Type d'outils: Perçoir
Usage: Écorce	Durée totale: 55 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Description après utilisation:**

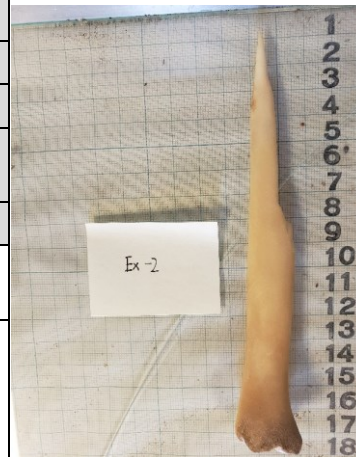
**Macro :** Perçoire avec la pointe poli et lustré. La pointe est blanchie et il n'y a pas de stries ou d'ébréchure visibles à l'œil nu.

**Micro :** Plusieurs stries parallèles au sens de longues sont visibles sur la pointe. Pas d'ébréchures et les rebords sont faiblement émoussé. Le rebord supérieur est un peu aplati.

**Remarques:**

La directionnalité des stries pourrait indiquer que ce perçoir perçait des objets sans ensuite faire de rotation.

**Photo macro :**



**Photo micro 24X:**



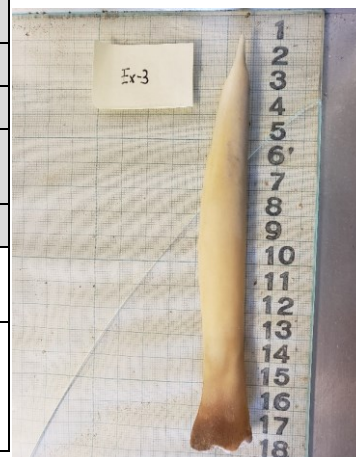
**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-3	Type d'outils: Perçoir
Usage: Peau sèche	Durée totale: 40 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Description après utilisation:**

**Macro :** Perçoire avec la pointe poli et lustré. La pointe est blanchie et il n'y a pas de stries ou d'ébréchure visibles à l'œil nu. Quelques petites taches noires de

**Photo macro :**



visible sur la pointe.

**Micro :** Plusieurs stries généralement perpendiculaires au sens de la longueur sauf très point de la pointe où il y a des stries avec plusieurs orientations différentes. Les stries sont très régulières dans la section inférieure de la pointe et en font le tour. Pas d'ébréchure et rebord faiblement émoussé. Présence de plusieurs sections noires. La pointe semble légèrement aplatie.

**Remarques:**

Section noire pourrait être un transfert de matériel. Stries perpendiculaires indique un mouvement de rotation important.

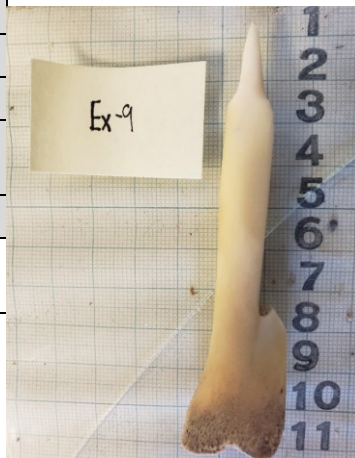
**Photo micro 24X :**



**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-9	Type d'outils: Perçoir
Usage: Non utilisé	Durée totale:
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X
<b>Description après utilisation:</b>	

**Photo macro :**



**Macro :** Perçoire avec la pointe poli et lustré. La pointe est blanchie, il n'y a pas de stries de visible. L'extrémité de la pointe n'est pas aplatie.

**Micro :** Peu de strie ou d'émoussage. Quelques stries parallèles au sens de la longueur dans la section inférieure de la pointe. Pointe supérieure peu/non travaillée.

**Photo micro 24X :**



**Remarques:**

Semble avoir été moins ou pas utilisé.

**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE  
DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-11	Type d'outils: Perçoir
Usage: Peau sèche	Durée totale: 65 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Description après utilisation:**

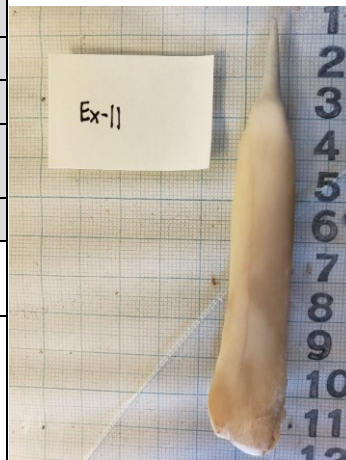
**Marco :** Perçoir avec la pointe poli et lustré. La pointe est plus foncée que le reste du spécimen. Plusieurs petites taches noires sur la pointe. Quelques stries perpendiculaires au sens de la longueur de visible sur la section inférieure de la pointe.

**Micro :** Pointe très aplatie avec plusieurs taches noires. Plusieurs stries perpendiculaires au sens de la longueur sur toute la pointe. Rebord latéral émoussé.

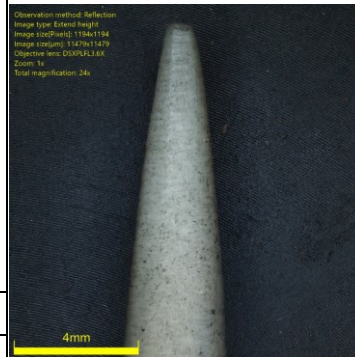
**Remarques:**

Même matière accumulée sur le spécimen que Ex-3 ?  
Mouvement de rotation associé à la direction des stries.

**Photo macro :**



**Photo micro 24X :**



**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE  
DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-13	Type d'outils: Perçoir
Usage: Écorce	Durée totale: 60min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Photo macro :**



**Description après utilisation:**

**Macro :** Perçoir avec la pointe poli et très lustré. Plusieurs fissures superficielles sur toute la longueur de l'os. Pas de stries ou d'ébréchures de visibles. Pointe assez pointue.

**Micro :** Strie perpendiculaire au sens de la longueur de visible dans la section centrale de la pointe. Pas d'ébréchures. Faible émoussage des rebords.

**Photo micro 24X**



**Remarques:**

La pointe semble moins modifiée que plusieurs autres spécimens.

**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE  
DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-14	Type d'outils: Perçoir
Usage: Peau sèche	Durée totale: 130min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Description après utilisation:**

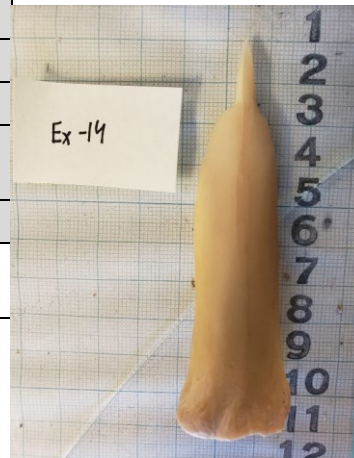
**Macro :** Perçoir avec la pointe polie et très lustrée. Plusieurs fissures superficielles sur toute la longueur de l'os. Pas de stries ou d'ébréchures de visibles. Pointe faiblement aplatie.

**Micro :** Très lustré et brillant. Plusieurs stries perpendiculaires au sens de longueur sur toute la pointe. La taille et direction des stries est constante. Pas d'ébréchure. Émoussage des rebords. Faible aplatissement de la pointe supérieur.

**Remarques:**

Le spécimen reflète le plus de lumière à date. Stries perpendiculaires indique possible mouvement de rotation.

**Photo macro :**



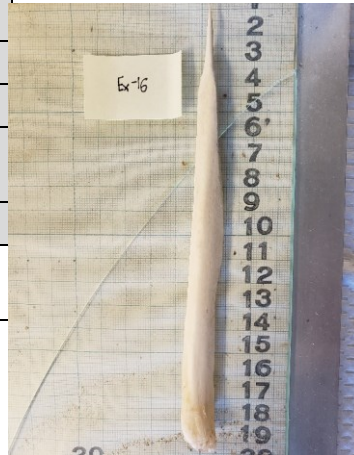
**Photo micro 24X**



**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE  
DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-16	Type d'outils: Perçoir
Usage: Non utilisé	Durée totale:
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X
<b>Description après utilisation:</b>	
<p><b>Macro</b> : Perçoir montrant peu ou pas de polissage de la pointe. Très pointue et la pointe ne semble pas être aplatie. Il est plus difficile de distinguer entre la pointe et le reste du spécimen.</p> <p><b>Micro</b> : Pas de stries sur la pointe. Rebord non émoussé. Pointe non aplatie.</p>	
<b>Remarques:</b>	
Ne semble pas avoir été utilisé autant que d'autres spécimens.	

**Photo macro**



**Photo micro 24X**





**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-17	Type d'outils: Perçoir
Usage: Écorce	Durée totale: 115 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Description après utilisation:**

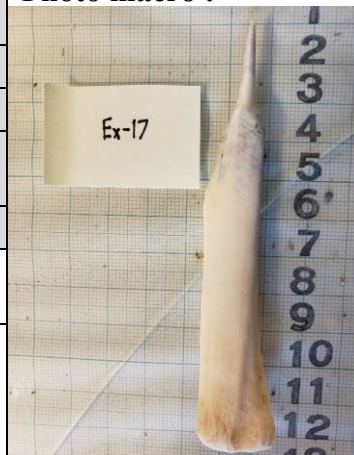
**Macro :** Perçoir avec la pointe polie et lustrée et de couleur mauve/marron. Enlèvement près de la pointe supérieure.

**Micro :** Quelques stries perpendiculaires au sens de la longueur. Moins visible que sur plusieurs autres spécimens. Rebord faiblement émoussé sauf près de l'enlèvement. Coloration mauve et bleutée.

**Remarques:**

Les stries sont beaucoup plus difficiles à voir. L'enlèvement a sans doute été créé pendant l'utilisation de l'objet.

**Photo macro :**



**Photo micro 24X :**



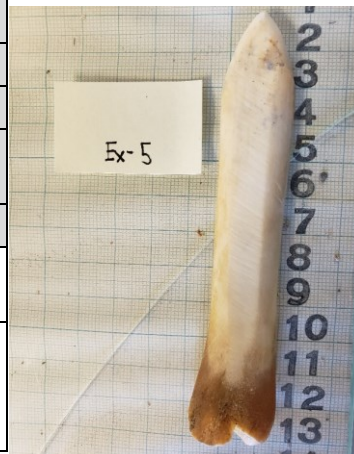
**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-5	Type d'outils: Lissoir
Usage: Maïs	Durée totale: 45 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Description après utilisation:**

**Macro :** Lissoir avec un polissage lustré près des rebords supérieurs de l'objet. Stries importantes sur la partie centrale presque perpendiculaire au sens de

**Photo macro :**



longueur. Ces stries sont moins/pas visibles dans la section supérieure. La pointe supérieure est blanchie. Rebord supérieur généralement émoussé.

**Micro** : Plusieurs petites ébréchures le long des rebords supérieurs surtout du côté gauche, le nombre augmente avec la proximité de la pointe supérieure. Plusieurs petites stries presque perpendiculaires au sens de la longueur surtout sur la section polie droite. Plus grande concentration de ces stries sur la pointe supérieure. Rebord non uniformément émoussé, les parties ébréchées l'étant moins et le rebord droit l'étant plus.

**Remarques:**

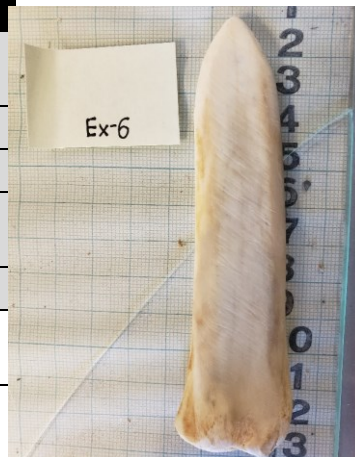
Les ébréchures semblent être liées à l'utilisation puisqu'ils sont les sections les moins émoussées. Travail utilisant beaucoup la pointe de l'objet ?

**Photo micro 24X :**



**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-6	Type d'outils: Lissoir
Usage: Maïs	Durée totale: 30 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

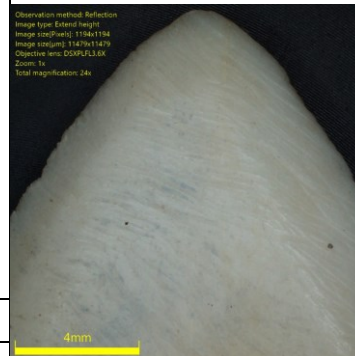


**Description après utilisation:**

**Macro** : Lissoir avec un polissage lustré près des rebords supérieurs de l'objet. Stries importantes sur la partie centrale presque perpendiculaire au sens de longueur. Ces stries sont moins/pas visibles dans la section supérieure. Fissure dans la section centrale visible sur la quasi-totalité du spécimen.

**Micro** : Plusieurs petites ébréchures le long des rebords supérieurs. Ils sont moins émoussés que les sections sans ébréchures. Rebord droit plus émoussé que le rebord gauche. Stries presque perpendiculaires à la longueur dans la section centrale et oblique dans la section polie à droite.

**Photo micro 24X**



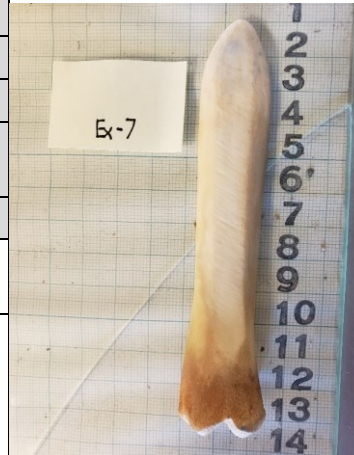
**Remarques:**

Les ébréchures semblent être liées à l'utilisation puisqu'ils sont les sections les moins émoussées. Rebord droit plus émoussé, plus de travail de ce côté ?

**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE  
DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-7	Type d'outils: Lissoir
Usage: Argile	Durée totale: 45 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X
<b>Description après utilisation:</b>	
<p><b>Macro :</b> Lissoir avec un polissage lustré près des rebords supérieurs de l'objet. Rebord supérieur et pointe très émoussée. Stries importantes sur la partie centrale presque perpendiculaire au sens de longueur. Ces stries sont moins/pas visibles dans la section supérieure.</p> <p><b>Micro :</b> Rebord uniformément émoussé. Pas d'ébréchure. Surface près des rebords très lisse. Plusieurs stries qui tendent à être parallèles au sens de la longueur. Plus visible, près de la section centrale. Pas de stries sur les rebords.</p>	
<b>Remarques:</b>	
Rebord, très uniforme et lisse. Travail avec des objets plus lisses/ qui va moins casser l'os ?	

**Photo macro :**



**Photo micro 24X :**



**TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE  
DESCRIPTIVE**

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-8	Type d'outils: Lissoir
Usage: Argile	Durée totale: 30
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X

**Description après utilisation:**

**Macro :** Lissoir avec un polissage lustré près des rebords supérieurs de l'objet. Rebord supérieur et pointe très émoussée. Stries importantes sur la partie centrale oblique au sens de longueur. Ces stries sont moins/pas visibles dans la section supérieure. Fissure superficielle dans la partie centrale visible sur toute la longueur de l'os.

**Micro :** Quelques petites ébréchures près de la pointe et de la fissure. Sinon le rebord est uniformément lisse et émoussé. Plusieurs stries qui tendent à être parallèles au sens de la longueur. Plus visible, près de la section centrale. Pas de stries sur les rebords. La taille de la section lissée est plus importante du côté gauche.

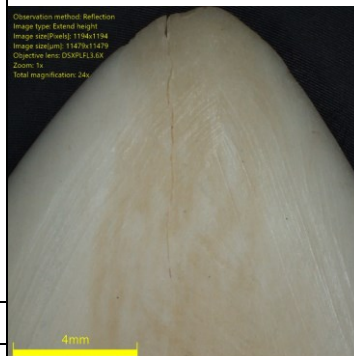
**Remarques:**

Rebord plutôt uniforme. Section gauche plus polie et travaillée. Plus de travail réalisé avec ce côté ?

**Photo macro :**



**Photo micro 24X :**



### TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-18	Type d'outils: Lissoir
Usage: Non-utilisé	Durée totale:
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X
<b>Description après utilisation:</b>	
<p><b>Macro</b> : Lissoir avec significativement moins de polis que les autres. Pointe très arrondie est assez uniforme. Stries importantes sur la partie centrale oblique au sens de longueur. Fissure superficielle dans la partie centrale visible sur la moitié supérieure de l'os. La surface est plus rugueuse que plusieurs autres spécimens.</p> <p><b>Micro</b> : Rebord non émoussé. Plusieurs petites ébréchures surtout près de la pointe. Plusieurs stries obliques au sens de la longueur. Plus faible distinction entre la section centrale et ceux près des rebords que pour les autres spécimens.</p>	
<b>Remarques:</b>	
Semble avec être moins travaillé que les autres.	

Photo macro :

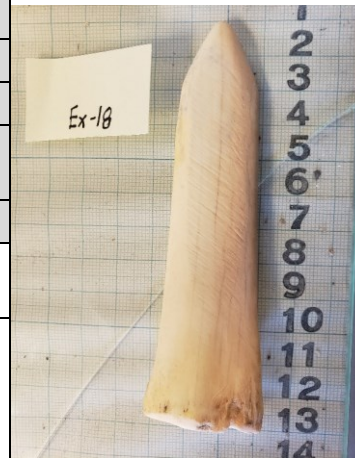


Photo micro 24X



### TRACÉOLOGIQUE EXPÉRIMENTALE: FICHE DESCRIPTIVE

Date: 06-08-21	Lieu: Laboratoire d'écoporphologie-UdeM
No d'échantillon: Ex-19	Type d'outils: Lissoir
Usage: Maïs	Durée totale: 25 min
Expérimentateurs: Christian Gates St-Pierre	Photo : Marco, Micro 24X
<b>Description après utilisation:</b>	
<p><b>Marco</b> : Lissoir avec un polissage lustré près des rebords supérieurs de l'objet. Stries importantes sur la partie centrale presque perpendiculaire au sens de longueur. Ces stries sont moins/pas visibles dans la</p>	

Photo macro :

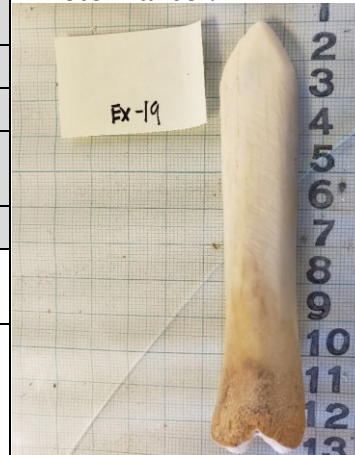


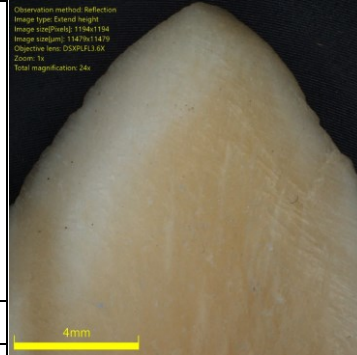
Photo micro 24X :

section supérieure. Plusieurs ébréchures de visible.

**Micro :** Plusieurs petites ébréchures le long des rebords supérieurs. Ils sont moins émoussés que les sections sans ébréchures. Émoussage important de la pointe. Rebord droit plus émoussé que le rebord gauche. Plusieurs petites stries presque perpendiculaires près de la partie droite.

**Remarques:**

Remarque : Les ébréchures semblent être liées à l'utilisation puisqu'ils sont les sections les moins émoussées. Travail utilisant beaucoup la pointe de l'objet ?



## Annexe 4 : Paramètres de rugosité de surface des spécimens

Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
F-2a_t0_x240	#0_t0	12.97	8.72	1.51	15.16	0.46	12.09	135.68	0.22
F-2b_t0_x240	#0_t0	9.58	7.74	1.07	11.36	0.40	8.73	144.73	0.34
F-2c_t0_x240	#0_t0	10.38	8.94	1.30	12.09	0.42	9.30	123.14	0.21
F-3d_t0_x240	#0_t0	7.92	7.97	0.83	9.41	0.40	7.01	129.34	0.28
F-4a_t0_x240	#0_t0	8.15	7.17	1.07	9.17	0.36	6.96	88.50	0.26
F-4b_t0_x240	#0_t0	8.12	6.91	0.96	9.48	0.35	7.42	121.37	0.29
F-4c_t0_x240	#0_t0	9.28	8.59	1.17	11.08	0.38	8.08	124.44	0.22
F-4d_t0_x240	#0_t0	17.15	17.01	1.88	21.04	0.80	15.43	156.98	0.28
F-6a_t0_x240	#0_t0	11.04	9.43	1.20	13.13	0.47	9.88	182.22	0.37
F-7a_t0_x240	#0_t0	8.97	8.13	1.00	10.83	0.40	8.12	140.43	0.35
F-8a_t0_x240	#0_t0	10.62	16.90	0.93	10.81	0.80	7.47	99.77	0.41
F-8b_t0_x240	#0_t0	16.66	24.10	1.39	18.90	1.03	13.13	170.68	0.29
F-8c_t0_x240	#0_t0	24.15	20.45	2.80	29.14	1.00	22.21	165.58	0.30
F-10a_t0_x240	#0_t0	16.93	20.05	1.93	17.62	0.74	14.28	166.59	0.34
F-10b_t0_x240	#0_t0	8.82	6.56	1.01	10.24	0.34	7.99	153.94	0.27
F-10c_t0_x240	#0_t0	9.50	7.14	1.15	10.73	0.36	8.49	167.50	0.31
F-12a_t0_x240	#0_t0	11.97	10.09	1.42	14.01	0.49	10.96	177.90	0.36
F-12b_t0_x240	#0_t0	9.38	7.92	1.05	11.14	0.40	8.66	157.99	0.26
F-12c_t0_x240	#0_t0	7.11	7.59	0.78	8.44	0.37	6.32	181.53	0.28
<b>Moyenne #0_t0_240X</b>		<b>11.49</b>	<b>11.09</b>	<b>1.29</b>	<b>13.33</b>	<b>0.52</b>	<b>10.12</b>	<b>146.65</b>	<b>0.30</b>
F-a_t100_x240	#0_t100	10.54	7.06	1.15	11.94	0.38	10.25	161.73	0.30
F-2b_t100_x240	#0_t100	7.19	7.32	0.80	8.66	0.36	6.40	111.29	0.38
F-2c_t100_x240	#0_t100	15.41	15.48	1.43	19.79	0.61	13.70	152.94	0.29
F-3d_t100_x240	#0_t100	11.00	7.04	1.30	11.31	0.37	9.71	175.41	0.35
F-4a_t100_x240	#0_t100	6.74	6.11	0.75	8.21	0.30	6.15	126.13	0.37
F-4b_t100_x240	#0_t100	6.86	6.03	0.80	8.15	0.30	6.20	134.20	0.26
F-4c_t100_x240	#0_t100	10.17	10.77	1.14	10.76	0.46	8.00	134.78	0.26

Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
F-4d_t100_x240	#0_t100	10.95	9.12	1.17	12.15	0.46	9.56	166.40	0.34
F-6a_t100_x240	#0_t100	6.25	5.93	0.72	7.50	0.30	5.61	122.67	0.43
F-7a_t100_x240	#0_t100	10.22	8.73	1.11	12.47	0.43	9.51	185.51	0.32
F-8a_t100_x240	#0_t100	6.64	6.69	0.71	8.10	0.33	5.95	106.37	0.30
F-8b_t100_x240	#0_t100	10.22	8.96	1.10	11.86	0.43	9.10	197.96	0.37
F-8c_t100_x240	#0_t100	12.10	11.96	1.22	14.92	0.58	10.94	202.48	0.35
F-10a_t100_x240	#0_t100	10.80	9.19	1.11	12.66	0.47	9.68	181.94	0.32
F-10b_t100_x240	#0_t100	6.88	6.23	0.79	8.11	0.31	6.18	141.30	0.40
F-10c_t100_x240	#0_t100	9.51	7.87	1.15	10.96	0.40	8.73	201.00	0.34
F-12a_t100_x240	#0_t100	6.84	4.79	0.89	7.59	0.25	6.32	186.93	0.31
F-12b_t100_x240	#0_t100	8.64	8.60	0.85	10.26	0.41	7.35	189.45	0.39
F-12c_t100_x240	#0_t100	12.94	12.94	1.35	16.12	0.58	11.54	227.42	0.37
<b>Moyenne #0 t100 240X</b>		<b>9.43</b>	<b>8.43</b>	<b>1.02</b>	<b>11.09</b>	<b>0.41</b>	<b>8.43</b>	<b>163.37</b>	<b>0.34</b>
F-1a_t150_x240	#00_t150	9.37	7.93	1.10	10.89	0.40	8.47	119.08	0.27
F-1b_t150_x240	#00_t150	12.46	9.16	1.36	14.15	0.46	11.17	147.71	0.28
F-1c_t150_x240	#00_t150	9.89	9.52	1.11	11.88	0.48	8.94	136.34	0.30
F-1d_t150_x240	#00_t150	9.55	9.44	1.04	11.36	0.46	8.49	144.62	0.33
F-3a_t150_x240	#00_t150	13.08	12.36	1.42	16.00	0.61	11.71	133.94	0.25
F-3b_t150_x240	#00_t150	12.66	7.60	1.66	13.17	0.41	10.61	114.23	0.22
F-3c_t150_x240	#00_t150	11.48	9.58	1.25	13.65	0.48	10.29	134.35	0.28
F-5a_t150_x240	#00_t150	11.33	10.33	1.25	13.62	0.52	10.47	137.14	0.30
F-5b_t150_x240	#00_t150	13.65	13.46	1.36	16.33	0.67	12.15	190.56	0.40
F-5c_t150_x240	#00_t150	9.99	9.29	1.09	12.18	0.45	9.06	134.20	0.29
F-9a_t150_x240	#00_t150	16.04	14.56	1.36	18.11	0.65	13.61	189.48	0.41
F-9b_t150_x240	#00_t150	20.87	20.08	1.93	24.54	1.05	18.32	180.59	0.30
F-9c_t150_x240	#00_t150	15.22	12.86	1.50	19.15	0.66	14.87	150.34	0.25
F-11a_t150_x240	#00_t150	11.11	10.62	1.25	13.28	0.52	10.06	167.43	0.29
F-11b_t150_x240	#00_t150	12.32	11.05	1.47	14.55	0.55	11.07	152.30	0.29
F-11c_t150_x240	#00_t150	10.01	9.13	1.13	12.08	0.45	9.08	164.48	0.43
F-13a_t150_x240	#00_t150	9.03	8.15	1.04	10.17	0.42	8.16	183.01	0.37



Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
F-13b_t150_x240	#00_t150	8.96	7.83	1.00	10.88	0.38	8.18	175.78	0.36
F-13c_t150_x240	#00_t150	6.52	5.65	0.78	7.69	0.29	5.90	143.50	0.30
<b>Moyenne #00_t150_240X</b>	<b>11.76</b>	<b>10.45</b>	<b>1.27</b>	<b>13.86</b>	<b>0.52</b>	<b>10.54</b>	<b>152.70</b>	<b>0.31</b>	<b>11.76</b>
F-1a_t250_x240	#00_t250	8.51	6.38	0.98	9.47	0.32	7.55	160.16	0.30
F-1b_t250_x240	#00_t250	7.24	6.74	0.81	8.74	0.33	6.52	146.61	0.31
F-1c_t250_x240	#00_t250	6.31	5.96	0.69	7.66	0.29	5.76	118.46	0.38
F-1d_t250_x240	#00_t250	10.64	11.51	1.03	13.61	0.49	9.49	127.57	0.26
F-3a_t250_x240	#00_t250	8.05	7.69	0.88	9.70	0.39	7.35	142.18	0.28
F-3b_t250_x240	#00_t250	11.14	6.94	1.38	12.23	0.37	10.68	134.49	0.28
F-3c_t250_x240	#00_t250	8.44	6.69	1.01	9.70	0.34	7.86	136.61	0.30
F-5a_t250_x240	#00_t250	7.87	7.75	0.85	9.66	0.38	7.09	142.69	0.35
F-5b_t250_x240	#00_t250	8.52	8.02	0.93	10.31	0.40	7.78	157.60	0.35
F-5c_t250_x240	#00_t250	8.22	7.16	0.93	9.70	0.35	7.34	114.81	0.40
F-9a_t250_x240	#00_t250	9.16	8.82	0.98	10.55	0.42	7.99	135.34	0.32
F-9b_t250_x240	#00_t250	13.85	11.46	1.38	17.29	0.56	12.58	199.22	0.33
F-9c_t250_x240	#00_t250	10.53	11.01	0.97	12.75	0.51	9.07	191.30	0.32
F-11a_t250_x240	#00_t250	6.99	6.73	0.76	8.54	0.33	6.33	150.40	0.41
F-11b_t250_x240	#00_t250	10.46	9.99	1.40	11.51	0.48	9.00	172.04	0.34
F-11c_t250_x240	#00_t250	7.54	6.90	0.86	9.07	0.35	6.79	157.02	0.33
F-11d_t250_x240	#00_t250	6.36	6.30	0.71	7.70	0.31	5.68	119.21	0.34
F-13a_t250_x240	#00_t250	5.85	5.48	0.67	6.83	0.27	5.13	160.72	0.33
F-13b_t250_x240	#00_t250	5.23	4.70	0.58	6.17	0.24	4.63	180.18	0.37
F-13c_t250_x240	#00_t250	4.88	4.93	0.56	5.84	0.24	4.28	139.97	0.40
<b>Moyenne #00_t250_240X</b>		<b>8.27</b>	<b>7.54</b>	<b>0.92</b>	<b>9.82</b>	<b>0.37</b>	<b>7.43</b>	<b>149.23</b>	<b>0.34</b>
Ex-5_x240	Lis_poli	27.90	12.90	4.41	27.35	0.73	25.42	199.67	0.38
Ex-6_x240	Lis_poli	18.80	14.32	2.62	20.53	0.71	16.47	184.14	0.43
Ex-7_x240	Lis_poli	18.26	11.01	2.83	18.94	0.59	15.44	202.98	0.44
Ex-8_x240	Lis_poli	16.55	10.93	2.61	16.66	0.57	14.50	245.09	0.52

Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
Ex-18_x240	Lis_poli	20.28	11.52	3.02	20.77	0.62	18.39	226.59	0.43
Ex-19_x240	Lis_poli	23.31	12.08	3.55	21.70	0.66	19.08	207.56	0.40
<b>Moyenne Lis poli 240X</b>		<b>20.87</b>	<b>12.14</b>	<b>3.17</b>	<b>21.00</b>	<b>0.65</b>	<b>18.23</b>	<b>211.03</b>	<b>0.43</b>
Ex-fab_5_x240	Lis_fab	12.48	10.21	1.48	14.44	0.52	11.51	181.62	0.41
Ex-fab_6_x240	Lis_fab	9.63	8.60	1.08	11.67	0.43	8.87	149.90	0.41
Ex-fab_7_x240	Lis_fab	10.02	8.54	1.06	11.45	0.43	8.85	182.46	0.48
Ex-fab_8_x240	Lis_fab	10.32	8.33	1.17	10.40	0.39	8.29	192.15	0.38
Ex-fab_18_x240	Lis_fab	11.24	9.47	1.27	13.69	0.47	10.33	123.47	0.49
Ex-fab_19_x240	Lis_fab	14.70	13.46	1.66	17.55	0.65	13.41	168.48	0.32
<b>Moyenne Lis fab 240X</b>		<b>11.41</b>	<b>9.77</b>	<b>1.29</b>	<b>13.26</b>	<b>0.48</b>	<b>10.26</b>	<b>166.45</b>	<b>0.41</b>
Ex-2_x240	Perçoir	23.95	5.93	2.62	24.85	0.41	25.68	180.82	0.30
Ex-3_x240	Perçoir	24.71	7.53	2.59	23.64	0.46	23.66	197.07	0.33
Ex-9_x240	Perçoir	22.49	9.10	2.65	24.61	0.56	23.22	188.65	0.31
Ex-11_x240	Perçoir	24.76	6.40	3.12	23.94	0.44	24.53	192.64	0.32
Ex-13_x240	Perçoir	21.08	8.11	2.44	22.84	0.47	21.80	192.96	0.31
Ex-14_x240	Perçoir	19.79	7.79	2.35	21.30	0.48	20.46	194.79	0.32
Ex-16_x240	Perçoir	51.18	9.00	4.88	55.59	0.80	57.53	195.71	0.32
Ex-17_x240	Perçoir	34.23	8.40	3.70	33.93	0.59	34.15	192.69	0.32
<b>Moyenne Perçoir 240X</b>		<b>27.93</b>	<b>7.79</b>	<b>3.06</b>	<b>29.07</b>	<b>0.53</b>	<b>29.11</b>	<b>191.76</b>	<b>0.32</b>

Tableau 15. Valeur pour les paramètres de rugosité de surface pour les différents spécimens à 240X de grossissement. Chacune des valeurs est la moyenne calculée à partir de 25 points sur la surface du spécimen. Lis\_poli correspond aux pages d'usure des lisseurs et Lis\_fab aux traces de fabrication sur le lisseur.

Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
F-2a_t0_x336	#0_t0	10.54	9.13	1.23	12.08	0.45	9.55	96.51	0.25
F-2b_t0_x336	#0_t0	8.32	6.91	0.96	9.89	0.35	7.67	119.55	0.28
F-2c_t0_x336	#0_t0	7.66	6.16	0.92	8.32	0.30	6.63	77.62	0.19
F-3d_t0_x336	#0_t0	6.33	5.42	0.75	7.54	0.28	5.71	96.70	0.33
F-4a_t0_x336	#0_t0	6.84	6.13	0.88	7.67	0.31	5.85	83.79	0.33
F-4b_t0_x336	#0_t0	6.63	5.60	0.83	7.70	0.29	5.99	103.61	0.27
F-4c_t0_x336	#0_t0	7.90	6.17	1.08	8.65	0.29	7.04	89.26	0.22
F-4d_t0_x336	#0_t0	15.03	12.58	1.65	18.34	0.62	13.84	102.41	0.30
F-6a_t0_x336	#0_t0	9.39	8.65	1.07	11.52	0.45	8.57	131.90	0.40
F-7a_t0_x336	#0_t0	7.44	6.66	0.83	8.96	0.33	6.76	119.24	0.33
F-8a_t0_x336	#0_t0	7.78	10.83	0.72	9.50	0.54	6.37	84.82	0.35
F-8b_t0_x336	#0_t0	12.79	16.06	1.21	14.45	0.61	10.32	115.98	0.31
F-8c_t0_x336	#0_t0	19.45	16.48	2.16	22.89	0.85	18.17	136.24	0.32
F-10a_t0_x336	#0_t0	11.73	9.01	1.35	13.54	0.46	10.95	117.27	0.37
F-10b_t0_x336	#0_t0	7.44	5.98	0.87	9.00	0.28	6.81	108.81	0.27
F-10c_t0_x336	#0_t0	7.23	5.68	0.85	8.47	0.29	6.75	119.33	0.29
F-12a_t0_x336	#0_t0	9.36	7.13	1.03	11.26	0.37	8.75	124.76	0.34
F-12b_t0_x336	#0_t0	8.13	6.95	0.88	9.73	0.34	7.53	113.91	0.27
F-12c_t0_x336	#0_t0	6.19	7.33	0.61	7.37	0.37	5.53	132.31	0.33
<b>Moyenne #0 t0 336X</b>		<b>9.26</b>	<b>8.35</b>	<b>1.05</b>	<b>10.88</b>	<b>0.41</b>	<b>8.35</b>	<b>108.95</b>	<b>0.30</b>
F-a_t100_x336	#0_t100	7.52	5.95	0.81	8.56	0.31	6.77	108.21	0.33
F-2b_t100_x336	#0_t100	5.76	5.93	0.61	6.94	0.29	5.06	87.94	0.40
F-2c_t100_x336	#0_t100	10.87	10.42	0.96	12.18	0.47	9.15	112.94	0.27
F-3d_t100_x336	#0_t100	6.84	5.62	0.79	7.70	0.29	5.97	114.72	0.31
F-4a_t100_x336	#0_t100	5.54	5.15	0.60	6.68	0.26	5.10	97.94	0.32
F-4b_t100_x336	#0_t100	5.38	4.67	0.62	6.47	0.23	4.90	88.09	0.33
F-4c_t100_x336	#0_t100	6.85	5.93	0.84	8.03	0.29	6.17	103.13	0.32
F-4d_t100_x336	#0_t100	6.73	6.13	0.78	7.89	0.31	6.11	111.07	0.31
F-6a_t100_x336	#0_t100	4.99	4.95	0.57	6.03	0.25	4.44	80.34	0.39
F-7a_t100_x336	#0_t100	8.02	8.01	0.81	9.96	0.39	7.33	131.77	0.37

Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
F-8a_t100_x336	#0_t100	5.55	5.59	0.60	6.81	0.28	4.97	85.90	0.25
F-8b_t100_x336	#0_t100	6.94	6.73	0.75	8.54	0.35	6.43	137.18	0.42
F-8c_t100_x336	#0_t100	7.30	6.99	0.77	8.96	0.34	6.66	146.20	0.37
F-10a_t100_x336	#0_t100	7.42	7.04	0.79	8.97	0.35	6.75	127.89	0.35
F-10b_t100_x336	#0_t100	5.25	5.21	0.59	6.36	0.26	4.70	82.63	0.33
F-10c_t100_x336	#0_t100	7.88	5.92	0.88	9.49	0.30	7.47	154.79	0.40
F-12a_t100_x336	#0_t100	4.84	4.43	0.55	5.52	0.22	4.20	121.44	0.32
F-12b_t100_x336	#0_t100	6.25	6.77	0.69	7.39	0.34	5.45	117.39	0.29
F-12c_t100_x336	#0_t100	9.57	10.73	0.89	12.09	0.46	8.11	166.59	0.42
<b>Moyenne #0_t100_336X</b>		<b>6.81</b>	<b>6.42</b>	<b>0.73</b>	<b>8.12</b>	<b>0.31</b>	<b>6.08</b>	<b>114.80</b>	<b>0.34</b>
F-1a_t150_x336	#00_t150	6.85	5.94	0.78	8.18	0.30	6.25	93.99	0.31
F-1b_t150_x336	#00_t150	9.30	7.92	1.09	10.93	0.41	8.35	120.08	0.27
F-1c_t150_x336	#00_t150	8.23	7.14	0.91	10.01	0.36	7.59	105.12	0.27
F-1d_t150_x336	#00_t150	7.36	6.98	0.81	9.08	0.34	6.70	99.21	0.36
F-3a_t150_x336	#00_t150	10.62	9.65	1.18	12.82	0.47	9.79	126.66	0.29
F-3b_t150_x336	#00_t150	11.54	6.06	1.64	11.12	0.32	9.56	89.38	0.25
F-3c_t150_x336	#00_t150	9.40	7.09	1.10	11.20	0.36	8.75	97.85	0.25
F-5a_t150_x336	#00_t150	9.18	8.56	1.00	11.38	0.41	8.32	111.37	0.25
F-5b_t150_x336	#00_t150	9.88	8.87	1.09	11.90	0.43	9.09	141.60	0.41
F-5c_t150_x336	#00_t150	7.61	7.42	0.92	8.92	0.35	6.69	103.41	0.28
F-9a_t150_x336	#00_t150	11.19	9.30	1.16	13.80	0.47	10.43	102.29	0.27
F-9b_t150_x336	#00_t150	15.36	13.83	1.56	18.74	0.66	14.42	126.72	0.28
F-9c_t150_x336	#00_t150	11.83	10.20	1.14	14.90	0.49	11.36	104.72	0.25
F-11a_t150_x336	#00_t150	8.24	7.21	0.93	9.91	0.36	7.54	123.43	0.32
F-11b_t150_x336	#00_t150	9.98	8.88	1.07	12.30	0.45	9.19	118.41	0.37
F-11c_t150_x336	#00_t150	7.63	6.93	0.88	9.17	0.34	6.91	126.91	0.35
F-13a_t150_x336	#00_t150	7.38	6.20	0.83	8.69	0.31	6.60	120.94	0.33
F-13b_t150_x336	#00_t150	7.49	6.29	0.86	8.79	0.32	6.84	126.26	0.35
F-13c_t150_x336	#00_t150	5.29	4.85	0.64	5.88	0.23	4.55	113.80	0.33

Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
<b>Moyenne #00 t150 336X</b>		<b>9.17</b>	<b>7.86</b>	<b>1.03</b>	<b>10.96</b>	<b>0.39</b>	<b>8.38</b>	<b>113.39</b>	<b>0.31</b>
F-1a_t250_x336	#00_t250	6.54	6.08	0.70	7.65	0.31	5.81	115.73	0.29
F-1b_t250_x336	#00_t250	5.95	5.80	0.64	7.37	0.28	5.35	90.58	0.29
F-1c_t250_x336	#00_t250	5.10	4.58	0.58	6.08	0.23	4.64	81.24	0.42
F-1d_t250_x336	#00_t250	7.88	7.93	0.77	10.10	0.37	7.37	91.14	0.24
F-3a_t250_x336	#00_t250	6.33	6.41	0.69	7.73	0.31	5.73	114.75	0.32
F-3b_t250_x336	#00_t250	8.82	5.95	1.04	9.37	0.30	8.24	93.87	0.31
F-3c_t250_x336	#00_t250	6.12	5.22	0.72	7.22	0.27	5.58	95.25	0.35
F-5a_t250_x336	#00_t250	6.25	5.77	0.70	7.59	0.28	5.67	99.82	0.34
F-5b_t250_x336	#00_t250	6.42	6.51	0.69	8.40	0.34	5.94	119.60	0.44
F-5c_t250_x336	#00_t250	5.99	5.40	0.66	7.35	0.27	5.46	81.28	0.46
F-9a_t250_x336	#00_t250	6.65	6.20	0.73	7.51	0.32	5.71	107.94	0.31
F-9b_t250_x336	#00_t250	9.17	8.75	0.90	11.42	0.42	8.50	139.14	0.39
F-9c_t250_x336	#00_t250	7.09	7.35	0.73	8.89	0.35	6.42	127.35	0.30
F-11a_t250_x336	#00_t250	5.53	5.21	0.62	6.64	0.26	5.01	99.09	0.38
F-11b_t250_x336	#00_t250	8.24	7.36	0.94	8.72	0.36	6.48	114.28	0.32
F-11c_t250_x336	#00_t250	6.04	5.58	0.64	6.76	0.26	5.06	112.23	0.38
F-11d_t250_x336	#00_t250	4.95	4.73	0.55	6.03	0.23	4.48	75.38	0.33
F-13a_t250_x336	#00_t250	4.69	4.77	0.51	5.67	0.24	4.22	89.67	0.39
F-13b_t250_x336	#00_t250	4.51	4.15	0.53	5.39	0.20	4.07	87.97	0.40
F-13c_t250_x336	#00_t250	3.91	4.07	0.44	4.53	0.20	3.34	93.92	0.26
<b>Moyenne #00 t250 336X</b>		<b>6.31</b>	<b>5.89</b>	<b>0.69</b>	<b>7.52</b>	<b>0.29</b>	<b>5.65</b>	<b>101.51</b>	<b>0.35</b>
Ex-5_x336	Lis_poli	15.91	9.70	2.21	16.71	0.51	14.66	124.75	0.39
Ex-6_x336	Lis_poli	13.02	10.46	1.62	15.00	0.52	11.83	128.96	0.39
Ex-7_x336	Lis_poli	11.75	8.42	1.55	12.37	0.42	10.02	139.00	0.38
Ex-8_x336	Lis_poli	10.55	8.37	1.48	11.43	0.43	9.19	138.70	0.44
Ex-18_x336	Lis_poli	14.33	8.77	1.87	16.04	0.47	13.37	163.43	0.43
Ex-19_x336	Lis_poli	13.93	9.22	1.89	15.43	0.47	12.48	132.69	0.38

Nom	Groupe	Sq ( $\mu\text{m}$ )	Spk ( $\mu\text{m}$ )	Vvv ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vvc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmp ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Vmc ( $\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$ )	Sal ( $\mu\text{m}$ )	Str
<b>Moyenne Lis poli 336X</b>		<b>13.24</b>	<b>9.15</b>	<b>1.77</b>	<b>14.51</b>	<b>0.47</b>	<b>11.94</b>	<b>138.09</b>	<b>0.40</b>
Ex-fab_5_x336	Lis_fab	10.86	8.09	1.19	12.79	0.42	10.35	153.90	0.45
Ex-fab_6_x336	Lis_fab	8.80	8.00	1.00	10.54	0.40	8.02	122.27	0.40
Ex-fab_7_x336	Lis_fab	8.58	6.69	0.98	10.01	0.34	8.09	137.33	0.37
Ex-fab_8_x336	Lis_fab	7.97	5.93	0.89	8.51	0.31	6.68	125.04	0.45
Ex-fab_18_x336	Lis_fab	10.47	8.82	1.15	12.85	0.43	9.70	142.70	0.38
Ex-fab_19_x336	Lis_fab	11.84	10.85	1.36	14.00	0.51	10.71	129.35	0.35
<b>Moyenne Lis fab 336X</b>		<b>9.79</b>	<b>8.10</b>	<b>1.10</b>	<b>11.51</b>	<b>0.41</b>	<b>8.97</b>	<b>135.24</b>	<b>0.40</b>
Ex-2_x336	Perçoir	12.67	5.84	1.47	13.15	0.34	11.94	121.66	0.29
Ex-3_x336	Perçoir	13.11	6.51	1.56	14.55	0.37	13.09	142.30	0.37
Ex-9_x336	Perçoir	11.99	7.86	1.43	13.77	0.42	11.44	132.32	0.31
Ex-11_x336	Perçoir	12.86	6.61	1.61	14.23	0.39	12.63	140.71	0.32
Ex-13_x336	Perçoir	12.87	6.32	1.57	14.17	0.37	12.78	136.56	0.32
Ex-14_x336	Perçoir	11.54	6.30	1.40	12.76	0.35	11.46	146.10	0.32
Ex-16_x336	Perçoir	30.04	7.65	2.92	33.47	0.57	33.00	140.17	0.33
Ex-17_x336	Perçoir	18.18	7.53	2.11	18.71	0.43	17.08	139.91	0.31
<b>Moyenne Perçoir 336X</b>		<b>15.51</b>	<b>6.84</b>	<b>1.77</b>	<b>16.97</b>	<b>0.41</b>	<b>15.55</b>	<b>137.32</b>	<b>0.32</b>

Tableau 16. Valeur pour les paramètres de rugosité de surface pour les différents spécimens à 336X de grossissement. Chacune des valeurs est la moyenne calculée à partir de 25 points sur la surface du spécimen. Lis\_poli correspond aux plages d'usure des lissoirs et Lis\_fab aux traces de fabrication sur le lissoir.