



HAL
open science

Les lésions osseuses par scies dans les démembrements criminels en anthropologie médico-légale

Caroline Bernardi

► **To cite this version:**

Caroline Bernardi. Les lésions osseuses par scies dans les démembrements criminels en anthropologie médico-légale. Médecine humaine et pathologie. Université Côte d'Azur, 2022. Français. NNT : 2022COAZ6023 . tel-04031631

HAL Id: tel-04031631

<https://theses.hal.science/tel-04031631>

Submitted on 16 Mar 2023

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

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

THÈSE DE DOCTORAT

Les lésions osseuses par scies dans les démembrements criminels en anthropologie médico-légale

Caroline BERNARDI

TIRO-MATOs CEA/DRF/Institut Joliot (UMR E4320)

Institut Universitaire d'Anthropologie Médico-Légale de Nice (UMR 7264)

Présentée en vue de l'obtention

du grade de docteur en Sciences de la
vie et de la santé

d'Université Côte d'Azur

Dirigée par : Georges CARLE, Gérald
QUATREHOMME

Soutenu le : 25 novembre 2022

Devant le jury, composé de :

Pascal ADALIAN, Professeur, Université d'Aix-
Marseille

Véronique ALUNNI, Professeur, Université Côte
d'Azur

Nicolas AMORETTI, Professeur, Harvard Medical
School – Massachusetts General Hospital

Georges CARLE, Docteur, Université Côte d'Azur

Gérald QUATREHOMME, Professeur, Université Côte
d'Azur

Norbert TELMON, Professeur, Université de Toulouse

Les lésions osseuses par scies dans les démembrements criminels en anthropologie médico-légale

Jury :

Rapporteurs

Pascal ADALIAN, Professeur des Universités, Université d'Aix-Marseille, Laboratoire d'Anthropologie bio-culturelle, Droit, Éthique et Santé (UMR ADES 7268)

Norbert TELMON, Professeur des Universités, Université de Toulouse, Laboratoire d'Anthropologie Moléculaire et d'Imagerie de Synthèse (AMIS FRE 2960 CNRS)

Examineurs

Véronique ALUNNI, Professeur des Universités, Université Côte d'Azur, Institut Universitaire d'Anthropologie Médico-Légale de Nice (UMR 7264)

Nicolas AMORETTI, HDR Université Côte d'Azur, Professeur honoraire Harvard Medical School – Massachusetts General Hospital. Team Bio engineering and osteo-articular physiopathology - Institut de Biologie Valrose (IBV CNRS UMR 7277)

Directeur de thèse

Georges CARLE, Directeur de recherche CNRS, Université Côte d'Azur, TIROMATOs CEA/DRF/Institut Juliot (UMR E4320)

Co-Directeur de thèse

Gérald QUATREHOMME, Professeur des Universités, Université Côte d'Azur, Institut Universitaire d'Anthropologie Médico-Légale de Nice (UMR 7264)

Résumé

Les lésions osseuses par scies dans les démembrements criminels en anthropologie médico-légale

Les démembrements criminels sont rencontrés en médecine légale. Aux analyses habituelles permettant de déterminer les causes et circonstances du décès, il faudra ajouter dans ce contexte, les investigations sur les traces osseuses créées par les instruments utilisés par le criminel.

L'analyse des traces de scie laissées sur l'os par le criminel est un enjeu important car il permet de déterminer ou estimer les caractéristiques de la scie utilisée : scie à main versus scie électrique, scie à tronçonner et universelle versus scie à refendre, TPI (nombre de dents par pouce), type d'avoyage.

Je me suis intéressée aux critères diagnostiques contenus au sein des traces osseuses (forme des murs, forme des profils, forme des stries, largeur minimale entre les berges, présence ou non d'îlots osseux) produites par plusieurs scies peu ou non étudiées dans la littérature, en me focalisant sur le type de traces osseuses contenant le plus d'informations : le faux départ. Les analyses ont été réalisées à l'aide d'un stéréomicroscope et d'un microscope électronique à balayage. Ont été étudiés les faux départs produits sur de l'os humain par la scie autopsique, deux scies à main possédant un TPI élevé, et trois lames de scie alternative oscillante en comparaison à ceux de deux scies à main aux caractéristiques similaires.

Je me suis ensuite interrogée sur l'influence potentielle de la préparation anthropologique par macération de l'os dans l'eau chauffée à 85°C (utilisée dans les protocoles expérimentaux pour retirer les parties molles de l'os) sur la structure osseuse, et donc par conséquence sur les traces osseuses produites par les scies. Pour cela, deux méthodes ont été utilisées. D'abord, des faux départs ont été produits avec une même scie sur des os humains

ayant subi des temps de préparation anthropologique différents, puis les lésions ont été observées au stéréomicroscope. Ensuite, la densité osseuse mesurée à l'aide d'un tomодensitomètre (TDM) a été comparée avant et après la préparation anthropologique sur des os humains et de porcs, le porc étant régulièrement utilisé dans les études expérimentales comme substitut à l'os humain.

Mots-clés : lésions osseuses par scie, démembrement, anthropologie médico-légale, stéréomicroscope, microscope électronique à balayage, tomодensitométrie

Abstract

Saw marks in criminal dismemberment in forensic anthropology

Cases of criminal dismemberment are encountered in forensic pathology. To the usual analyzes allowing to determine the causes and circumstances of the death, it will be necessary to add in this context, the investigations on bone's cut marks created by the instruments used by the criminal.

The analysis of saw marks left on bone by the criminal is an important issue because it makes it possible to determine or estimate the characteristics of the saw used: hand saw versus electric saw, crosscut saw and universal saw versus rip saw, TPI (teeth per inch) and set type.

I was interested in features of saw marks on bone (shape of the walls, shape of the profiles, type of striae, minimum width between the edges, presence or not of bone islands) produced by saws rarely or not studied in the literature, focusing on false starts (type of saw marks containing the most information). Analyzes were performed using a stereomicroscope and a scanning electron microscope. I studied the false starts produced on human bone by the autopsy saw, two hand saws with high TPI, and three oscillating reciprocating saw blades in comparison to those of two hand saws with similar characteristics.

Then, I wondered about the potential influence of the simmering method (a defleshing technique used in the experimental protocols to remove the soft tissues from bone) on the bone structure, and therefore consequently on the saw marks produced by the saws. For this, two methods were used. First, false stars were produced with the same saw on bones undergone different times of simmering method, then the lesions produced were analyzed under a stereomicroscope. Next, bone density measured using a computed tomography (CT) was compared before and after simmering method in human and pig bones, pig being regularly used in experimental studies as a substitute for human bone.

Key words: saw marks, dismemberment, forensic anthropology, stereomicroscope, scanning electron microscope, tomodensitometry

Remerciements

Monsieur le Professeur Pascal Adalian,

Votre expertise en anthropologie, votre implication dans l'enseignement de cette discipline ne sont plus à démontrer et ont valeur d'exemple. Je suis sincèrement honorée que vous ayez accepté de juger et rapporter ce travail de thèse.

Madame le Professeur Véronique Alunni,

Vous avez révélé ma passion pour la médecine légale. Vous êtes un modèle et une source d'inspiration pour moi. La qualité de vos enseignements est reconnue de tous. Je suis très honorée qu'en tant que spécialiste de l'utilisation des haches dans les démembrements vous ayez accepté de juger mon travail (sur les scies).

Monsieur le Professeur Nicolas Amoretti,

Vos qualités tant professionnelles qu'humaines sont une grande source d'inspiration. Vos conseils spécialisés ont été précieux pour la réalisation de cette thèse. Je suis honorée que vous ayez accepté de juger mon travail, avec le point de vue du radiologue ostéoarticulaire. Ces premiers travaux seront je l'espère à l'origine d'une collaboration étroite médecine légale - radiologie.

Monsieur le Docteur Georges Carle,

Votre bienveillance, votre accompagnement et votre regard sous un angle différent de cette thématique de recherche très médico-légale ont fortement contribué à l'enrichissement, la valorisation du contenu de cette thèse. Ce serait un honneur pour moi de mener à terme les travaux communs toujours en cours au sein de votre laboratoire, au-delà de la thèse de doctorat, et d'en créer de nouveaux.

Monsieur le Professeur Gérald Quatrehomme,

L'enseignement privilégié que j'ai reçu de votre part ces dernières années en anthropologie médico-légale, en médecine légale et dans le domaine de la recherche scientifique est d'une très grande richesse, je vous en remercie vivement. Votre accompagnement à chaque étape de cette thèse a forgé ma rigueur scientifique.

Monsieur le Professeur Norbert Telmon,

J'ai le plus grand respect devant votre implication et votre dynamisme au sein de notre discipline, ainsi que pour vos travaux en anthropologie et médecine légale. Je suis particulièrement honorée que vous ayez accepté d'assumer la tâche de rapporteur et de siéger dans mon jury.

A l'ensemble de **l'équipe du laboratoire d'anthropologie et du service niçois de médecine légale** ; je suis fière d'exercer ce beau métier à vos côtés. En particulier, **Luisa NOGUEIRA**, je tiens à te remercier pour tes conseils avisés et ton aide précieuse en anthropologie comme en statistiques.

Aux personnes si chères à mon cœur, que je remercie pour leur amour, leur amitié, leurs encouragements et leur soutien.

« La vie est une aventure audacieuse ou elle n'est rien »

(Helen Keller)

Abréviations

ABFA : société américaine d'anthropologie médico-légale

DSP : diagnose sexuelle probabiliste (outil de diagnose sexuelle)

IML : institut médico-légal

INRAP : institut national de recherches archéologiques préventives

IUAES : union internationale des sciences anthropologiques et ethnologiques

MEB : microscope électronique à balayage

Micro-CT : micro-computed tomography (micro-tomographie à rayons X)

ROI : region of interest (région d'intérêt)

SD : standard deviation (déviation standard)

TDM : tomodensitomètre

TPI : teeth per inch (nombre de dents par pouce)

UH : unité Hounsfield

Table des matières

Résumé.....	3
Abstract.....	6
Remerciements.....	8
Abréviations	10
Liste des figures	13
Liste des tableaux	15
Introduction.....	16
I/ Revue de la littérature.....	22
A/ Définition du démembrement criminel	23
B/ Une brève histoire du démembrement.....	23
C/ Intérêt – pertinence du sujet d'étude	27
1- En rapport avec la réalité médico-légale	27
2- En rapport avec la recherche scientifique.....	29
D/ Données médico-légales sur les démembrements criminels	31
1- Différents types de démembrements criminels	31
2- Profil psychologique des auteurs	33
3- Localisation anatomique des coupes	35
4- Différents types de coupes.....	36
5- Instruments utilisés dans les démembrements criminels	37
6- Temps nécessaire pour le démembrement	38
7- Rôle de l'anthropologie médico-légale dans les démembrements criminels.....	39
E/ Classification des scies	41
1- Scie à main ou scie électrique	42
2- Le nombre de dents par pouce, TPI.....	44
3- L'avoyage	44
4- Le type de dents.....	46
F/ Les traces osseuses produites par les scies : zones d'intérêt.....	48
1- Les Faux départs	48
2- La coupe complète.....	50
3- L'éperon terminal	51
.....	51
G/ Les critères diagnostiques retrouvés au sein des traces osseuses produites par les scies	51
1- Les faux départs.....	52
2- Les coupes complètes	60
3- Les éperons osseux	63
H/ Méthodes d'analyse utilisées dans la littérature scientifique pour l'analyse des traces osseuses	64
I/ Matériaux utilisés pour la production des traces osseuses dans les études expérimentales ...	68
1- Os humain versus analogues.....	68
2- Validité du modèle animal dans l'étude des traces de scie sur l'os ?	69
3- Os entouré de parties molles lors de la création des lésions par scie versus os préparé.....	74

J/ Effet des différentes méthodes de préparation anthropologique sur l'os et l'analyse des traces osseuses	75
II/ Partie expérimentale.....	82
A/ Analyse expérimentale des caractéristiques diagnostiques des faux départs laissés sur l'os par plusieurs scies peu étudiées dans la littérature	84
1- Comparaison du stéréomicroscope avec le microscope électronique à balayage dans l'analyse des faux départs produits par une scie autopsique.....	86
2- Analyse des faux départs produits sur l'os humain par deux scies à main possédant un TPI élevé.....	92
3- Contribution du microscope électronique à balayage dans l'analyse des faux départs produits par une scie universelle à TPI élevé (TPI 15) sur des os humains.....	99
4- Comparaison au microscope des lésions de faux départs produites par des lames de scie alternative oscillante et des scies à main de même classe	126
B/ Influence sur l'os de la préparation anthropologique par macération dans l'eau chaude à 85°C	148
1- Objectifs	149
2- Matériels et méthodes	149
3- Résultats	164
4- Discussion	168
Discussion générale	173
Conclusion et perspectives	179
Bibliographie	181
Annexe 1	191
Annexe 2	193

Liste des figures

Figure 1 : Martyre de Saint Hippolyte, tableau de Dirk Bouts 1470-1475.....	24
Figure 2 : Photographie du corps démembré de Mary Jane Kelly, page 257 de Vacher l'éventreur et les crimes sadiques (1899) par Alexandre Lacassagne, Éditeurs : A. Storck (Lyon) et Masson (Paris)	26
Figure 3 : Illustration par image TDM (tomodensitométrie) d'un cas de démembrement médico-légal au CHU de Nice	29
Figure 4 : Évolution des publications en rapport avec les démembrements criminels (de 1973 à 2022) et les lésions osseuses produites par les scies sur l'os (de 1974 à 2022) (PubMed) ...	31
Figure 5 : Répartition des localisations de coupe dans les démembrements, selon Adams (2019).....	35
Figure 6 : Répartition des différents modes de démembrement (transsection, désarticulation, combinaison des deux), Adams 2019	36
Figure 7 : Représentation schématique des profils des lésions osseuses produites par les trois grands types d'outils utilisés dans les démembrements	41
Figure 8 : Sens actif et passif le plus fréquemment retrouvé sur les scies.....	43
Figure 9 : Calcul du TPI. Dans cet exemple, on compte 4 dents sur une distance de 1 pouce, donc le TPI = 4.....	44
Figure 10 : Représentation d'un avoyage alterné	45
Figure 11 : Représentation d'un avoyage de type raker	45
Figure 12 : Représentation d'un avoyage ondulé. Les flèches jaunes indiquent montrent les sommets des ondulations dessinées par la lame	46
Figure 13 : Représentation des dents de scie à refendre	46
Figure 14 : Représentation des dents de scie à tronçonner	47
Figure 15 : Représentation des dents de scie universelle.....	48
Figure 16 : Représentation d'un faux départ	48
Figure 17 : Représentation de faux départs expérimentaux sur une diaphyse d'os humain.....	49
Figure 18 : Pâte dentaire habituellement utilisée pour réaliser le moulage de faux départs. (a) Silicone HP Putty® (b) plusieurs moulages de faux départs (c) visualisation facilitée d'un profil de faux départ, par observation du moulage au stéréomicroscope	50
Figure 19 : Représentation d'une coupe complète	50
Figure 20 : Représentation d'un éperon terminal	51
Figure 21 : Représentation de la largeur minimale du faux départ.....	53
Figure 22 : Représentation des différentes formes de murs, et leur correspondance en termes d'avoyage. De gauche à droite (visualisés au stéréo microscope) : murs ondulés, murs droits, murs en forme d'haltère.	57
Figure 23 : Représentation des différents types de stries, et leur correspondance en termes d'avoyage. De gauche à droite : stries ondulées visualisées au stéréomicroscope, stries arrangées par trois sur les côtés, stries fines et droites visualisées au stéréomicroscope.	58
Figure 24 : Représentation d'un îlot osseux visualisé au stéréomicroscope (flèche bleue)	59
Figure 25 : Représentation d'un saut de dent visualisé au MEB.....	60
Figure 26 : Représentation des stries observables sur une coupe complète. Stries de type A (épaisses), stries de type B (fines). Schéma issu de Capuani (2014).....	61
Figure 27 : Représentation du tooth hop (saut de dent). Schéma d'après Capuani 2014.....	62
Figure 28 : Représentation du tooth scratch. Schéma d'après Capuani 2014.	63
Figure 29 : Représentation d'un éperon osseux.....	64
Figure 30 : Illustration de la méthode de mesure de la dureté Vickers, source : https://conceptek.net/fr/techniques-de-base/materiaux/essais-et-contrôles/durete-vickers	70

Figure 31 : Côte de porc après préparation anthropologique au micro-ondes à 100°C durant 5 heures. La surface osseuse n'est pas altérée (Hush 2021)	76
Figure 32 : Fémur de porc observé au stéréomicroscope (A-B), microscope à fluorescence (C), micro-CT (D), après chauffage au micro-ondes puis bain chaud avec nettoyeur chloré et détergent. Des rugosités sont visibles (Hush 2021)	76
Figure 33 : Images au MEB représentant 2 scores différents de capacité à retenir les traces de coupe. (a) score 1 (b) score 3. Images issues de King 2015	77
Figure 34 : Images MEB de la surface osseuse (a) sur os non bouilli (b) bouilli 2h (c) bouilli 4h (d) bouilli 6h. Bosh 2011	78
Figure 35 : Faux départs identifiés sur un fémur au niveau macroscopique, permettant de confirmer l'utilisation d'une scie, Porta 2015	79
Figure 36 : Faux départs identifiés sur un humérus grâce au photomicrographe (a) et au micro-CT (b), Ruttly 2012	79
Figure 37 : Deux faux départs sur un fémur, ayant permis d'identifier des caractéristiques diagnostiques de classe de la scie utilisée par observation microscopique, Ross 2018	80
Figure 38 : Faux départ situé sur une clavicule et visualisé au stéréomicroscope, ; à gauche sur l'os, à droite sur un moulage obtenu à partir de la lésion osseuse	80
Figure 39 : Faux départ situé sur une côte visualisé au microscope électronique à balayage (MEB)	80
Figure 40 : Faux départs de scie autopsique (a) superficiel, visualisé au stéréomicroscope (b) profond, visualisé au stéréomicroscope (c) schéma du faux départ profond, Bernardi 2020 ..	85
Figure 41 : Illustration de la différence d'épaisseur de la corticale entre la diaphyse et l'épiphyse sur un humérus humain	150
Figure 42 : 6 échantillons osseux (A1 à A6) réalisés à partir de deux diaphyses fémorales .	150
Figure 43 : Attribution du temps de préparation aux échantillons A1 à A6	152
Figure 44 : Échantillons osseux après préparation anthropologique et création des faux départs	152
Figure 45 : (a) scie à métaux utilisée pour produire les faux départs (b) lame de la scie utilisée	153
Figure 46 : Fémur de porc avant préparation	158
Figure 47: A gauche os de porcs après préparation, à droite os humains après préparation .	158
Figure 48 : Exemples d'images des os de porcs obtenues au TDM (à gauche en coupe saggitale, à droite en reconstruction 3D) (après préparation)	159
Figure 49 : Exemple d'image des os humains obtenue au TDM en coupe frontale (après préparation)	159
Figure 50 : Exemple d'image des os humains obtenue au scanner (diaphyses fémorales à gauche, diaphyses humérales à droite)	160
Figure 51 : Le dessin représente la tubérosité deltoïdienne sur l'humérus en vue de face. Le repère bleu sur la reconstruction 3D au scanner est positionné à hauteur de la tubérosité deltoïdienne (zone d'intérêt choisie)	161
Figure 52 : Le dessin met en évidence la ligne âpre sur le fémur en vue postérieure. Les repères rouges sont situés à mi-hauteur de la ligne âpre (fémurs humains) sur la reconstruction 3D au scanner (zone d'intérêt choisie)	162
Figure 53 : Repère rouge situé à 7 cm de la ligne de non-fusion de l'épiphyse distale d'un fémur de porc	163
Figure 54 : ROI positionné sur la face postérieure d'un fémur humain sur une coupe axiale au TDM	163

Liste des tableaux

Tableau 1 : Fréquence des démembrements en fonction de la zone géographique dans le monde (d'après Adams 2019).....	28
Tableau 2 : Profil concave ou convexe des faux départs, d'après Nogueira 2016. Les images bleues sont des moulages du profil des faux départs, observés au stéréomicroscope	53
Tableau 3 : Classification de Symes (1992), en fonction de la largeur minimale du faux départ, avec leur correspondance en termes de profil de la lésion et du type de dents.....	54
Tableau 4 : Score entre 1 (surface osseuse conservée) et 5 (très dégradée), évaluant l'impact des méthodes de préparation anthropologique sur la porosité et l'effritement de l'os, la capacité à retenir les lésions et préserver l'intégrité de l'os (King 2015).....	77
Tableau 5 : Principales caractéristiques de la scie à main utilisée pour produire les faux départs	153
Tableau 6 : Description des caractéristiques diagnostiques analysées	154
Tableau 7 : Caractéristiques des échantillons osseux de porc	156
Tableau 8 : Comparaison des largeurs des faux départs en fonction du temps de préparation	165
Tableau 9 : Comparaison des critères morphologiques observés sur les faux départs en fonction du temps de préparation.....	166
Tableau 10 : Comparaison des moyennes de densité osseuse (os de porc) obtenues avant et après préparation anthropologique (10 mesures ont été réalisées pour chaque moyenne de densité osseuse), avec valeur p obtenue par le test de Wilcoxon.....	167
Tableau 11 : Comparaison des moyennes de densité osseuse (os humain) obtenues avant et après préparation anthropologique, (10 mesures ont été réalisées pour chaque moyenne de densité osseuse), avec valeur p obtenue par le test de Wilcoxon.....	167

Introduction

L'anthropologie correspond à l'ensemble des sciences qui étudient l'homme dans ses différentes dimensions. L'union internationale des sciences anthropologiques et ethnologiques (IUAES) reconnaît quatre principales disciplines : l'anthropologie sociale et culturelle, l'archéologie et la paléanthropologie, l'anthropologie biologique, et la linguistique. L'anthropologie n'a donc qu'un seul sujet d'étude, l'humain et sa culture, mais a plusieurs façons de l'étudier. L'anthropologie sociale et culturelle, ou ethnologie, est une discipline des sciences humaines et sociales qui étudie l'homme en société. Selon l'INRAP (Institut National de Recherches Archéologiques Préventives), l'archéologie étudie les vestiges matériels pour en tirer des informations historiques sur les occupations humaines qui se sont succédées et sur leur contexte. Son champ chronologique s'étend de l'apparition de l'Homme jusqu'à nos jours. La paléanthropologie se concentre sur l'évolution de l'Homme, donc sur les différentes étapes évolutives qui ont mené à l'apparition de l'Homme moderne *Homo sapiens*. Elle se base notamment sur l'étude des restes osseux vieux de quelques milliers à plusieurs millions d'années. L'anthropologie linguistique étudie le rôle du langage dans la vie sociale des individus et des communautés. Elle examine la façon dont la langue façonne la communication, forme l'identité sociale et l'appartenance à un groupe, met en place des idéologies et des croyances culturelles à grande échelle, et développe une représentation culturelle commune (Society for Linguistic Anthropology). L'anthropologie biologique est définie comme l'étude de la nature, des causes, des origines et des mécanismes de variations biologiques chez les populations humaines, au niveau moléculaire, cellulaire et tissulaire, avec un intérêt particulier accordé à la relation entre les facteurs génétiques et environnementaux (milieu physique, social ou culturel) responsable de ces variations (International Association of Human Biologists).

Selon les membres de la société américaine d'anthropologie médico-légale (ABFA), l'anthropologie médico-légale est l'application de l'anthropologie aux enquêtes criminelles. Elle utilise les concepts et les méthodes de l'anthropologie biologique (l'étude des caractéristiques physiques des humains). L'anthropologie médico-légale s'intéresse à un seul individu, la victime. Son cadre d'étude est celui des ossements récents (quelques décennies maximum) voire des corps frais car l'anthropologie médico-légale est délimitée par la prescription pénale d'un crime (20 ans en France de manière générale en dehors de crimes particuliers comme ceux relatifs aux actes de terrorisme qui amènent la prescription à 30 ans, en ajoutant les années de minorité, et en décomptant à partir du dernier acte juridique) mais également par des considérations éthiques (identification des disparus) (Quatrehomme 2015). L'anthropologie médico-légale peut par exemple être sollicitée dans le cadre d'une découverte d'ossements, d'un corps squelettisé, d'un corps putréfié ou momifié, d'un corps carbonisé, ou encore d'un corps démembré. Le travail développé ci-après s'est centré sur l'étude des démembrements. L'objectif de cette discipline, comme en médecine légale, est de déterminer les causes et circonstances de la mort et de redonner l'identité au défunt. Elle permet « de faire parler » les os, notamment quand les parties molles ne sont plus exploitables. Pour répondre à ces objectifs, l'abord est multidisciplinaire (médecin légiste, radiologue, odontologue médico-légal, toxicologue, anatomopathologiste, généticien etc.).

Les principales questions auxquelles l'anthropologue médico-légal devra apporter des réponses sont les suivantes :

Déterminer,

- Si le matériel **correspond bien à de l'os**,

- Si cet os est d'**origine humaine ou animale**,

- De **quels os ou fragments d'os il s'agit**. A cette étape, il est conseillé de placer tous les os en position anatomique sur une table, pour faciliter la suite du travail (recherche des os manquants, compréhension de la relation entre plusieurs traumatismes touchant des os différents, recherche de pathologies, ...). La latéralisation des os (gauche – droite) est particulièrement importante pour l'étape suivante.

- Le **nombre minimum d'individus** représenté dans l'ensemble des restes humains à l'étude. Pour cela il est nécessaire notamment de rechercher des multiples d'un même os, mais il existe plusieurs méthodes pour répondre à cette question.

- **Datation des restes**. Pour cela, il faudra notamment rechercher la persistance de parties molles, l'aspect grasseux des os, la lourdeur des os. A cette étape il faut déterminer en priorité si les ossements peuvent avoir moins d'une vingtaine d'années (si les ossements n'ont pas dépassé la période de prescription judiciaire). Il peut s'agir d'un élément délicat à déterminer, car la conservation et l'altération des ossements dépend en grande partie de l'environnement dans lequel il se trouve. Un os conservé à l'abri dans une cave s'altèrera de façon beaucoup moins rapide que s'il se trouve dans une forêt, exposé au soleil. Ce sont les processus taphonomiques qui vont altérer les ossements (la pluie, le vent, le soleil, le pH du sol, l'action des animaux). Parfois, la présence de vêtements, d'objets comme des pièces de monnaie, ou des soins dentaires peut orienter sur l'époque du décès.

- **Profil biologique**, pour l'identification de la victime :

Détermination du sexe

Le dimorphisme sexuel est particulièrement visible au niveau du bassin, du fémur, et dans une moindre mesure au niveau du crâne. Par exemple, au niveau du bassin les différences sexuelles s'expliquent par les contraintes de l'évolution humaine, la tête du bébé relativement grosse devant passer le bassin durant l'accouchement. De manière générale, la taille et la robustesse des os est plus importante chez les hommes. En conséquence, différentes mesures sur les os permettent d'estimer le sexe de la victime en se référant à des tables. Il faut cependant utiliser les différentes méthodes avec prudence, car elles présentent toutes un pourcentage de cas indéterminés ou incorrectement classés qu'il ne faut pas négliger. La méthode des mensurations la plus fiable à ce jour est la méthode DSP (probabilistic sex diagnosis) utilisé au niveau du bassin. Dans tous les cas incertains, l'analyse ADN permettra de déterminer le sexe avec certitude.

Estimation de l'âge

Il repose sur deux processus : la croissance et la dégénérescence. Pour les juvéniles, la chronologie d'apparition des centres d'ossification est très utile, de même que la minéralisation dentaire et les dimensions osseuses. A partir de la poussée de croissance, la longueur des os longs ne peut plus être utilisée. Lors du passage de l'adolescence à l'âge adulte, on utilise les fusions osseuses (en particulier la synchondrose sphéno-occipitale, la disparition de la suture incisive, la fusion des anneaux vertébraux) et l'éruption de la 3^{ème} molaire. A l'âge adulte, il faut évaluer le degré de dégénérescence au moment du décès. On étudie alors notamment la symphyse pubienne (méthode de Suchey-brooks), l'extrémité antérieure de la 4^{ème} côte droite (méthode d'Iskan), la translucidité radiculaire (méthode de Lamendin sur une dent antérieure), ainsi que la sénescence et la dégénérescence arthrosique, notamment vertébrale.

Origine géographique

Elle est principalement estimée à l'aide d'observations et de mesures au niveau du crâne, permettant de placer l'individu parmi trois grandes catégories géographiques, européen (englobant aussi le Maghreb), africain ou asiatique.

Estimation de la stature

Du fait de la relation entre la longueur des os et la taille du sujet, il a été créé des tables de correspondance (tables françaises de Manouvrier et Rollet ; tables américaines de Trotter et Gleser). Les tables sont différentes en fonction de l'origine biogéographique (Europe/Afrique subsaharienne/Asie) et du sexe. Le résultat obtenu sera une estimation de la stature à quelques centimètres près.

Signes particuliers

On recherche la présence de caractères discrets (os wormiens, foramen sternal, ...), ou encore de pathologies diverses, fractures consolidées laissant des traces sur l'os de manière unique. La comparaison de ces données aux dossiers médicaux (ante-mortem) sont utiles à l'identification.

La détermination de l'identité est donc guidée par le profil biologique (**identification reconstructive**). Lorsque ce profil s'oriente vers un individu disparu, on utilisera alors **l'identification comparative**, pour tenter d'obtenir une identification formelle. Les méthodes habituelles sont les comparaisons d'empreintes digitales (quand elles sont encore possibles, par exemple dans les catastrophes de masse), les comparaisons odontologiques (cliniques et/ou radiologiques), les comparaisons ADN et les comparaisons radiologiques. Occasionnellement, la présence d'implants chirurgicaux tels que des pacemakers ou du matériel orthopédique peut être utile. En particulier, il peut être effectué une comparaison entre le numéro inscrit sur le

matériel récupéré et celui mentionné dans le dossier médical ante-mortem de l'individu susceptible d'avoir été retrouvé.

- **Analyse lésionnelle** : il s'agit de rechercher tous les traumatismes présents sur les os retrouvés.

Il faut être particulièrement attentif aux lésions situées dans les zones médico-légales habituelles (crâne, cou, tronc) qui peuvent parfois être de très petites dimensions. La principale difficulté est que la majorité des lésions osseuses visibles est d'origine post mortem. Il faudra donc classer chaque lésion observée en : (a) lésion ante-mortem (présence de signes de réparation osseuse, ce qui signifie que le décès est survenu globalement au moins 10-15 jours après la lésion) ; (b) lésion péri-mortem (lésion soit contemporaine du décès, soit survenue sur une période d'incertitude définie par la présence d'un os vert). Un des critères essentiels permettant de déterminer que la lésion est survenue sur de l'os vert est la déformation permanente, plastique de cette lésion. La période d'incertitude s'étend de 10-15 jours avant le décès (aucune réparation n'est visible), jusqu'à quelques semaines voire quelques mois après le décès ; dans certaines circonstances, par exemple lors de la conservation des os dans une cave ou un grenier, les modifications post mortem restent modestes et l'os peut rester vert plusieurs années ; (c) ou lésion post-mortem (lésion d'origine taphonomique, survenue au minimum quelques semaines ou quelques mois après le décès, sur un os qui n'est plus vert).

Certains types de lésions sont considérés comme contemporains du décès ; il s'agit des lésions par arme à feu et par instrument tranchant. Les lésions tranchantes contondantes sont très habituellement péri mortem. Les lésions contondantes pures peuvent être aussi bien péri mortem que post mortem et posent donc des difficultés d'interprétation. D'autres lésions rencontrées en médecine légale, comme la carbonisation, sont péri ou post mortem.

En ce qui concerne les démembrements, ils sont en France quasiment toujours post mortem, mais cette question est toujours posée aux Assises.

I/ Revue de la littérature

A/ Définition du démembrement criminel

Le démembrement criminel correspond à la section intentionnelle par un agresseur de parties de corps. La définition du démembrement criminel exclut le démembrement thérapeutique, accidentel, suicidaire, ou d'origine taphonomique (dû à l'environnement). Le médecin légiste parle plus volontiers de morcellement du corps (situation fréquente en médecine légale, Quatrehomme et Alunni 2022), d'origine accidentelle ou suicidaire, avant d'envisager un éventuel démembrement criminel.

Le terme « démembrement » est peu adapté, car il ne recouvre pas seulement la section des membres mais bien la section de n'importe quelle partie du corps. Autrement dit, le démembrement peut être défini comme l'amputation d'un membre ou d'une partie de celui-ci, la décapitation, la section à travers la colonne vertébrale, ou d'éventuelles éviscérations (Berger 2018).

B/ Une brève histoire du démembrement

« Aut quae nunc artus avulsaque membra Et funus lacerum tellus habet ? »

« Où trouver ton corps, tes membres arrachés, tes restes funèbres »

Des chercheurs ont retrouvé des traces de démembrements à l'époque de la préhistoire, dans des contextes par exemple de cannibalisme, ou encore de sacrifice ou de pratique rituelle (Black 2017).

L'analyse de restes osseux de Neandertaliens a mis en évidence des comportements cannibales notamment grâce à la découverte sur certains os (os longs, crâne) de traces tranchantes effectuées à l'aide d'outils en pierre et de traces de morsures ressemblant à celles laissées par les dents

de Neandertal plutôt que d'animaux. Ce comportement cannibale serait apparu du fait de changements environnementaux rapides et radicaux à l'origine d'un réchauffement climatique, avec pour conséquence une raréfaction brutale de la nourriture à disposition et la nécessité pour Neandertal de s'adapter pour tenter de survivre (Defleur 2019). Mais cette théorie est controversée.

Dans l'Égypte ancienne, selon la légende, Osiris et Isis étaient « le couple sacré, des Dieux sur la terre. Osiris était le Père, Isis était la Mère et ils s'aimaient ». Seth était jaloux de cet amour et a tué Osiris. Isis en apprenant ce qui était arrivé à son mari s'est lancée à la recherche du sarcophage qu'elle ramena en Égypte. « Seth, frustré, réussit à s'emparer du corps d'Osiris et le découpa en plusieurs morceaux qu'il éparpilla dans toute l'Égypte ». Isis navigua dans toutes les eaux du pays à la recherche des morceaux du corps qu'elle ramena peu à peu. Elle reconstitua le corps de son mari afin qu'il puisse partir dans le royaume de l'au-delà pour atteindre l'immortalité (Manitara 2013).

Dans la Rome antique, au moyen-âge et sous l'ancien régime en France, un criminel pouvait être condamné à mort par écartèlement. Classiquement, on liait chacun de ses membres à un cheval de trait. L'écartèlement fut aboli par le code pénal du 25 septembre 1791.



Figure 1 : Martyre de Saint Hippolyte, tableau de Dirk Bouts 1470-1475

A la Renaissance, en Italie, César Borgia, pour imposer son pouvoir par la force provoquât une terreur spectaculaire ayant valeur d'exemple en faisant couper en deux le corps d'un gouverneur, Ramiro dell'Orco soupçonné de l'avoir trahit (Brion 2015).

Le roi Louis XVI, dernier roi de l'Ancien régime est mort décapité par la guillotine en 1793.

À partir du XIXe siècle, l'image du corps fragmenté devient dans l'inconscient culturel moderne associée à la fureur, la folie, et la sauvagerie (Foucault 1975).

En 1888, entre la fin du mois d'août et le début du mois de novembre, dans le quartier de Whitechapel, à Londres, cinq prostituées avaient été assassinées. Ces meurtres étaient tous attribués à la même personne du fait de plusieurs similitudes dans le mode opératoire. Jack l'Éventreur devenu synonyme de sérial killer agissait toujours la nuit. Il tuait ses victimes en les égorgeant, puis les éventrait en leur retirant certains organes ;

- Le corps de Annie Chapman fut découvert le 8 septembre 1888 dans une cour arrière, la gorge ouverte par deux entailles, l'abdomen totalement ouvert avec l'utérus retiré.

- Le corps de Catherine Eddowes fut trouvé le 30 septembre 1888. La gorge avait été tranchée, et l'abdomen avait été ouvert par une plaie profonde et irrégulière. Le rein gauche et la plus grande partie de l'utérus avaient été retirés.

- Le corps de Mary Jane Kelly fut découvert gisant sur le lit de la pièce unique où elle vivait le 9 novembre 1888. La gorge avait été tranchée jusqu'aux cervicales, et l'abdomen pratiquement vidé de ses organes. Le cœur manquait.

En 2019, dans la revue *Journal of Forensic Sciences*, deux scientifiques britanniques, Jari Louhalainen et David Miller ont affirmé que « Jack The Ripper » était celui déjà considéré comme le principal suspect, Aaron Kosminski, barbier et émigré polonais, âgé de 23 ans au

moment des faits, décrit comme quelqu'un de paranoïaque et souffrant d'hallucinations, qui n'a pas été condamné et qui est mort en 1919, interné dans un asile (Louhelainen 2019). Il se sont basés sur le châle retrouvé par les enquêteurs sur le corps de Catherine Eddowes, sur lequel ils ont découvert du sang et du sperme. Ils en ont extrait l'ADN mitochondrial et ont réalisé des comparaisons sur les descendants vivants.



Figure 2 : Photographie du corps démembré de Mary Jane Kelly, page 257 de Vacher l'éventreur et les crimes sadiques (1899) par Alexandre Lacassagne, Éditeurs : A. Storck (Lyon) et Masson (Paris)

Le 10 août 2017, Peter Madsen avait embarqué dans son sous-marin artisanal Kim Wall, 30 ans, journaliste suédoise, qui projetait d'écrire un portrait de l'inventeur. Elle avait été portée disparue dans la nuit par son compagnon et son corps avait ensuite été retrouvé en mer, démembré. Peter Madsen aurait embarqué dans le sous-marin peu de temps avant les faits une scie à bois, des sangles de valise et un tournevis affûté de 50 cm de long (L'express, le 26 septembre 2018).

Depuis de nombreuses années, dans le cadre d'affrontements entre les cartels mexicains qui se disputent le territoire pour contrôler les activités liées à la production, la distribution et la

consommation de drogue, de nombreux meurtres sont commis avec torture, décapitations et autres démembrements, habituellement sur des victimes vivantes. De plus, pour impressionner les populations, à "but pédagogique" les *sicarios* (*tueurs à gages*) diffusent aux locaux des vidéos des atrocités commises avec pour devise "plata o plomo" (de l'argent ou du plomb").

C/ Intérêt – pertinence du sujet d'étude

1- En rapport avec la réalité médico-légale

De premier abord, pour un citoyen au regard non averti, le démembrement criminel pourrait correspondre à un fait quasi-inexistant de notre société moderne.

L'actualité démontre régulièrement le contraire. Rien qu'en France, en prenant connaissance de la presse de ces dernières années on retrouve par exemple les titres suivants : « Toulouse : 27 ans de prison pour avoir tué et démembré sa collègue de travail » (le 25 octobre 2019, Le Figaro), « Vosges : un homme incarcéré pour le meurtre et le démembrement d'un trentenaire » (Ouest France, le 24 juin 2019), « poursuivi pour le meurtre et le démembrement d'un homme dans une maison de Melrand, en janvier 2017, un couple a été condamné à 30 ans de réclusion criminelle » (le 11 septembre 2020, Le Télégramme), « Homme décapité dans le Tarn-et-Garonne : son colocataire reconnaît le meurtre et le démembrement » (TF1 info, le 27 décembre 2021), « l'assassin présumé de Sophie Le Tan a reconnu avoir tué et démembré la jeune étudiante mais nie toute préméditation » (Ouest France, le 04 juillet 2022).

S'inscrivant également dans notre actualité, en rapport avec la guerre entre l'Ukraine et la Russie, la notion de crime de guerre est régulièrement évoquée dans les médias avec notamment de possibles démembrements, sans que les investigations médico-légales n'aient encore pu avoir lieu afin de répondre à ces questions.

Adams (2019) a répertorié la fréquence des cas de démembrement en fonction de la zone géographique du monde (Tableau 1) à partir de séries médico-légales de démembrements criminels, publiées dans la littérature. Cette fréquence varie en fonction des zones géographiques entre 0,24 et 2,66 cas par an. Il apparaît que la fréquence des cas dans certaines grandes villes peut être similaire à celle de certains pays entiers. Pour exemple, il a été retrouvé pour la ville de New York 2,50 cas par an, résultats similaires à des pays entiers comme le royaume uni (2,66 cas par an) ou le Japon (2,58 cas par an). Ces chiffres sont probablement très sous-estimés.

Lieu	Période (en années)	Nombre total de cas rapportés	Moyenne du nombre de cas par an
Royaume-Uni	32	85	2,66
Japon	52	134	2,58
New York	22	55	2,50
Corée	17	27	1,59
Finlande	10	13	1,30
Hambourg, Allemagne	28	21	0,75
Suisse	30	17	0,57
Cracovie, Pologne	38	20	0,53
Comté de Maricopa, Arizona	29	7	0,24

Tableau 1 : Fréquence des démembrements en fonction de la zone géographique dans le monde (d'après Adams 2019)

En Europe, selon les données disponibles, à l'échelle d'un pays comme le Royaume-Uni, il y aurait eu entre 4 et 5 démembrements par an entre 2011 et 2016 (Black 2017).

Il n'existe pas de données médico-légales publiées concernant le nombre de démembrements criminels par an en France. L'institut médico-légal du CHU de Nice traite entre 16 et 28 homicides par an (la majorité des homicides est d'origine balistique, suivie des lésions par arme blanche). Au sein de ces homicides, on retrouve 6 cas de démembrement au cours des 10 dernières années. Dans plusieurs cas, l'utilisation d'une scie a été identifiée.



Figure 3 : Illustration par image TDM (tomodensitométrie) d'un cas de démembrement médico-légal au CHU de Nice

2- En rapport avec la recherche scientifique

Les pionniers dans la recherche sur les traces osseuses laissés par des instruments dans les cas de démembrements criminels sont Bonte (1975), Guilbeau (1989), Andahl (1978), et Symes (1992).

Depuis, les travaux de recherche se sont développés pour les différents types d'instruments habituellement utilisés dans les démembrements (couteaux, scies, haches ou apparentés). Dans le cas particulier des scies, deux types de lésions osseuses ont été particulièrement étudiées expérimentalement (faux départ, coupe complète) pour identifier en fonction du type de scie utilisé les caractéristiques diagnostiques imprimées sur l'os (par exemple, Symes 1998, Reichs 1998, Bailey 2010, Freas 2010, Capuani 2014, Quatrehomme 2015, Nogueira 2017, Norman 2018, Alsop 2021, ...). Un dernier type de lésion produit sur l'os par les scies (l'éperon terminal) a été très peu étudié (Symes 1998), car il semble apporter que peu d'informations.

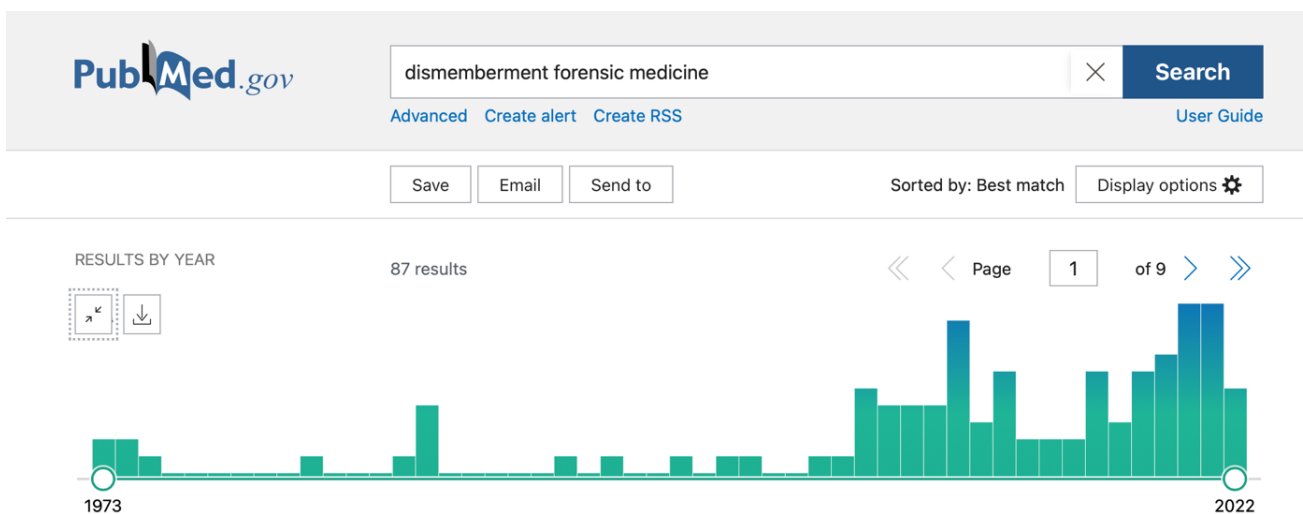
Des études de cas médico-légaux ont mis en application cet apprentissage expérimental pour déterminer la classe de la scie qui a été utilisée pour produire les lésions (Delabarde 2010, Ruty 2012, Porta 2015, Baier 2016, Black 2017, Ross 2018).

Certains travaux décrivent des caractéristiques uniques à l'instrument afin d'identifier l'instrument unique à l'origine des lésions (Bonte 1975, Saville 2007).

Certains auteurs se sont intéressés à l'impact de l'exposition de l'os aux flammes sur l'identification des lésions osseuses, ce qui est pertinent, car dans l'expérience de notre service il a été retrouvé à deux reprises des corps à la fois démembrés et carbonisés (Marciniak 2009, Robbins 2015).

Des travaux expérimentaux plus récents, tentent de s'approcher au mieux les conditions médico-légales réelles, en réalisant les lésions de scies sur l'os accompagné de ses parties molles (Capuani 2014, Berger 2018, Alsop 2021), ou en étudiant l'impact de la présence des parties molles lors de la création des lésions pour l'identification ultérieure des caractéristiques diagnostiques (Norman 2018).

Les publications sur les démembrements sont en croissante évolution au cours du temps, et plusieurs équipes publient régulièrement sur ce sujet (Figure 4).



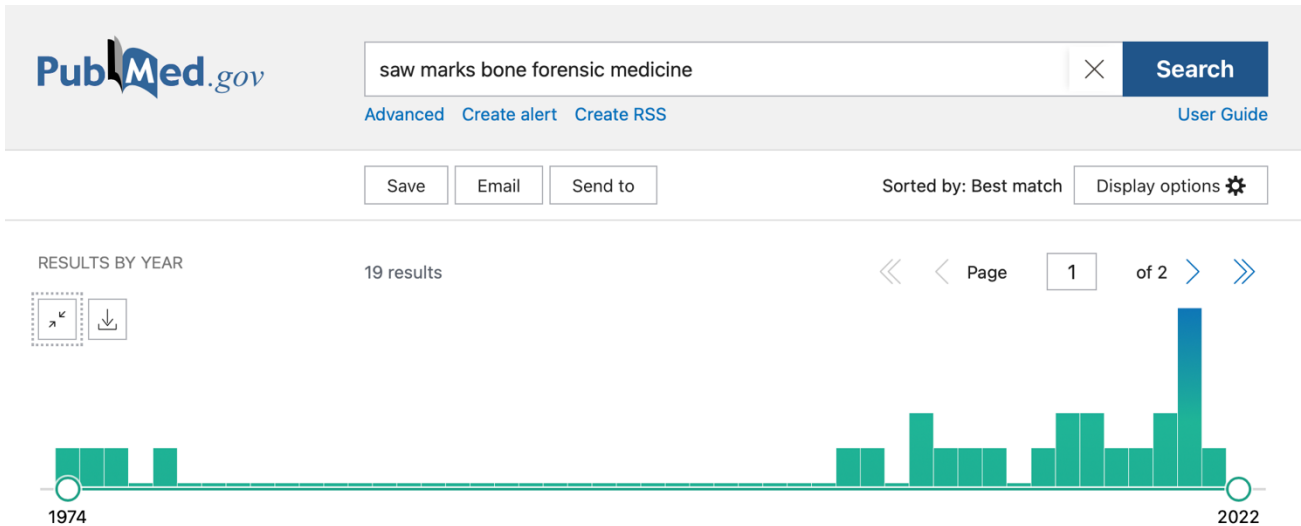


Figure 4 : Évolution des publications en rapport avec les démembrements criminels (de 1973 à 2022) et les lésions osseuses produites par les scies sur l'os (de 1974 à 2022) (PubMed)

D/ Données médico-légales sur les démembrements criminels

1- Différents types de démembrements criminels

Classiquement, quatre types de démembrements sont décrits (Püschel et Koops 1987, Rajs 1998).

Cette classification est basée sur l'intention de l'auteur ;

Le démembrement défensif sert à retarder l'identification de la victime, à faciliter l'élimination du corps devenu bien encombrant (Di nunno 2006), et à tenter de dissimuler la cause du décès (Quatrehomme 2015). Il existe souvent une amputation des extrémités (mains notamment) et une décapitation. La motivation du démembrement est donc purement utilitaire. Le démembrement défensif est le type le plus fréquent. Dans l'étude de Black (2017), répertoriant 47 cas de 1985 à 2016 au Royaume – Uni, 82 % des cas étaient catégorisés en démembrement défensif, dans l'étude de Kanopka (2007), répertoriant 23 cas entre 1968 et 2005 à Cracovie en Pologne, 74% des cas étaient décrits comme des démembrements défensifs.

Pour le **démembrement agressif**, il existe une agressivité vis-à-vis du corps. Le démembrement peut impliquer le visage, les organes génitaux, les viscères.

Le **démembrement offensif** (ou meurtre nécro-sadique), implique une activité sexuelle. L'auteur peut soit tuer et se livrer à des activités sexuelles sur le cadavre, ou avoir une activité sexuelle en infligeant des douleurs ou en tuant. Le démembrement survient avant ou après la mort, et touche des parties du corps à connotation sexuelle comme les seins, les mamelons et les organes génitaux.

En ce qui concerne le **démembrement nécro-maniaque**, le sujet tire son plaisir du démembrement de cadavres. Il s'agit d'obtenir des parties du corps sectionnées comme trophée, symbole ou fétiche.

A cette classification habituelle, on peut rajouter le **démembrement comme moyen de menace ou de communication**. Il est utilisé dans des contextes de rivalité entre groupes criminels violents, comme menace, pour persuader l'autre partie de renoncer à ses activités ou pour persuader de rejoindre de tels groupes, car le refus de le faire pourrait entraîner leur mort et leur démembrement (Black 2017).

Tous les types de démembrement criminel, sauf le démembrement nécro-maniaque, surviennent dans un contexte d'homicide.

2- Profil psychologique des auteurs

Concernant le **démembrement défensif**, le corps est souvent retrouvé dans la zone de confort de l'auteur. L'homicide n'est souvent pas planifié. L'auteur n'est souvent pas organisé et se retrouve soudainement avec un corps sans vie dans sa maison ou son appartement. Il est alors confronté à la nécessité de se débarrasser d'un corps sans préparation théorique ou pratique. Dans ce type de démembrement il peut y avoir un transport des parties du corps qui sont dispersées à des endroits différents, ou un corps démembré laissé sur le lieu du crime (Rajs 1998). Il est communément admis que le démembrement défensif n'est pas sous-tendu par une pathologie psychiatrique de l'auteur. On notera cependant que dans l'étude de Rajs (1998), la plupart des auteurs bénéficiaient de soins psychiatriques, et étaient consommateurs d'alcool et de drogues. Une tendance à la dépression pouvant aller jusqu'au suicide a pu être retrouvée chez certains auteurs de démembrements défensifs. On relèvera que ce type de démembrement exclut généralement des auteurs souffrant de pathologie psychiatrique de type psychotique.

Concernant le **démembrement agressif**, l'auteur et la victime ont généralement des liens proches (parents, amis, connaissances). Le démembrement survient dans la continuité du meurtre. Les démembrements de ce type sont décrits dans des contextes par exemple religieux, politiques, de jalousie ou de revanche. Dans ce type de démembrement, on peut retrouver des agresseurs psychotiques, notamment atteints de schizophrénie, ou présentant des troubles de l'humeur (Rajs, 1998).

Le **démembrement offensif** était habituellement réalisé par un auteur organisé qui avait soigneusement planifié le démembrement comme une partie importante de son crime. Le démembrement se déroule dans un endroit où l'auteur sait qu'il ne sera pas perturbé. Il est probable que cet auteur ait tué avant ou qu'il soit un serial killer et qu'il s'agisse d'une escalade

dans la violence compulsive. Rendre la victime sans défense par un traumatisme contondant, des menottes, l'anesthésie, l'alcool, la drogue ou l'asphyxie peut être associé au sadisme sexuel, car il permet à l'auteur d'exercer un plus grand contrôle et un plus grand pouvoir sur la victime. Le démembrement est souvent le point culminant de la carrière criminelle. Les auteurs ont souvent commis des actes criminels avant le démembrement, comme un viol, un incendie criminel, des violences physiques, de la cruauté envers les animaux. La moitié des auteurs avaient dans leurs antécédents des contacts avec la psychiatrie, pour anxiété, toxicomanie et crimes violents. Selon l'unité des sciences du comportement du FBI, les typologies de ce type d'auteur peuvent être de deux types : soit le sujet est organisé il est alors psychopathe, soit le sujet est désorganisé il est alors psychotique (Geberth 1991, Rajs 1998). Ce type de démembrement peut être combiné au cannibalisme ou vampirisme.

Rajs (1998) rapporte le cas d'un **démembrement nécromaniaque**. Il ne s'agissait pas d'un meurtre mais d'un acte nécromaniaque envers sa mère, enterrée par son fils âgé, qui voulait avoir des parties de sa mère à la maison comme fétiches. Cet homme avait été considéré comme désorganisé et n'a fait aucune tentative pour cacher son activité (Rajs 1998).

De façon schématique, le démembrement défensif permet de retarder l'identification et de faciliter le transport du corps pour s'en débarrasser. Dans le démembrement agressif il s'agit de dépersonnaliser la victime et dans le démembrement offensif il s'agit de la déshumaniser (Rajs 1998).

3- Localisation anatomique des coupes

Adams (2019) (Figure 5) retrouvait dans son étude sur 30 cas de démembrement survenus à New York, que les zones de démembrement les plus fréquentes étaient situées au niveau du cou, des épaules, des hanches et des genoux. Des emplacements peu fréquents étaient retrouvés : le torse, les coudes et les pieds. Il est à noter dans cette étude un nombre relativement faible de démembrement au niveau des poignets (5 cas sur 30). Dans l'étude répertoriant 51 cas de démembrements survenus à Hambourg en Allemagne (Wilke-Schalhorst 2019), il a été retrouvé des amputations au niveau de la tête, des hanches, des épaules et du thorax dans les cas défensifs.

Dans l'étude de Adams (2019), les sections médianes des os étaient très rares. Le démembrement était effectué de manière générale proche des articulations. Il y avait une tendance générale à la symétrie des coupes. Dans le cas où le démembrement ne comprenait que deux parties du corps, il comprenait toujours la décapitation.

La tendance à la symétrie des coupes et le fait que la décapitation soit toujours retrouvée lorsque le corps était uniquement séparé en deux était également noté dans l'étude réalisée en Suède (Rajs 1998), en Croatie (Kanopka 2007) et à Hambourg (Wilke-Schalhorst 2019).

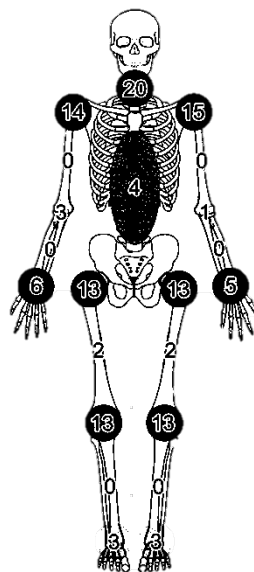


Figure 5 : Répartition des localisations de coupe dans les démembrements, selon Adams (2019)

4- Différents types de coupes

Le démembrement peut s'effectuer par désarticulation, transection, ou combinaison des deux (Rainwater 2015).

La désarticulation indique que le démembrement a été obtenu en coupant entre les os au niveau des articulations, généralement avec un couteau.

La transection indique que des coupes ont été faites à travers l'os. Elle s'effectue avec une scie ou une hache.

Dans l'étude de Adams (2019) (Figure 6), 53% des démembrements étaient effectués uniquement par transection, 35% par désarticulation uniquement et dans 13% des cas par une combinaison des deux. Dans la catégorie des transections, il a été retrouvé 16 cas sur 30 où l'instrument utilisé était une scie, et 13 cas / 30 où il s'agissait d'une hache.

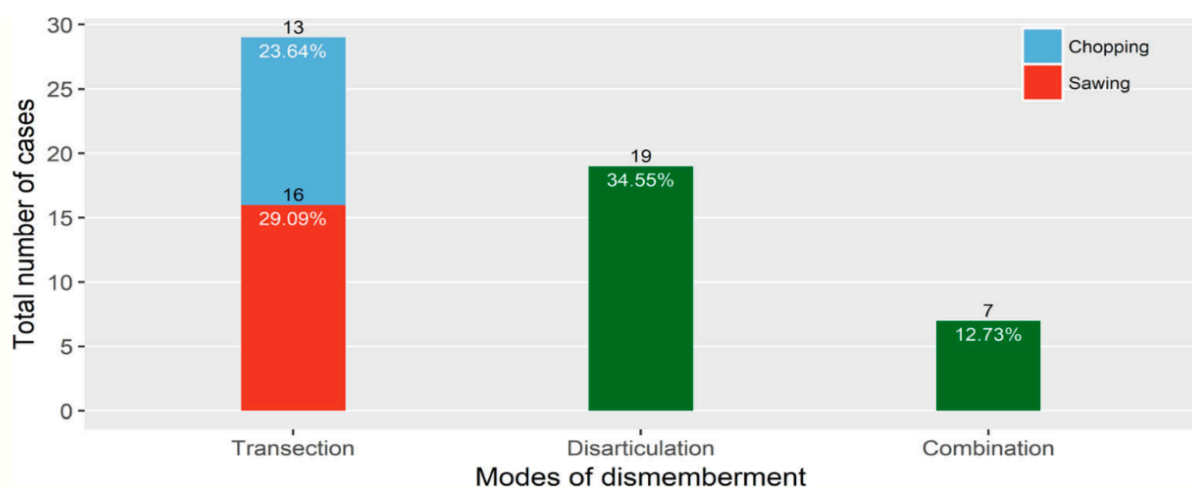


Figure 6 : Répartition des différents modes de démembrement (transection, désarticulation, combinaison des deux), Adams 2019

Rajs (1998) précise que l'étude de la coupe est particulièrement utile car en plus d'aider à identifier l'outil utilisé, l'os peut donner des informations sur les compétences et la profession de l'auteur : une force brutale menant à des fractures, un manque de connaissances, des

connaissances en anatomie et en orthopédie, des efforts pour cacher ses connaissances. Il est évidemment possible de dissimuler des connaissances en anatomie, mais il ne paraît guère possible de les simuler.

Le nombre moyen de parties de corps après démembrement était compris entre 2,7 et 8,9 selon les séries (Adams 2019). De rares cas ont été décrits dans la littérature avec un très grand nombre de parties de corps. Konopka (2006) décrit un cas avec un corps séparé en 850 parties. L'auteur aurait tenté de les broyer dans un hachoir à viande et de les éliminer dans la canalisation.

5- Instruments utilisés dans les démembrements criminels

Le démembrement nécessite habituellement plusieurs instruments. Il est généralement réalisé à l'aide de couteaux, scies ou haches (Quatrehomme 2007, Bailey 2010, Delabarde 2010). Selon Konopka (2007) et Wilke-Schalhorst (2019), les couteaux et les scies sont principalement utilisés pour le démembrement. Souvent une combinaison des deux est utilisée. Le couteau est aussi l'instrument qui peut être utilisé pour commettre l'homicide.

Le couteau peut être utilisé pour couper les parties molles pour atteindre l'os, permettant ainsi de scier ce dernier plus aisément. Le couteau est également utilisé pour les désarticulations qui sont difficiles à réaliser. Souvent la tentative de désarticulation échoue et le criminel s'attaque aux diaphyses des os longs (Quatrehomme 2007).

Les scies sont utilisées pour couper les diaphyses des os longs, séparer le tronc de la tête (Bonte 1975, Rajs 1998, Reichs 1998, Bilge 2003, Di nunno 2006, Konopka 2007, Quatrehomme 2007, Dogan 2010, Delabarde 2010, Quatrehomme 2015).

Tous les types de scie peuvent être utilisés mais le plus souvent il s'agit de scies à main (Quatrehomme 2015).

La hache ou hachette est un instrument habituellement utilisé pour commencer ou terminer les coupes difficiles (Nogueira 2017).

Les criminels utilisent généralement des outils qui sont facilement disponibles (que l'on retrouve dans tous les magasins de bricolage) et qui peuvent être déjà en leur possession au moment du crime (Symes 1992, Rajs 1998, Konopka 2007, Dogan 2010, Berger 2018).

6- Temps nécessaire pour le démembrement

Cette question est fréquemment posée lors des procès en Cours d'Assises au médecin légiste. Pour autant, apporter une réponse scientifique précise s'avère difficile. Il faut alors se référer aux quelques données de la littérature ;

Pour Rajs (1998), l'estimation du temps nécessaire au démembrement est difficile. Wilke-Schalhorst (2019), décrit que la procédure de démembrement défensif d'un cadavre peut s'étendre sur plusieurs jours. Selon Olbrycht 1932, un homme fort aurait besoin d'environ 2 heures. Bschor en 1970 décrit qu'un auteur aurait avoué avoir démembré et nettoyé les lieux en moins de 3h. Les auteurs avaient déduit de ce cas que l'exercice de cette tâche physiquement ardue et psychologiquement exigeante nécessitait une volonté très forte. Edler en 2016 décrit le cas d'une femme de 65 ans qui aurait démembré en 100 parties son mari et nettoyé les lieux en quelques heures (Wilke-Schalhorst 2019). Dans l'expérience de notre service, il peut être retrouvé des cas de démembrement rapide, réalisés par exemple en moins d'une heure, y compris chez des personnes sans connaissances anatomiques. Les tentatives de désarticulation, souvent non couronnées de succès, allongent la durée du démembrement.

Dans le cas du démembrement agressif, le temps sera beaucoup plus court, de quelques minutes à une heure. Dans le cas de mutilation offensive, le temps sera augmenté de plusieurs heures ce qui donne à l'auteur une grande excitation sexuelle (Rajs 1998).

7- Rôle de l'anthropologie médico-légale dans les démembrements criminels

L'autopsie judiciaire est indispensable et particulièrement délicate lors des démembrements (Quatrehomme 2007, 2015). Il s'agit d'une autopsie complexe, qui nécessite un bilan radiologique, toxicologique, histologique, entomologique, etc. L'anthropologie médico-légale n'intervient que dans un deuxième temps et à plusieurs objectifs :

L'identification reconstructive (profil biologique) pour aider à l'identification en l'absence par exemple de la tête et des mains, ou en cas de corps décomposé.

Déterminer la cause du décès (avec l'aide de l'autopsie) par la recherche de lésions osseuses par arme blanche, arme à feu ou instrument contondant.

L'étude (macroscopiquement et microscopiquement) **des extrémités cutanées, viscérales et osseuses sectionnées.**

Dans les cas de démembrement criminel, on retrouve sur l'os des traces spécifiques à chaque outil ou instrument utilisé qu'il faut rechercher. Plusieurs publications montrent le potentiel des lésions laissées sur l'os pour identifier l'instrument en cause, et donc fournir des éléments techniques utiles à l'enquête (Symes 1992, Reichs 1998, Symes 1998, Saville 2007, Delabarde 2010, Bailey 2011, Capuani 2014). Il s'agit d'un domaine complexe, car les lésions osseuses produites par un instrument peuvent présenter de nombreuses variations.

De façon théorique, les trois types d'instruments sont distingués de la manière suivante :

Le couteau utilisé avec le fil de la lame (mouvement de coupe parallèle à la surface osseuse), produira une lésion osseuse présentant un profil en forme de « V étroit », aux berges régulières, avec des stries microscopiques parallèles au fond de la lésion (Quatrehomme, 2015). Il existe cependant des difficultés d'interprétation, par exemple quand le couteau est ôté plus ou moins perpendiculairement à la surface osseuse ou s'il est utilisé en percussion, il produira alors des stries perpendiculaires au fond de la lésion.

Pour la hachette et les instruments apparentés, on retrouvera souvent un bord de la lésion osseuse régulier et un bord irrégulier, un profil en « V large », avec un effet à distance de la lésion (lateral pushing back) (Alunni 2005), des stries microscopiques perpendiculaires au fond de la lésion (Quatrehomme 2015).

Pour les scies, la lésion osseuse présente une forme plus ou moins carrée, ainsi que des stries macroscopiquement visibles et qui sont parallèles au fond de la lésion (Quatrehomme, 2015).

D'une façon générale, la direction des stries indique la direction du mouvement de l'instrument.

La notion classique de « V étroit » pour les couteaux, « V large » pour les haches et instruments apparentés, et de « profil carré » pour les scies (Figure 7), est loin d'être aussi caricatural dans les observations médico-légales, du fait de nombreuses variations.

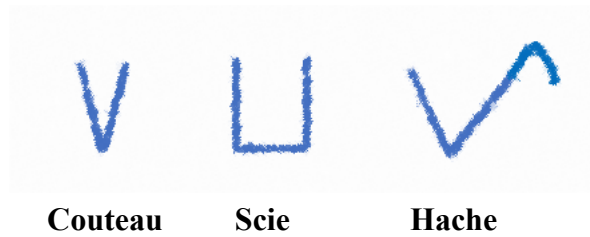


Figure 7 : Représentation schématique des profils des lésions osseuses produites par les trois grands types d'outils utilisés dans les démembrements

Une fois que la catégorie d'instrument (couteau, scie, hache) a été déterminée, il faudra tenter d'apporter des précisions sur les caractéristiques de l'outil.

E/ Classification des scies

Lorsque l'on s'intéresse à l'étude des traces osseuses laissées par les scies, la première étape consiste à connaître la manière dont on classe les scies.

Une scie est essentiellement une pièce métallique qui possède des dents coupantes (Saville 2007).

Il existe une variabilité très importante de scies (Blackburn 1974). Selon les pays, certaines seront plus représentées. On peut notamment constater une grande différence entre les pays asiatiques (scies japonaises kataba, ryoba, ...), et les pays occidentaux (scie égoïne, scie à archet, scie à dos, ...). Les scies égoïnes (venant du latin *scobina* signifiant "lime"), sont très utilisées en Occident. Ce sont des scies à main qui n'ont pas de dos.

On peut constater que dans les magasins d'outillage, les scies sont très mal référencées selon leurs paramètres de bases.

Très habituellement ce sont les scies à main qui sont utilisées en cas de démembrement, mais des cas d'utilisation de scies électriques portatives ont été décrits (Madea 2000). En revanche les scies électriques à table sont très peu utilisées (Quatrehomme 2015).

La classification d'une scie se fait selon 4 grands critères (Andahl 1978, Capuani 2014) :

Il s'agit soit d'une **scie à main** soit d'une **scie électrique**

Elle possède un **nombre de dent déterminé sur une distance d'un pouce**, c'est le **TPI**

La lame possède un **avoyage** (de type ondulé, alterné, ou raker)

Le **type de dent** peut être à refendre, à tronçonner, ou universel

1- Scie à main ou scie électrique

Plus précisément, on parle de scie à main ou mécanique.

La scie à main est constituée d'une lame munie de dents acérées et d'un manche. Elle est actionnée par la force musculaire. L'opérateur effectue des mouvements d'allers-retours. Le coup de scie actif est celui qui coupe, alors que le coup de scie passif est celui qui permet de redémarrer un cycle de coupe. La direction active de la coupe est dépendante de la conception des dents, car les dents sont fabriquées pour mordre dans une direction déterminée. La plupart du temps le coup de scie actif est fait en poussant (Quatrehomme 2015) (Figure 8).

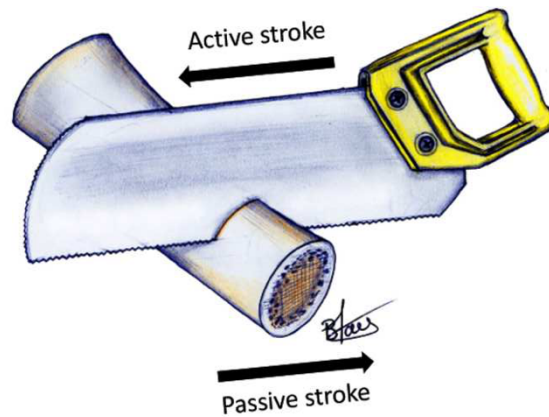


Figure 8 : Sens actif et passif le plus fréquemment retrouvé sur les scies

Les scies mécaniques correspondent aux scies actionnées par un moteur à gaz, électrique ou pneumatique (Symes 1992). Elles incluent également les scies alimentées par batterie (Berger 2018). Parmi les scies mécaniques, il existe les scies électroportatives et les scies à table. Parmi les scies électroportatives, il existe les scies circulaires qui produisent des coupes droites avec une lame qui a une action unidirectionnelle (Berger 2018), et les tronçonneuses qui coupent du matériau mou à grande vitesse. Moore (2014) a démontré qu'il existe des différences significatives dans les traits de scie des tronçonneuses en fonction du type de chaîne et de la conception des dents. En plus des tronçonneuses, des scies circulaires ont également été signalées dans des contextes médico-légaux (Moore 2014).

Le cas particulier des scies alternatives oscillantes

Les lames de scies alternatives oscillantes se déplacent dans les deux sens, d'avant en arrière, grâce à une alimentation électrique, à batterie, à gaz ou pneumatique (Symes 1998). Les scies réciproques peuvent être équipées d'une variété de lames différentes, et ces lames possèdent les mêmes caractéristiques que les scies à main. Selon Berger (2018) et Symes (1992), les lames de scies alternatives oscillantes reflètent généralement les caractéristiques de classe établies pour les lames manuelles.

2- Le nombre de dents par pouce, TPI

Chaque lame possède un nombre de dents par pouce (Saville 2007, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016). La mesure se fait en nombre de dents par pouce (TPI) (Figure 9), “*teeth per inch*”, ou en pointes par pouce (PPI), “*points per inch*”. Le nombre de PPI est supérieur d’une unité au nombre de TPI.

Plus le TPI est grand, plus les dents sont petites.

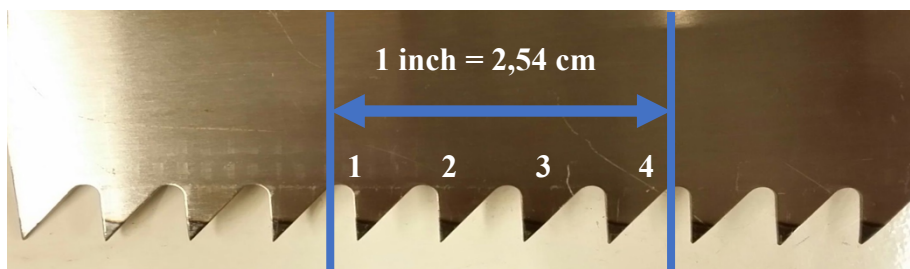


Figure 9 : Calcul du TPI. Dans cet exemple, on compte 4 dents sur une distance de 1 pouce, donc le $TPI = 4$

3- L'avoyage

Quand on regarde de la lame d'une scie, les dents ne sont pas toutes alignées les unes derrière les autres, elles présentent un avoyage (Saville 2007, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

Une denture avoyée signifie que les dents sont inclinées, par exemple de façon alternative à droite et à gauche, ce qui augmente la largeur du trait de coupe et permet à la lame de glisser facilement en l'empêchant de se coincer ou de se plier (Saville 2007, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

Les différents avoyages possibles sont les suivants :

Le plus commun est l'**avoyage alterné** (alternating set) (Figure 10). Dans ce cas chaque dent est inclinée alternativement dans un sens et dans l'autre, selon la séquence droite, gauche, droite, gauche, ...

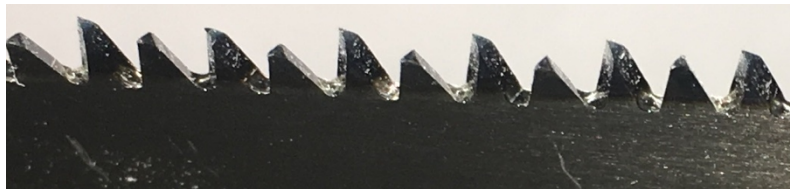


Figure 10 : Représentation d'un avoyage alterné

L'**avoyage raker** (raker set) (Figure 11) possède une **dent raker**, qui est une dent spécialisée en forme de « W » qui est placée toutes les 5 à 7 dents et qui enlève les imperfections qui se trouvent au fond de la lésion, nettoie les résidus issus de la coupe. La dent raker n'est pas avoyée, mais les autres dents le sont (Saville 2007, Capuani 2014, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

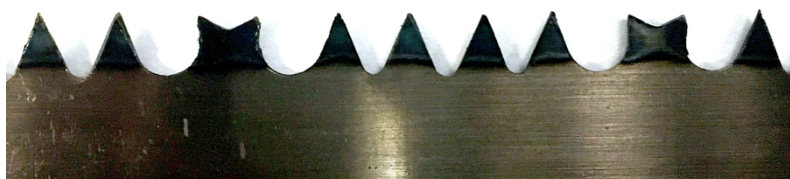


Figure 11 : Représentation d'un avoyage de type raker

L'**avoyage ondulé** (wavy set) (Figure 12) : c'est un avoyage par groupe de plusieurs dents, alternativement à gauche et à droite, donnant une courbure en vague de la lame et non des dents (Saville 2007, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016). Chaque vague est formée de nombreuses petites dents qui peuvent être assimilées à une simple dent (Andahl 1978, Quatrehomme 2015).

Autrement dit, ce type d'avoyage forme des ondulations par groupe de plusieurs dents.

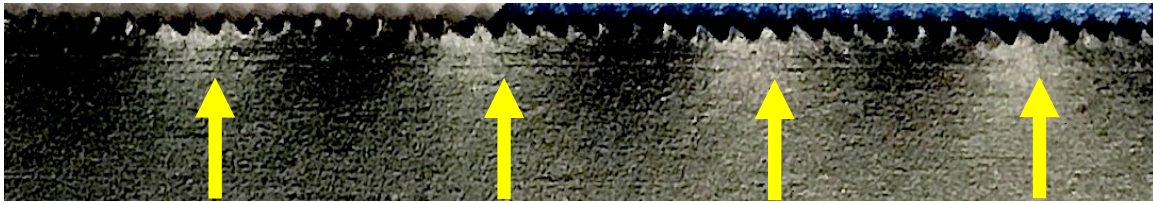


Figure 12 : Représentation d'un avoyage ondulé. Les flèches jaunes indiquent montrent les sommets des ondulations dessinées par la lame

4- Le type de dents

Le type de dent est déterminé par l'angle d'attaque de la dent dans le matériau. Il peut être de 3 types :

La scie à refendre (Figure 13)

L'arête frontale tranchante de la dent est disposée perpendiculairement à la lame, ce qui veut dire que l'angle d'attaque du matériau est de 90° , correspondant à un véritable coup de burin (Quatrehomme 2015). Le sommet de la dent a un angle d'environ 60° (Symes 2012, Quatrehomme 2015). Ces scies sont conçues pour couper dans le sens du fil du bois.

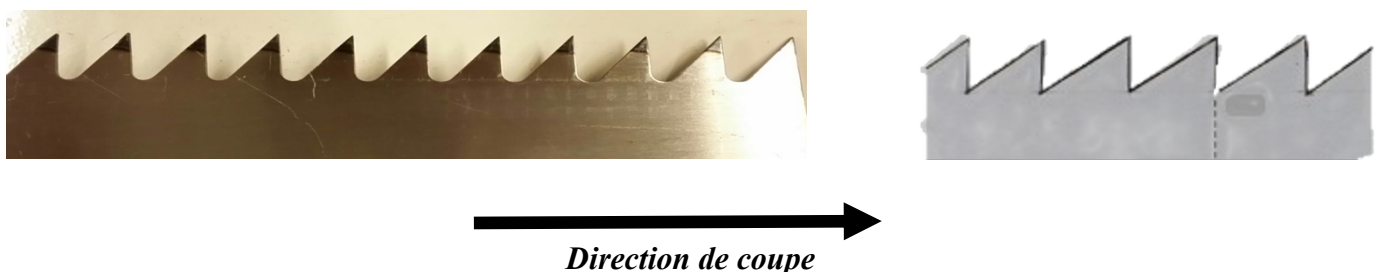


Figure 13 : Représentation des dents de scie à refendre

Les scies à tronçonner (Figure 14)

L'angle d'attaque de la dent est incliné vers l'arrière d'environ 14° avec la verticale. Le sommet de la dent fait environ 60° comme pour les scies à refendre (Jackson 2005, Quatrehomme 2015).

Il est souvent associé un affûtage latéral des dents créant un biseau sur chaque bord, sur une face alternée d'une dent sur l'autre. Ces scies sont conçues pour couper dans le sens perpendiculaire au fil du bois.

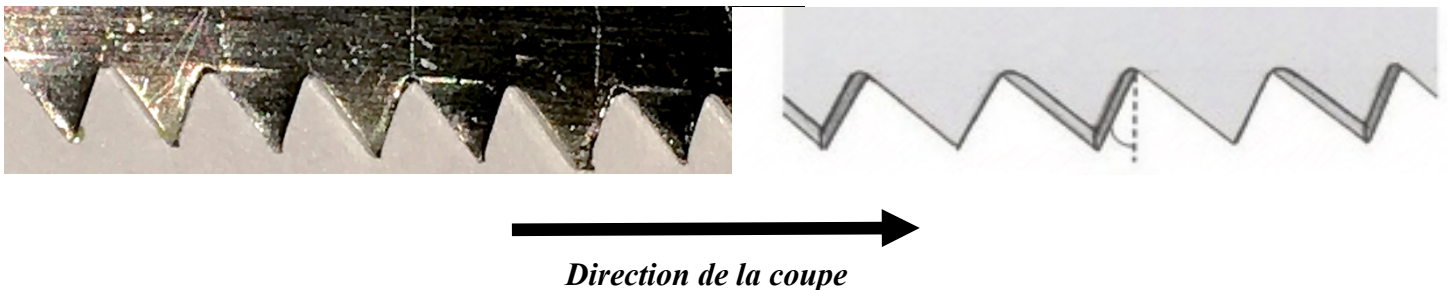


Figure 14 : Représentation des dents de scie à tronçonner

Les scies universelles (Figure 15)

L'angle d'attaque de la dent est incliné vers l'arrière d'environ $22,5^\circ$ avec la verticale (Jackson 2005, Quatrehomme 2015). L'angle du sommet de la dent est de 45° . Il s'agit de dents isocèles. Ces scies sont conçues pour couper dans toutes les directions, par rapport au fil du bois.

Selon Nogueira (2018), les scies universelles se comportent comme des scies à tronçonner, c'est-à-dire qu'elles laissent le même type de lésions osseuses, ceci s'expliquant par le fait que l'angle d'attaque des dents est incliné vers l'arrière pour ces deux types de scies.

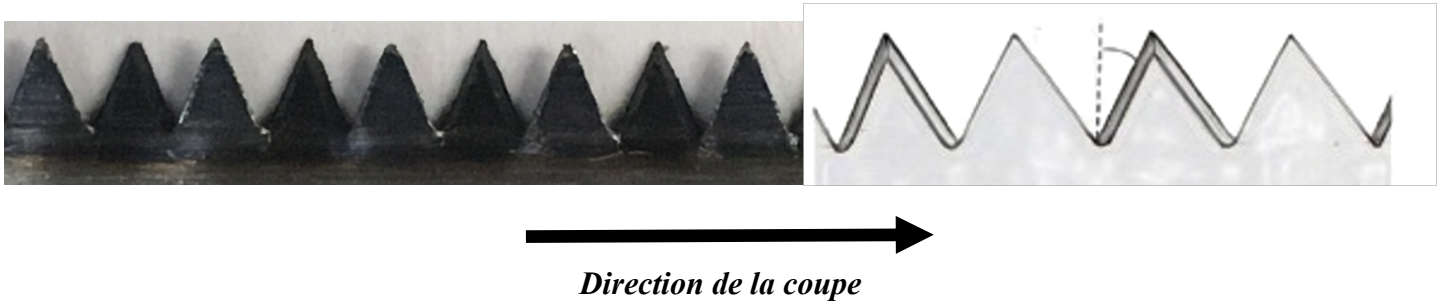


Figure 15 : Représentation des dents de scie universelle

F/ Les traces osseuses produites par les scies : zones d'intérêt

1- Les Faux départs

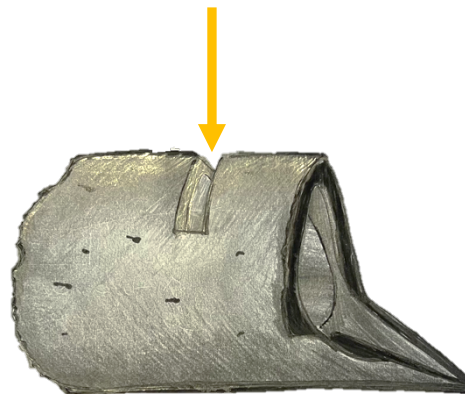


Figure 16 : Représentation d'un faux départ

Les faux départs (Figure 16 et 17) sont produits quand la lame de la scie rentre brièvement en contact avec l'os, enlevant un peu de matière (Bailey 2011). Lorsque les dents de la lame de la scie entrent en contact brièvement avec l'os, des fragments d'os sont retirés pour former une sorte de saignée (Bailey 2011). Ce sont des marques de scie incomplètes (Alsop 2021). Autrement dit, il s'agit d'une simple entaille produite quand la lame commence à mordre l'os puis dérape.

Lorsque le faux départ a été créé, soit la lame s'arrête, soit elle saute, ou encore elle reprend la coupe dans une nouvelle position, généralement proche de la coupe initiale, et continue à couper l'os (Symes 1998, Capuani 2014, Bailey 2011). Les faux départs, bien qu'en général proches de la coupe complète, peuvent cependant se situer à distance (Reichs 1998).

Le faux départ peut être superficiel ou plus profond. Il possède notamment deux murs et un fond (voir paragraphe suivant sur les lésions élémentaires), qui donnent des informations notamment sur l'avoyage, et le type de dents (Quatrehomme 2015).

Le faux départ ne doit pas être trop superficiel ni trop profond pour révéler le maximum d'informations. Quand il est trop superficiel il est alors nommé « scratch » et il ne sera pas informatif. Si le faux départ est trop profond, certaines informations vont être perdues, (notamment à cause de la formation de défauts osseux sur le fond du faux départ quand toute l'épaisseur de la corticale est quasiment traversée). Le faux départ le plus informatif est donc de profondeur intermédiaire.

Le faux départ est la zone d'intérêt qui contient le plus d'informations utiles à la détermination des caractéristiques de la lame d'une scie (Symes 1992).



Figure 17 : Représentation de faux départs expérimentaux sur une diaphyse d'os humain

Symes (1992) et Reichs (1998) proposent le moulage des faux départs avec un matériau adapté, surtout s'ils sont profonds, pour une meilleure visibilité et en conséquence une meilleure interprétation des caractéristiques élémentaires laissées sur l'os. Ce moulage en négatif (Figure 18) peut être étudié en macroscopie, stéréomicroscopie, et microscopie à balayage électronique.



Figure 18 : Pâte dentaire habituellement utilisée pour réaliser le moulage de faux départs. (a) Silicone HP Putty® (b) plusieurs moulages de faux départs (c) visualisation facilitée d'un profil de faux départ, par observation du moulage au stéréomicroscope

2- La coupe complète

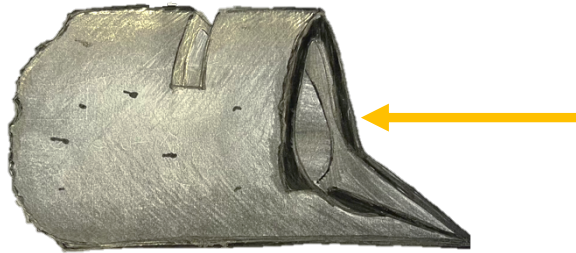


Figure 19 : Représentation d'une coupe complète

Il s'agit d'une section complète de l'os (Figure 19) qui s'accompagne souvent d'un éperon terminal (Capuani 2014, Quatrehomme 2015). On obtient moins d'informations qu'avec les faux départs (Symes 1992).

3- L'éperon terminal

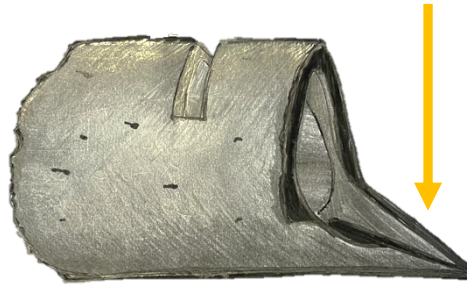


Figure 20 : Représentation d'un éperon terminal

De façon similaire à la coupe du bois, la portion terminale de l'os casse avant d'être coupée, ce qui est à l'origine de la création de l'éperon terminal (Figure 20).

Même s'il existe un fond dans l'éperon terminal comme dans le faux départ, l'information recueillie à cet endroit s'avère ici moins contributive. En effet la lame glisse en dehors de l'os quand l'éperon casse, ce qui peut altérer les caractéristiques laissées par la scie, si on les compare à celles que l'on pourrait trouver dans le fond d'un faux départ (Symes 1992, Symes 1998).

G/ Les critères diagnostiques retrouvés au sein des traces osseuses produites par les scies

Symes (1992,1998) a été le premier à identifier et établir expérimentalement la relation entre les lésions élémentaires laissées par les scies sur l'os et les caractéristiques de classe des scies. Les caractéristiques de classe sont des similarités qui permettent de classer un instrument dans une catégorie ou l'éliminer d'un groupe (Bailey 2011). Ce type d'études, bien que peu

nombreuses, est essentiel pour permettre une application dans des cas médico-légaux (Saville 2007, Norman 2018).

1- Les faux départs

La forme du fond du faux départ, aussi nommée profil.

Dans la littérature scientifique, le profil est concave dans le cas d'une scie à refendre, et convexe s'il s'agit d'une scie à tronçonner (Symes 1992, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016, Norman 2018) (Tableau 2).

La scie universelle se comportant comme une scie à tronçonner, elle présente donc un profil convexe (Nogueira 2018). C'est cette convexité du fond qui a conduit à la création des dents spécialisées de type raker, dont le but est de nettoyer le fond de coupe, dans le bois tendre. Ce qui ne fonctionne pas correctement dans l'os qui est dur et conduit à un fond d'entaille tronqué de manière asymétrique (Symes 1992).

Cerutti (2016) a démontré que les lésions en forme de W sont fréquemment rapportées à l'usage de scies à bois, et les lésions dues aux scies à métaux sont presque toujours en forme de U.

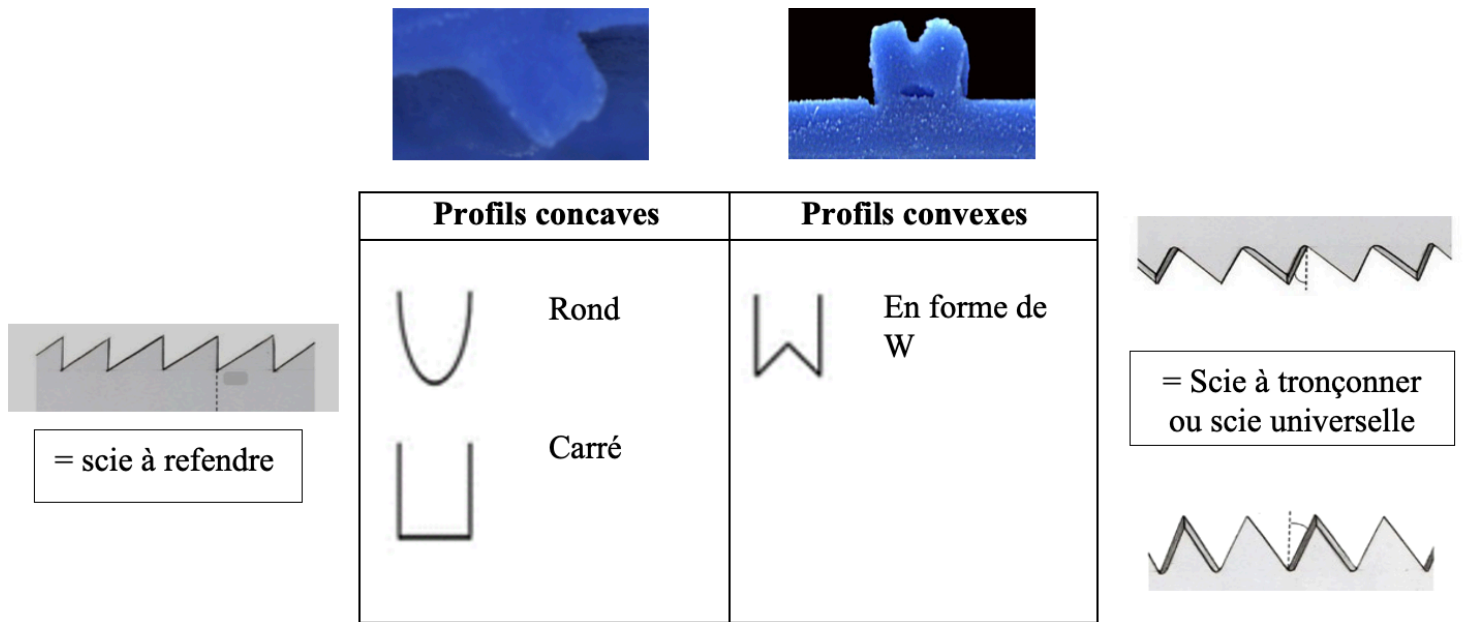


Tableau 2 : Profil concave ou convexe des faux départs, d'après Nogueira 2016. Les images bleues sont des moulages du profil des faux départs, observés au stéréomicroscope

La largeur minimale du faux départ.

Symes (1992) classe les faux départs en 4 catégories en fonction de la largeur minimum du faux départ (Figure 21 et Tableau 3) : A, B, C, D. Il s'agit de la distance minimale entre les deux berges du faux départ.

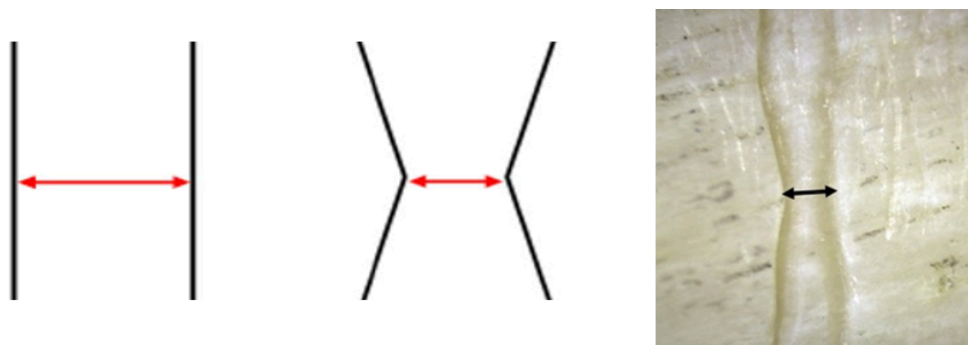


Figure 21 : Représentation de la largeur minimale du faux départ


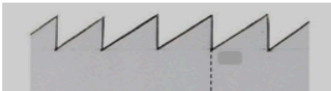

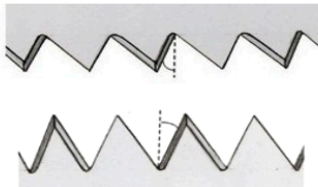
A	B	C	D
0,8-1 mm	1,1-2,3 mm	1,1-2,3 mm	6,4-8,4 mm
Scies à refendre avec petites dents ou couteaux dentelés	Scies à refendre avec de plus grandes dents	Scies à tronçonner	Scies électriques
 <p>Profil concave</p> 		 <p>Profil convexe</p> 	

Tableau 3 : Classification de Symes (1992), en fonction de la largeur minimale du faux départ, avec leur correspondance en termes de profil de la lésion et du type de dents

Les largeurs minimums des faux départs varient entre 0,8 mm (classe A) et 8,4 mm (classe D) (Symes 1992, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

La classe A présente une largeur minimale de la lésion comprise entre 0,8 et 1 mm. Elle est représentée par les scies manuelles à refendre avec de petites dents et les couteaux à dents. Cette classe est associée à un profil concave (Symes 1992, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

La classe B présente une largeur minimale de la lésion comprise entre 1,1 et 2,3 mm. Elle est représentée par les scies manuelles à refendre. Cette classe est associée à un profil concave (Symes 1992, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

La classe C comme la classe B présente une largeur minimale comprise entre 1,1 et 2,3 mm. Elle est représentée par les scies manuelles à tronçonner ou universelles. Cette classe est associée à un profil convexe (Symes 1992, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

La classe D montre une largeur minimale comprise entre 6,4 et 8,4 mm. Elle est représentée par les scies électriques (Symes 1992, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016).

Pelletti (2017) et Cerutti (2014), notent qu'il existe des chevauchements dans l'évaluation morphométrique entre les différentes lames. Ainsi, il a été émis l'hypothèse que l'analyse quantitative ne peut pas être discriminante sans une évaluation qualitative préalable précise (Capuani 2013). La même hypothèse est corroborée par les études expérimentales réalisées par Saville (2007) et Bailey (2011) qui ont montré un chevauchement des largeurs de faux départs produits par différentes scies, démontrant que les largeurs des lésions ne sont pas toujours discriminantes.

Selon Symes 1992, la largeur de la lésion ne dépasse pas 1,5 fois l'épaisseur de la lame. Selon Bailey (2011), la comparaison de la largeur de la lame avec la largeur de la lésion peut être une méthode efficace pour prédire et éliminer d'éventuelles lames de scie. Dans l'étude de Bailey, 70 à 90% des scies pouvaient être exclues après évaluation de la largeur de la lésion, réduisant ainsi de manière significative le nombre d'outils possibles utilisés.

Norman (2018) a créé une méthode de régression linéaire univariée pour prédire l'épaisseur de la lame de la scie qui a produit des faux départs, à partir des données micro-CT. L'épaisseur de l'outil a pu être estimée correctement dans 94% des cas dans des conditions méthodologiques diverses, cependant le pourcentage de bonne prédiction était fortement diminuée quand le faux départ avait été créé sur un os recouvert de parties molles avec une action libre de la lame, c'est-à-dire dans des conditions se rapprochant de la réalité médico-légale (39% dans le cas où l'os était recouvert de parties molles, 19% dans le cas où il était recouvert de parties molles avec une action de coupe libre).

Alsop (2021) propose l'utilisation de la méthode statistique random forest dans la prédiction de l'épaisseur de la lame de scie, à partir de mesures au micro-CT de largeurs de la lésion sur des sections transversales de faux départs. Les résultats étaient mitigés, notamment quand les autres caractéristiques diagnostiques de classe de la scie n'étaient pas connues.

Les murs.

Ils sont classés en 3 catégories (Figure 24) (Symes 1992-1998, Quatrehomme 2015, Nogueira 2016) (Figure 22) :

Les murs ondulés (alternance large / étroit) correspondant à un avoyage alterné.

Les murs droits, peuvent correspondre à un avoyage raker (Symes 1992), un avoyage ondulé ou un avoyage alterné (Nogueira 2016). Ils ne donnent donc aucune information utile.

Les murs en forme d'haltère ou sablier (zone étroite au milieu) correspondent à un avoyage ondulé. L'avoyage ondulé est réservé aux scies à refendre.

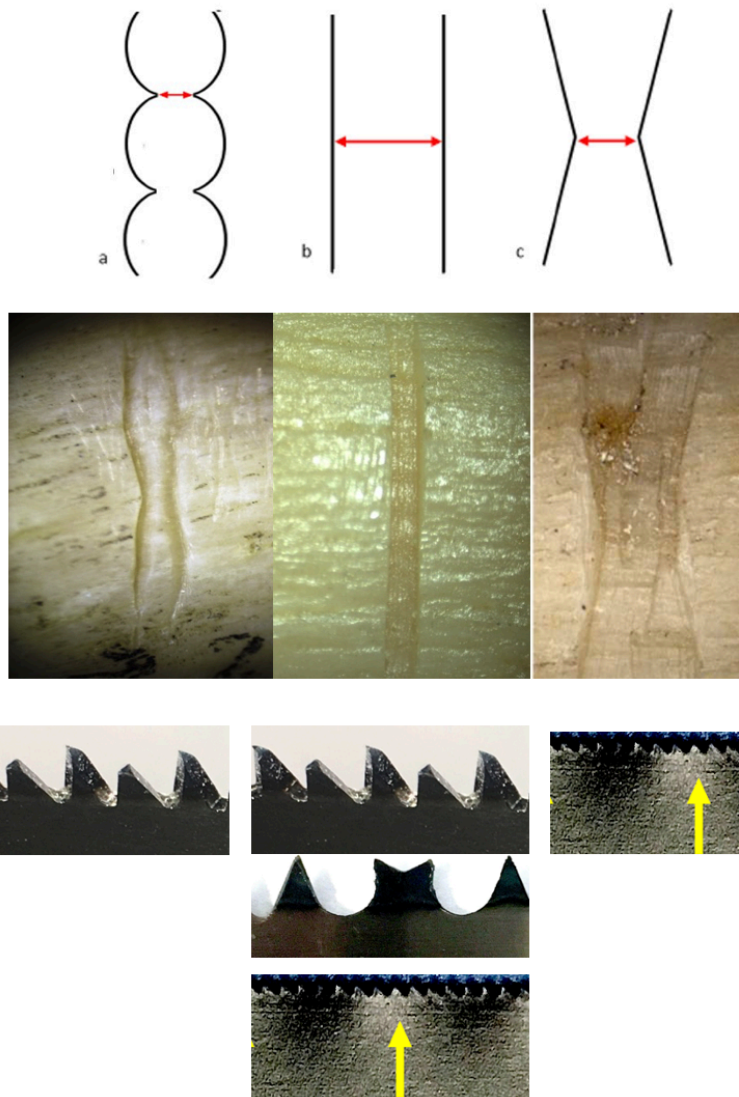


Figure 22 : Représentation des différentes formes de murs, et leur correspondance en termes d'avoyage. De gauche à droite (visualisés au stéréo microscope) : murs ondulés, murs droits, murs en forme d'haltère.

Les stries.

Les stries sont des formations linéaires situées sur le plancher (au fond de la lésion) et sur les murs. Elles résultent du passage des dents, dans le sens du mouvement de la scie.

Les stries situées dans le fond du faux départ sont de différents types (Figure 23) :

Les stries ondulées ou ondulées/droites sont associées à un avoyage alterné (Symes 1992, Nogueira 2016, 2018).

Les stries fines et droites sont associées à un avoyage ondulé (Symes 1992, Nogueira 2016, 2018).

Les stries rangées par trois sur les côtés correspondent à un avoyage de type raker (Symes 1992).

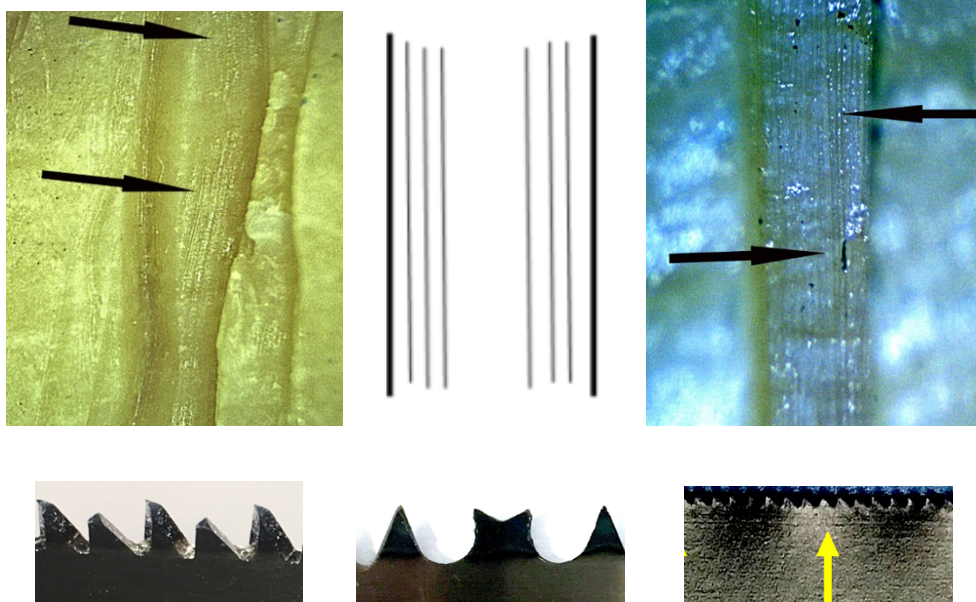


Figure 23 : Représentation des différents types de stries, et leur correspondance en termes d'avoyage. De gauche à droite : stries ondulées visualisées au stéréomicroscope, stries arrangées par trois sur les côtés, stries fines et droites visualisées au stéréomicroscope.

Parfois, les stries sur le fond du faux départ ne sont pas visibles (Capuani 2014, Giraudo 2019). C'est particulièrement le cas quand le faux départ est trop superficiel ou trop profond.

Saville (2007) a pu faire correspondre les stries en microscope à balayage électronique, pour définir un instrument unique utilisé.

D'autres lésions élémentaires peuvent être recherchées, notamment :

Les îlots osseux (Figure 24).

Il s'agit de restes de matière, situés au fond de la lésion osseuse au niveau de la ligne médiane (Symes 1992, Symes 1998). Ils résultent de la dérive de la lame. Cette dérive s'explique par le fait que la lame subit des forces latérales lors du mouvement antéro-postérieur du fait de l'avoyage. Elle se retrouve en particulier dans les avoyages alternés. Cette dérive explique également les murs ondulés du faux départ.



Figure 24 : Représentation d'un îlot osseux visualisé au stéréomicroscope (flèche bleue)

Le saut de dent.

Il peut être observé sur le fond d'un faux départ, un éperon terminal ou une tranche de section (coupe complète). Il s'agit d'ondulations avec des dépressions et sommets successifs (Figure 25). Le saut de dent a été décrit par Andahl (1978). Le saut indiquerait l'espace entre les dents. Selon Symes (1992), la distance entre deux dépressions successives ou deux sommets successifs représente la distance entre 2 pointes de dents successives.

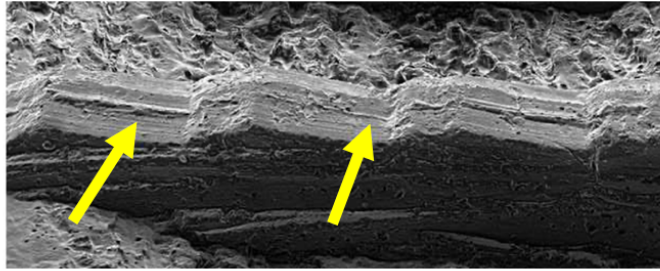


Figure 25 : Représentation d'un saut de dent visualisé au MEB

Les particules de peinture ou les particules métalliques laissées par la scie sur l'os.

Les résidus de peinture indiquent qu'il s'agit d'une scie neuve ainsi que sa couleur (Quatrehomme 2015). Gibelli (2012) a mené une étude pilote visant à détecter les caractéristiques chimiques des particules trouvées au sein des lésions afin de les comparer avec la scie ayant produit les lésions, à l'aide de la microscopie électronique à balayage couplée à la spectrométrie à dispersion d'énergie à rayons X (SEM-EDS). Les résultats s'avéraient prometteurs. Cependant les instruments tranchants laissent peu de résidus sur l'os et les dents de scie ont tendance à retenir les résidus de matériaux précédemment rencontrés avant de les déposer sur l'os.

2- Les coupes complètes

L'appariement des deux parties de l'os, proximal et distal, permet d'affirmer qu'ils proviennent du même individu (Quatrehomme 2015). Les stries visibles sur une coupe complète sont dues aux dents qui mordent dans l'os, elles sont organisées en groupes répétitifs parallèles.

Il existe 2 grands types de stries (Figure 26) (Capuani 2014) :

Les stries étroites et parallèles entre elles (type B) : correspondent au mouvement actif de la lame. Elles résultent de l'action de chaque dent, qui, à chaque poussée, se situe légèrement plus bas que la précédente.

Les stries plus grosses (type A) : correspondent au mouvement de retour passif de la lame. Ces stries proviennent de toutes les dents tirées sur un seul niveau.

En comptant le nombre de couple de stries A et B, on peut tenter de calculer le nombre d'allers-retours effectués pour découper le matériau (Saville 2007), et en analysant l'orientation des stries on peut déterminer s'il y a eu des changements de direction de coupe.

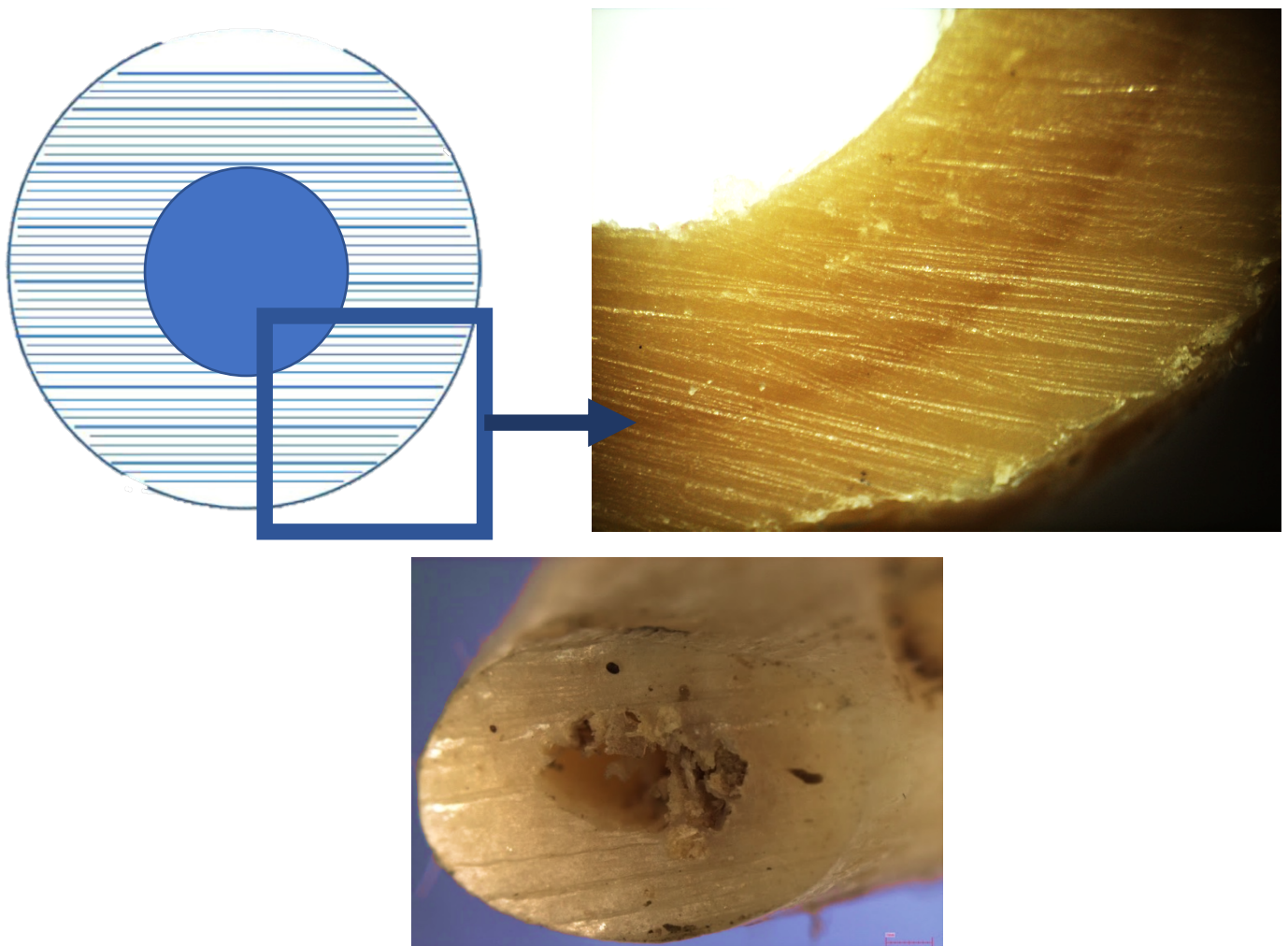


Figure 26 : Représentation des stries observables sur une coupe complète. Stries de type A (épaisses), stries de type B (fines). Schéma issu de Capuani (2014).

Un 3^{ème} type de stries (stries de type C) est visible à des grossissements plus élevés (au MEB) entre les stries de type B. Elles seraient dues à des imperfections sur certaines dents et pourraient donner des possibilités d'identifier une scie particulière (Saville 2007).

Un examen détaillé des stries de type A et de type B a montré qu'à mesure que la pression/vitesse augmente, l'espacement des stries augmentait également. Autrement dit, moins d'allers-retours sont nécessaires pour couper l'os quand la pression et/ ou la vitesse augmente. En conséquence, la variation de l'espacement avec la pression et la vitesse signifie que les stries de type A et de type B n'offrent pas une méthode robuste pour identifier une scie ou une classe de scies particulière (Saville 2007).

Deux particularités sont intéressantes sur les coupes complètes (Capuani 2014) :

Le tooth hop (saut de dent) (Figure 27) : il fait référence aux stries ondulées sur la surface de la coupe complète, résultant du passage des dents de la lame. Chaque dent sauterait pour pouvoir entrer lors du mouvement actif, d'où des traces ondulées visibles sur la surface de coupe.

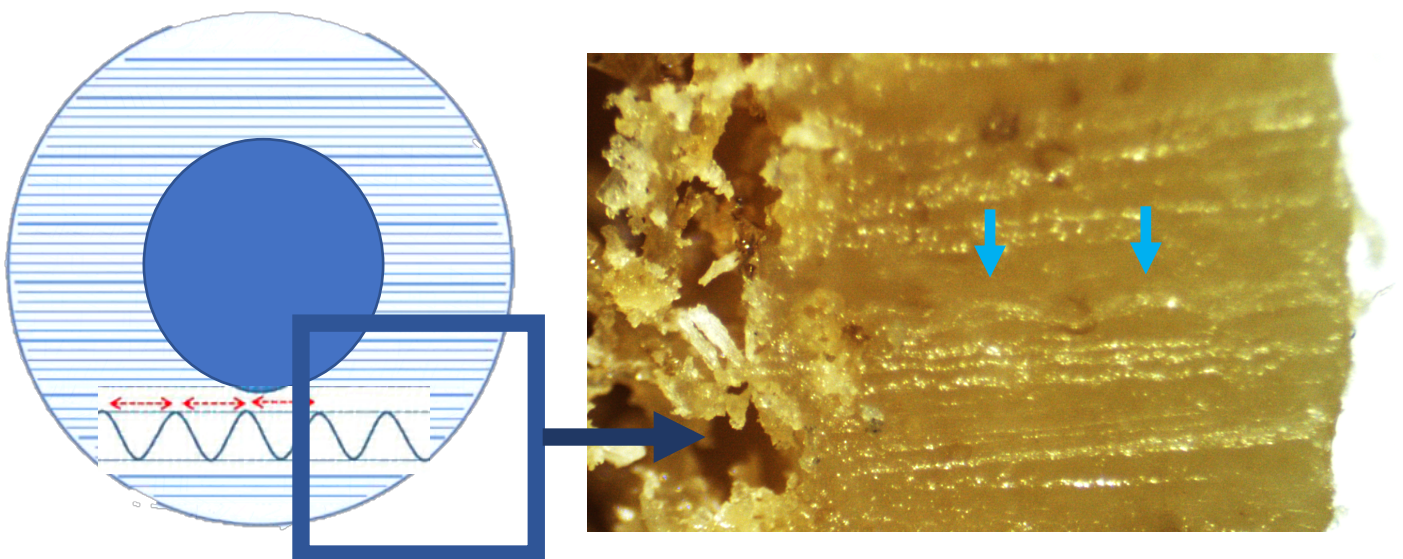


Figure 27 : Représentation du tooth hop (saut de dent). Schéma d'après Capuani 2014.

Le tooth scratch (Figure 28) : il correspond à des stries perpendiculaires créées par la lame qui est retirée du trait de scie à mi-course (coup coincé).

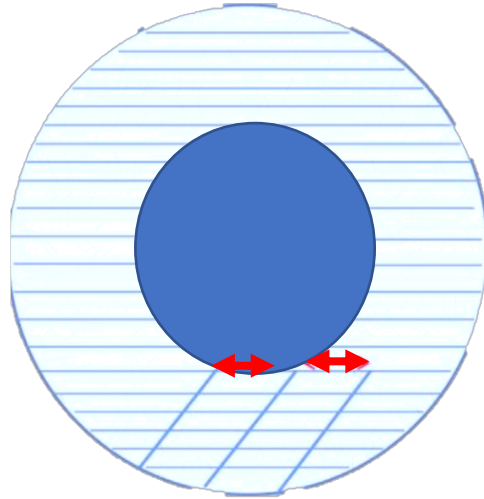


Figure 28 : Représentation du tooth scratch. Schéma d'après Capuani 2014.

Ces deux particularités sont intéressantes car la distance entre chaque ondulation ou chaque scratch détermine en partie la distance entre les dents de la scie (Symes 1992, Capuani 2014).

Le manque d'uniformité des lésions, l'espacement irrégulier des stries A, avec de nombreux changements de direction et la petite taille des débris osseux serait en faveur d'une scie manuelle (Bonte 1975, Guilbeau 1989)

3- Les éperons osseux

L'éperon (Figure 29) (« break away spur ») indique la partie terminale de la coupe complète, il permet donc de déterminer le sens d'avancement de la lame sur des sections

complètes (Symes 1998). Son image en miroir sur l'autre partie de l'os est une encoche (« break away notch »).



Figure 29 : Représentation d'un éperon osseux.

H/ Méthodes d'analyse utilisées dans la littérature scientifique pour l'analyse des traces osseuses

Un certain nombre de méthodes d'analyse sont décrites dans la littérature scientifique :

Loupe binoculaire / stéréomicroscope / microscope numérique : Il s'agit de techniques classiques pour observer les caractéristiques élémentaires des faux départs (Marciniak 2009, Bailey 2011, Love 2015, Robbins 2015, Cerutti 2016, Nogueira 2016, Pelletti 2017, Delabarde 2017, Nogueira 2018, Berger 2018).

La macroscopie par épifluorescence : cette technique permet une caractérisation précise et une visualisation 3D des marques tranchantes dans l'os sans destruction de l'échantillon (Capuani 2014). Selon Capuani (2014), la macroscopie par épifluorescence distingue plus clairement les stries du fond et des murs en réduisant les interférences.

Cette technique permet de mettre en évidence les caractéristiques de classe à la fois dans les faux départs et dans les sections complètes, en particulier en ce qui concerne les profils et les stries (Capuani 2014).

Le microscope électronique à balayage (MEB) : L'observation au microscope électronique à balayage (MEB) permet d'examiner les matériaux à des grossissements plus élevés que ceux disponibles avec la stéréo microscopie, et surtout d'obtenir des résolutions et des profondeurs de champ remarquables. Elle permet par exemple d'observer des empreintes de dents de scie individuelles, auparavant non visibles, ainsi que le troisième type de stries observable sur les coupes complètes (Saville 2007, Robbins 2015).

Avec le microscope électronique à balayage traditionnel, l'échantillon doit être sectionné en petits morceaux et un revêtement métallique conducteur doit être appliqué (Capuani 2014). Avec l'amélioration de la microscopie à balayage électronique, les matériaux isolants peuvent maintenant être examinés sans avoir besoin de revêtements conducteurs, ceux-ci altérant l'échantillon osseux. Cette nouvelle technique se nomme « environmental scanning electron microscopy » (Saville 2007). Malgré les capacités d'imagerie supérieures du microscope électronique à balayage, Freas (2010) pense que cette méthode fournit peu de gains pratiques et méthodologiques par rapport à la microscopie optique traditionnelle, le grossissement élevé masquant le motif global des stries, important pour la reconnaissance des caractéristiques de classe. La technique est également beaucoup plus lourde à mettre en œuvre et coûteuse. Gibelli (2012) soulève l'intérêt de la microscopie à balayage électronique couplée à la spectrométrie de dispersion d'énergie des rayons x (SEM-EDS), pour l'analyse de la composition chimique des résidus métalliques retrouvés sur l'os, après une lésion par instrument tranchant. Porta (2016) a appliqué cette technique de détection de la composition chimique des résidus métalliques à des cas de démembrement médico-légaux.

La micro-tomographie à rayons X (micro-CT, tomographie micro-informatisée) :

la micro-CT fonctionne en capturant des milliers de radiographies 2D à partir de la rotation complète de l'échantillon (ou du système source si l'échantillon est fixe), qui sont ensuite reconstruites pour former un modèle numérique 3D complet (Alsop 2021). La micro-tomodensitométrie a été appliquée à l'analyse médico-légale des traumatismes : en balistique (Giraud 2019), pour les lésions tranchantes (Thali 2003, Bello 2009, Pounder 2011, Baier 2016) et pour les lésions contondantes à la recherche de fractures laryngées (Kettner 2014, Fais 2016). Une publication (Baier 2016) a démontré l'utilité du micro-ct dans des cas réels de démembrement.

La tomodesitométrie haute résolution permet un examen non invasif des marques d'outils, minimisant la manipulation des preuves et leur détérioration potentielle (par exemple dans le cas d'os très friables car carbonisés) (Baier 2017). La tomodesitométrie de qualité « médicale » (300 microns) est utile mais peut masquer des détails en dessous de la résolution de numérisation. La micro-CT autorise des résolutions beaucoup plus élevées (0,5 à 120 microns) ce qui permet la visualisation de caractéristiques minuscules telles que des micro-fractures (Baier 2017, Norman 2018).

L'utilisation de la micro-CT dans la pratique médico-légale reste une technique émergente, en raison de sa disponibilité limitée en médecine légale (Rutty 2013).

Thali (2003) a été les premiers à rapporter l'utilisation de la micro-CT pour l'investigation de lésions osseuses. La micro-CT peut être utilisée pour déterminer les caractéristiques de classe d'une scie, en identifiant les caractéristiques qualitatives et quantitatives de la trace osseuse, avec une bonne fiabilité inter-évaluateur des observations (Thali 2003, Norman 2018), mais également les caractéristiques individuelles (Pounder 2011), notamment au niveau des faux départs osseux (Pelletti 2017).

Cette technique permet également de facilement visualiser une coupe transversale du faux départ et créer des tranches 2D sans réduire la qualité de l'image et / ou modifier / détruire l'échantillon comme avec d'autres techniques traditionnelles (Pelletti 2017). Elle permet également de réaliser tout type de mesures (Alsop 2021).

Giraud (2019) a évalué la valeur diagnostique de la micro-CT pour la différenciation des traces de scie de différentes classes et également pour des scies appartenant à la même classe et ne différant que par le nombre de dents par pouce (TPI). L'évaluation morphologique n'a pas permis de distinguer les scies qui ne différaient que par le TPI, mais l'utilisation de valeurs métriques comme la largeur minimale de la lésion a permis de les séparer.

Les rendus 3D de micro-CT sont générés à partir d'un ensemble de données haute résolution, il est donc possible de visualiser de très petites entités, parfois avec des points de vue que l'on ne peut pas obtenir en microscopie optique (Rutty 2013). Le rendu peut être d'une similarité surprenante avec l'échantillon original. La mise au point est nette à toutes les profondeurs, en particulier dans l'os spongieux, contrairement à la microscopie optique. La prochaine génération d'imagerie sera l'utilisation de la nano-CT (Rutty 2013).

La reconstruction 3D obtenue grâce au micro-CT peut également être associée à l'impression 3D, ce qui permet d'aider à l'examen des échantillons médico-légaux eux-mêmes, d'être un outil utilisé en cours d'assise pour présenter et expliquer avec le plus de simplicité possible les preuves médico-légales au jury profane (Baier 2017).

Autres méthodes :

L'imagerie par transformation de réflectance (RTI) est une technique de photographie informatique qui documente et améliore les propriétés de réflectance (proportion de lumière réfléchi par la surface d'un matériau) tridimensionnelle (3D) de la surface d'un objet (Martlin 2020).

L’histologie offre un moyen contributif et fiable pour détecter des particules étrangères, liées à l’outil utilisé pour produire la trace osseuse (Delabarde 2017).

I/ Matériaux utilisés pour la production des traces osseuses dans les études expérimentales

1- Os humain versus analogues

Un certain nombre d’études expérimentales ont été réalisées sur de l’os humain (Nogueira 2016, Pelletti 2017, Norman 2018, Bernardi 2020), sur des os longs (fémur, fibula, métacarpe, métatarse, phalange). Travailler sur de l’os humain apporte l’avantage théorique de se trouver au plus proche de la réalité médico-légale. L’utilisation dans les études expérimentales d’os longs s’explique également par la réalité médico-légale ; les marques de scie sont retrouvées principalement sur ces os lors des démembrements (Porta 2016, Norman 2018). Cependant, les échantillons osseux utilisés dans les études expérimentales proviennent la plupart du temps de sujets âgés issus du don du corps (Nogueira 2016, Pelletti 2017, Norman 2018, Bernardi 2020), ce qui ne représente pas la population médico-légale habituelle (adulte jeune ou d’âge moyen, sexe masculin). On peut également s’interroger sur la reproductibilité des expérimentations si les lésions sont produites sur des os présentant des structures de qualité variable. On soulignera que les antécédents médicaux des personnes ayant donné leur corps à la science ne sont pas connus des chercheurs. Pour pallier ce type d’inconvénient, les expérimentateurs éliminent les os présentant des pathologies macroscopiques visibles.

En raison des contraintes éthiques et légales de l’utilisation de sujets humains ayant donné leur corps à la science, l’os animal est fréquemment utilisé comme substitut de l’os humain dans les études sur les marques d’outils ; cerf (Freas 2010, Berger 2018), bovin (Bailey

2011), porc (Capuani 2013, Nogueira 2016, Martlin 2020). Ce type d'os est généralement obtenu auprès d'un boucher ou charcutier. L'utilisation d'un os animal pose la question de l'interprétation des lésions par rapport à un os humain (structures osseuses proches mais différentes), et de la reproductibilité des lésions en fonction de la qualité intrinsèque de l'os. La problématique de la reproductibilité due à la qualité structurelle variable des os peut être évitée en utilisant des os de porc issus d'une même souche, donc semblables génétiquement, comme cela se pratique dans de nombreux domaines de recherche. Cela permet également d'avoir un contrôle sur l'âge des individus, ce qui n'est pas possible pour des os obtenus en boucherie qui de plus sont la plupart du temps juvéniles. L'utilisation d'un modèle animal avec des individus au patrimoine génétique semblable est donc une bonne solution pour s'assurer d'une bonne standardisation du matériel osseux sur lequel on souhaite travailler.

Le nylon 6.6 a également été utilisé lors d'une étude expérimentale sur les marques de scie, comme substitut à l'os humain (Saville 2007). Il avait été choisi car lors de tests préliminaires ; les stries formées par la scie (stries de type C sur une coupe complète) étaient bien identifiables sur ce matériaux (Saville 2007).

2- Validité du modèle animal dans l'étude des traces de scie sur l'os ?

Pour les raisons détaillées ci-dessus, des études visant à s'interroger sur la validité de l'os de porc comme substitut à l'os humain ont été menées.

Les propriétés mécaniques de l'os définissent la manière dont il réagit aux forces appliquées. Il faut donc comparer les propriétés mécaniques de l'os humain avec l'os de porc.

Les études menées se sont centrées sur l'os cortical, car dans les faux départs, c'est l'os cortical qui est touché, il n'y a pas de pénétration dans l'os trabéculaire (Bonney 2021).

a) Mesure de la dureté de la corticale à l'aide de tests d'indentation de Vickers

Des auteurs ont étudié les propriétés mécaniques des os au travers de la **mesure de la dureté de leur corticale, à l'aide de tests d'indentation de Vickers** (Weaver 1966, Ohman 2013, Bonney 2021).

La mesure de la dureté est un moyen simple d'estimer le degré de minéralisation du tissu osseux (Weaver 1966, Ohman 2013). La mesure de la dureté Vickers (Figure 30) se fait avec un indenteur en forme de pyramide normalisée en diamant de base carrée sur lequel on applique une force. L'empreinte que laisse le pénétrateur est utilisée pour rechercher la dureté du matériau. La force et la dureté de l'appui sont standardisées. L'empreinte laissée à la forme d'un carré. On mesure les deux diagonales d_1 et d_2 de ce carré à l'aide d'un microscope optique. La moyenne des deux mesures, appelée « d », est utilisée dans l'équation suivante :

$$HV = 1,854 P / d^2$$

HV : dureté Vickers, P : force appliquée, d : longueur en mm de la diagonale d'indentation

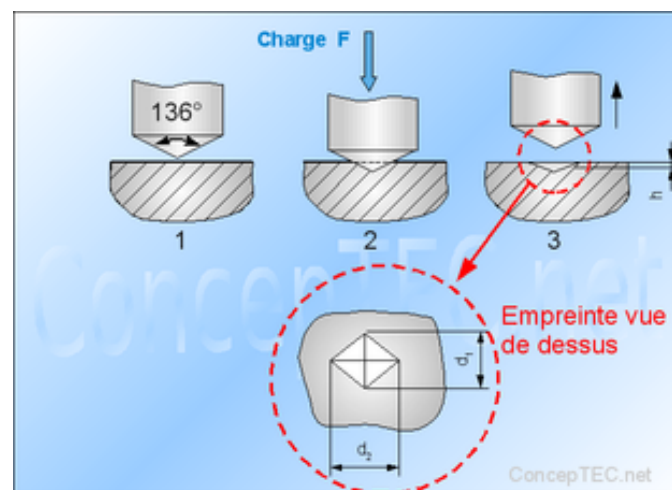


Figure 30 : Illustration de la méthode de mesure de la dureté Vickers, source : <https://conceptek.net/fr/techniques-de-base/materiaux/essais-et-contrôles/durete-vickers>

Os de porc : variations de dureté

Sujets adultes

Des différences significatives de dureté de l'os cortical ont été retrouvées à la fois le long et autour de l'humérus et du fémur du porc adulte (Bonney 2021). Au niveau du fémur, la dureté de l'os cortical était plus importante au milieu de la diaphyse avec des valeurs environ 15 à 21 % plus élevées que les régions proximale et distale. Concernant l'humérus, la dureté de l'os cortical était significativement plus importante en région distale par rapport à la région proximale (Bonney 2021). Cela pourrait être le résultat de différents modèles de charge in vivo. Les effets de la courbure osseuse et de la charge in vivo ont déjà été rapportées chez les chevaux par Currey (1999). Bonney (2021) n'a pas retrouvé de différence globale de dureté chez l'adulte entre le fémur et l'humérus.

Sujets juvéniles

Bonney (2021) n'a retrouvé aucune différence significative le long des os de porc dans les premières semaines de vie. Il a en revanche retrouvé des différences significatives entre les membres antérieurs et postérieurs, avec des valeurs de dureté de l'humérus environ 37% plus élevées par rapport au fémur. Cela pourrait s'expliquer selon Bonney (2021), par l'initiation de l'ossification de l'humérus fœtal légèrement avant celle du fémur.

Os humain : variations de dureté

Evans (1951) a décrit que l'os cortical humain de fémur est plus dur au niveau du tiers médian de la diaphyse. Des résultats similaires ont été obtenus dans l'étude de Wu et al (2019). Weaver (1966) a noté une faible variation de dureté le long de la région diaphysaire du péroné humain mais a trouvé une diminution « prononcée » de la dureté dans la région métaphysaire et épiphysaire. Bonney (2021) relève que le péroné porte généralement très peu de poids, ce qui pourrait expliquer la dureté relativement uniforme sur toute sa longueur.

Weaver (1966) a retrouvé une variation de la dureté de l'os cortical prélevé d'un site à l'autre chez un même individu, mais très peu de variabilité dans la dureté du même os prélevé sur des sites standards chez différents individus. Ohman (2013) a montré que la dureté de l'os, cortical ou trabéculaire, n'est pas localement homogène et même très hétérogène, les ostéons ou paquets de lamelles situées dans une même région anatomique ayant une dureté de tissu différente. En effet, en considérant une seule coupe obtenue pour un segment osseux, le coefficient de variation des valeurs de dureté était jusqu'à 12% pour l'os cortical (Ohman 2013). En revanche, Ohman (2013) a retrouvé une dureté moyenne qualifiée « d'assez homogène » au sein et entre les os longs d'un même individu, bien qu'il ait décrit des différences allant jusqu'à 9% au sein d'un même os, et jusqu'à 7% entre les os longs d'un même individu.

Les études sur les propriétés mécaniques de l'os humain sont souvent biaisées du fait de l'échantillonnage âgé (dons du corps). Or la dureté osseuse varie avec la minéralisation et l'âge (Weaver 1966, Bonney 2021). La dureté et la minéralisation atteignent un pic à la maturité squelettique (environ 30 ans chez l'homme) (Bonney 2021).

Comparaison de la dureté de l'os cortical porcine et humaine

La dureté de l'os cortical du fémur ($52,23 \pm 1 \text{ kg mm}^{-2}$) et de l'humérus ($49.6 \pm 0.70 \text{ kg mm}^{-2}$) du porc adulte retrouvée par Bonney (2021) était comparable à la dureté de l'os cortical fibulaire humaine adulte (âgé de 35 ans) ($55,1 \text{ kg mm}^{-2}$) telle que déterminée par Weaver (1966), de l'os iliaque et calcanéen humaine ($49,30 \text{ kg mm}^{-2}$) chez des personnes âgées indemnes de maladie osseuse apparente telle que déterminé par Boivin (2008), de la diaphyse radiale humaine ($43,82 \text{ kg mm}^{-2}$) telle que déterminée par Wu et al. (2019).

Saville (2007) a également rapporté une dureté comparable pour l'os cortical humaine ($39,4 \text{ kg mm}^{-2}$) et porcine ($37,1 \text{ kg mm}^{-2}$), bien que les valeurs soient quelque peu inférieures à celles rapportées habituellement dans la littérature.

b) Autres méthodes utilisées pour étudier les différences entre les propriétés mécaniques de l'os de porc et de l'os humain :

Waltenberger (2017) a retrouvé une densité minérale osseuse beaucoup plus faible dans les os de porc que chez l'homme. Cependant il précisait que les porcs utilisés étaient encore juvéniles.

Nogueira (2016) a trouvé des différences significatives entre les largeurs des traces de scie créées à l'aide de quatre scies différentes sur des fémurs humains et de porc, suggérant que les substituts animaux, bien que pratiques, ne sont pas des substituts parfaits. Cependant, une nouvelle fois, des os juvéniles de porc étaient utilisés dans cette étude. En effet, dans la majorité des cas, les porcs disponibles dans le commerce en Europe sont abattus à un poids moyen comparable à celui d'un humain adulte (80 kg) mais avant d'atteindre la maturité.

Dans une publication antérieure (Bernardi 2020), j'avais comparé les caractéristiques diagnostiques obtenues après la création de faux départs avec une scie électrique oscillante autopsique sur l'os de porc juvénile et sur l'os humain. Je n'avais pas retrouvé de différence significative pour la forme des profils, la forme des murs, la forme des stries et la présence ou l'absence des îlots osseux. J'avais en revanche retrouvé une différence significative de la largeur minimale des faux départs.

En conclusion, la dureté Vickers de l'os cortical humain est comparable à celle du porc. Il s'agit d'un argument en faveur de la validité du modèle porcin pour l'étude des traces de scie laissées sur l'os. Cependant peu d'articles ont étudié ce sujet, des études supplémentaires sont donc nécessaires.

3- Os entouré de parties molles lors de la création des lésions par scie versus os préparé

Dans la plupart des études expérimentales, les parties molles étaient retirées de l'os avant la création des lésions par scie, dans un souci de reproductibilité (Symes 1992, Bailey 2010, Freas 2010, Nogueira 2016, Norman 2018, Berger 2018, Bernardi 2020, Martlin 2020). Le retrait des parties molles permet de maintenir un environnement expérimental contrôlé (Martlin 2020). L'inconvénient est que cette procédure ne reflète pas la réalité médico-légale ; le criminel en théorie ne nettoie pas les os avant de procéder au démembrement, et les parties molles absorbent en partie le traumatisme (Berger 2018).

Partant de ces constatations, des études récentes ont préservé les parties molles présentes autour de l'os pour la création des lésions par scie, afin d'être au plus près de la réalité médico-légale (Capuani 2014, Berger 2018, Norman 2018, Alsop 2021). Le retrait des parties molles a été réalisé dans un deuxième temps, avant de procéder à l'analyse des lésions osseuses. Une seule étude à ma connaissance a comparé les lésions produites par les scies, sur des os avec parties molles versus sans parties molles, en se focalisant sur la distance entre les berges des faux départs ; d'importantes variations dans les mesures ont été retrouvées entre les deux groupes. Les parties molles pouvaient être à l'origine d'un impact incohérent sur les résultats suivant le type de scie utilisé (Norman 2018). Norman (2018) suggère cependant, que bien que l'utilisation d'os avec parties molles soit difficile, son utilisation est essentielle pour que la recherche sur les marques d'outils soit applicable aux médecins légistes.

J/ Effet des différentes méthodes de préparation anthropologique sur l'os et l'analyse des traces osseuses

La préparation anthropologique permet le retrait des parties molles de l'os (Hush 2021). L'utilisation du scalpel pour le retrait des parties molles est exclue car il pourrait créer des traces supplémentaires sur l'os, ce qui rendrait alors très difficile les investigations ultérieures (Hush 2021). Il existe plusieurs méthodes de préparation anthropologique. De manière générale elles peuvent être divisées en sept catégories : macération bactérienne à l'eau froide, macération bactérienne à l'eau tiède, macération enzymatique, macération chimique, utilisation d'eau chaude ou du micro-ondes, et utilisation d'invertébrés (Mairs 2004, Hush 2021).

Le retrait des parties molles sans endommager l'os cortical est un défi (Steadman 2005, Hush 2021). Il est indispensable de connaître l'impact de la méthode de préparation anthropologique utilisée sur les surfaces osseuses en anthropologie médico-légale, et notamment dans le cadre d'études expérimentales (Hush 2021). En effet, c'est sur la base de la morphologie de la surface osseuse que les investigations tentent d'identifier les instruments à l'origine des lésions (Hush 2021), en particulier dans les cas de démembrement criminel. La décalcification, la destruction des protéines et les modifications de surface telles qu'une rugosité ou la présence d'écailles peut interférer avec une analyse précise des traces (Hush 2021). Des marques de scie modifiées pourraient conduire à des résultats inexacts et des conclusions erronées.

Uhre (2015) a étudié la préparation anthropologique par utilisation d'enzymes ; il a constaté l'apparition de fractures osseuses. Une dégradation osseuse a été constatée après traitement par macération chimique, en raison notamment d'une action corrosive sur le calcium (Fenton 2003, Steadman 2006, Hush 2021). L'utilisation d'insectes peut produire des marques de morsure sur l'os (Hush 2021). Le chauffage au micro-ondes a été utilisé récemment par

plusieurs auteurs (King 2015, Hush 2021) ; aucun changement de la surface osseuse n'a été retrouvé après traitement de côtes de porc à 100°C au micro-ondes durant 5 heures (Figure 31), alors que des fractures apparaissaient à 120°C. Le même protocole a été appliqué à des fémurs de porc, mais du fait de la persistance du cartilage et des ligaments à l'issue de ce traitement, l'os a ensuite été placé dans de l'eau de javel et un détergent à 80°C durant 1 heure. A la fin de l'ensemble des opérations, des changements de surface ont alors été observés, telle que l'apparition d'une rugosité (Figure 32) (Hush 2021).



Figure 31 : Côte de porc après préparation anthropologique au micro-ondes à 100°C durant 5 heures. La surface osseuse n'est pas altérée (Hush 2021)

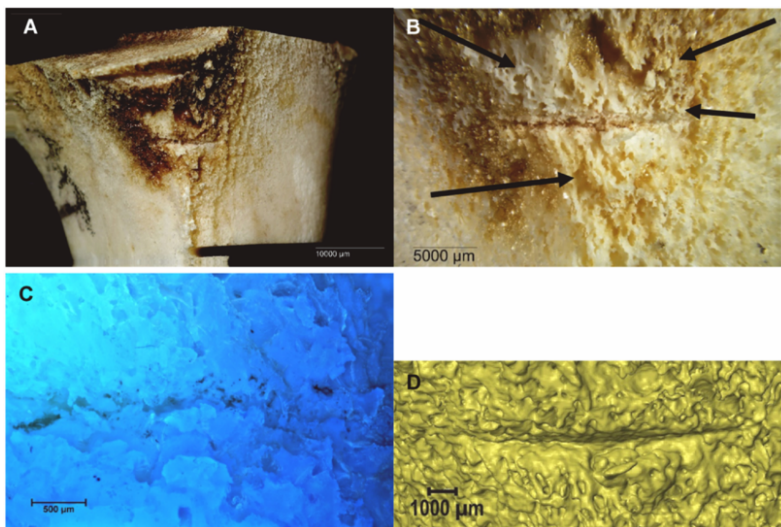


Figure 32 : Fémur de porc observé au stéréomicroscope (A-B), microscope à fluorescence (C), micro-CT (D), après chauffage au micro-ondes puis bain chaud avec nettoyant chloré et détergent. Des rugosités sont visibles (Hush 2021)

King (King 2015) a étudié la capacité de différentes méthodes de préparation anthropologique à conserver l'intégrité macroscopique et microscopique des marques de coupe. Pour cette étude il a utilisé des côtes de porc. Les marques de coupe ont été produites avec un couteau. À l'aide de photomicrographies produites par MEB, l'efficacité de chaque technique a été examinée et notée (Tableau 4 et Figure 33). La meilleure méthode identifiée par cette étude était l'utilisation

du four à micro-ondes ; les tissus mous étaient retirés facilement et efficacement, tout en conservant systématiquement l'intégrité de la surface de l'os ainsi que les moindres détails des marques de coupe précédemment produits.

TABLE 11—The mean average for effectiveness for each of the seven maceration methods with regards to maceration technique evaluation.

	Porosity		Flaking/Surface Texture		Retention of Cut Mark (n = 30)	Gross Integrity/ Durability of the Bone (n = 30)
	Cut Mark (n = 15)	Control (n = 15)	Cut Mark (n = 15)	Control (n = 15)		
Manual	2.0	2.0	2.2	2.0	3.0	1.8
Simmering	2.8	2.5	3.3	2.8	3.5	3.3
Boiling	3.0	3.0	3.5	3.5	3.1	3.0
Microwave	2.0	1.8	2.0	1.9	1.9	1.4
Pancreatin	3.1	3.0	3.7	3.7	3.0	3.0
Sodium Hypochlorite	4.5	4.8	5.0	5.0	3.8	5.0
Diptera Larvae	2.7	2.7	3.6	3.2	3.2	3.9

Tableau 4 : Score entre 1 (surface osseuse conservée) et 5 (très dégradée), évaluant l'impact des méthodes de préparation anthropologique sur la porosité et l'effritement de l'os, la capacité à retenir les lésions et préserver l'intégrité de l'os (King 2015)

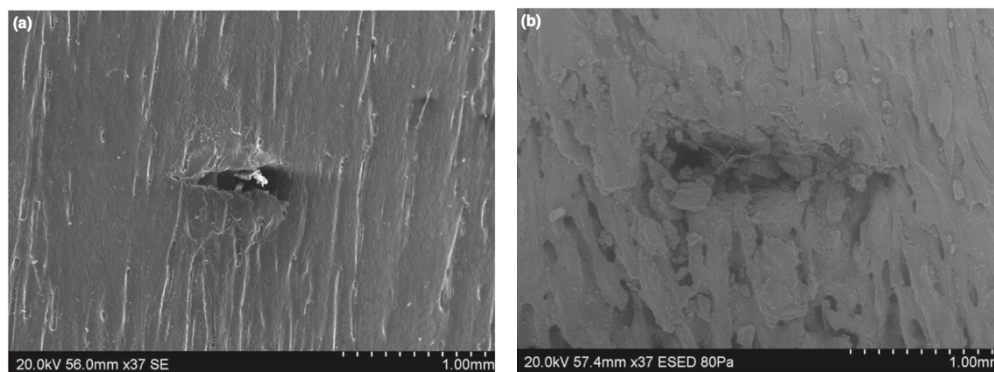


Figure 33 : Images au MEB représentant 2 scores différents de capacité à retenir les traces de coupe. (a) score 1 (b) score 3. Images issues de King 2015

Komo (2018) relevait un facteur de rétraction de la largeur des lésions pouvant aller jusqu'à 8,6%, après préparation anthropologique au micro-ondes de côtes de porc sur lesquelles avait été préalablement produit des marques de couteau. Triaca (2022) a comparé plusieurs méthodes de préparation anthropologique pour des os brûlés (macération dans l'eau chaude, utilisation d'enzymes, de bactéries, de solutions chimiques). La technique qui causait le moins de dommages visibles macroscopiquement (présence d'écailles, dommages de surface,

fragmentation) était celle utilisant de l'eau chauffée à une température de 80°C (pour 24 heures). Bosch (2011) indiquait que des os humains traités par macération dans l'eau chauffée ne présentaient pas de modifications majeures, bien que macroscopiquement les os bouillis se distinguaient des os non bouillis car ils étaient plus lisses, plus légers, et plus transparents. Des observations au MEB à divers temps ont mis en évidence un ramollissement et un lissage de surface clairement visible au bout de 4h d'ébullition (100°C) (Figure 34).

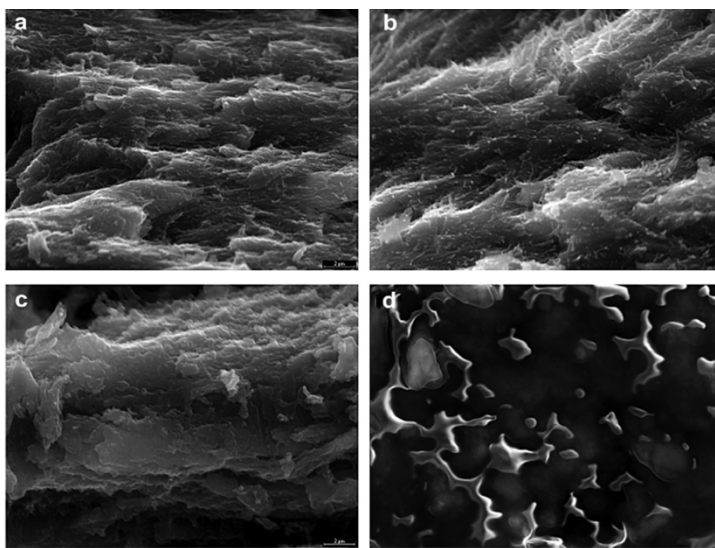


Figure 34 : Images MEB de la surface osseuse (a) sur os non bouilli (b) bouilli 2h (c) bouilli 4h (d) bouilli 6h. Bosh 2011

La comparaison réalisée par Petrovic (2019) avant-après préparation anthropologique par macération dans l'eau bouillante d'os bovins n'a montré aucune différence significative à la surface des os observés par MEB. En revanche, il a montré qu'une heure d'ébullition à 100° affecte de manière significative à la fois le module d'élasticité (capacité du matériau à se déformer puis reprendre sa forme initiale, varie avec le degré de minéralisation de l'os) et de dureté de l'os bovin (capacité de résister à la pénétration, moyen d'estimer le degré de minéralisation du tissu osseux) dans le sens de la diminution ; pour l'os bovin brut, le module élastique moyen était de 30,515 +/- 6,769 GPa, tandis que la dureté moyenne était de 0,5683 +/- 0,211 GPa. En ce qui concerne l'os bouilli, les valeurs correspondantes étaient respectivement de 22,298 +/- 7,0303 GPa et 0,408 +/- 0,199 GPa.

En conclusion, compte tenu de la revue de la littérature, ce travail de thèse s'est focalisé sur l'étude des lésions osseuses produites par les scies, car il s'agit d'un type d'instrument fréquemment utilisé dans les démembrements criminels (Delabarde 2010, Rutty 2013, Porta 2016, Baier 2016, Black 2017, Ross 2018). Les connaissances permettant de déterminer la classe de la scie utilisée à partir des traces laissées sur l'os sont encore parcellaires et nécessitent d'être développées, afin de pouvoir répondre aux questions des enquêteurs et des magistrats dans des observations réelles. Les travaux expérimentaux présentés dans cette thèse se sont focalisés sur les faux départs, car il s'agit de la zone d'intérêt qui donne le plus d'informations sur les caractéristiques de la lame de la scie. De plus, dans la réalité médico-légale, ce type de lésions est régulièrement rencontré. On retrouve plusieurs exemples dans la littérature scientifique, dont quelques-uns sont illustrés ci-dessous (Figure 35, 36 et 37) :



Figure 35 : Faux départs identifiés sur un fémur au niveau macroscopique, permettant de confirmer l'utilisation d'une scie, Porta 2015

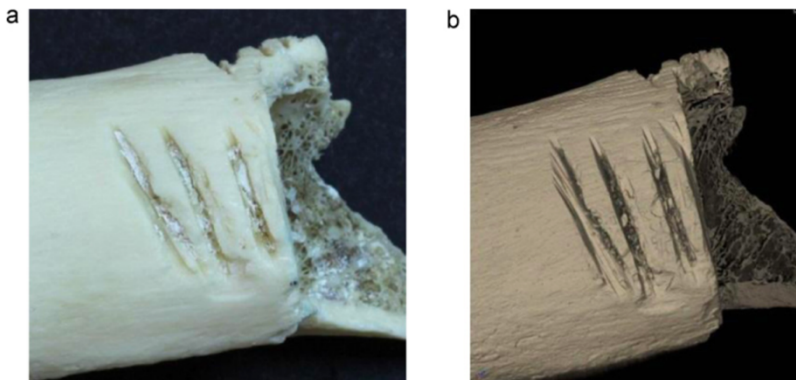


Figure 36 : Faux départs identifiés sur un humérus grâce au photomicrographe (a) et au micro-CT (b), Rutty 2012



Figure 37 : Deux faux départs sur un fémur, ayant permis d'identifier des caractéristiques diagnostiques de classe de la scie utilisée par observation microscopique, Ross 2018

Un des cas médico-légaux de démembrement criminel traité à l'IML (Institut médico-légal) de Nice a également retrouvé deux faux départs ; un situé sur une clavicule et l'autre sur une côte. Ces faux départs (Figure 38 et 39) ont permis d'identifier des caractéristiques diagnostiques de classe concernant la scie utilisée par le criminel.

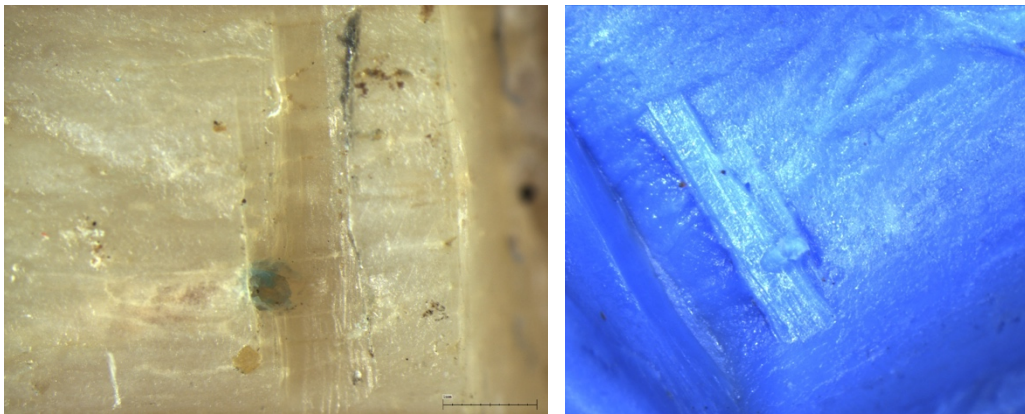


Figure 38 : Faux départ situé sur une clavicule et visualisé au stéréomicroscope, ; à gauche sur l'os, à droite sur un moulage obtenu à partir de la lésion osseuse

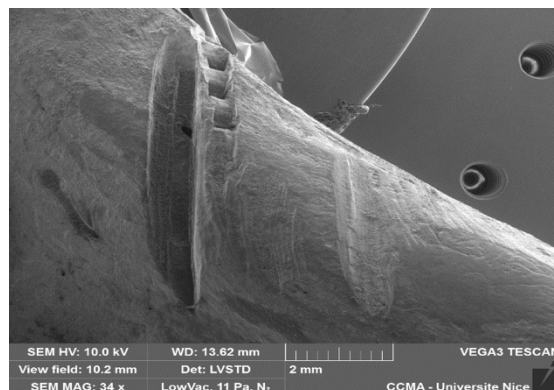


Figure 39 : Faux départ situé sur une côte visualisé au microscope électronique à balayage (MEB)

La revue de la littérature a également permis d'établir qu'aucune technique de préparation anthropologique n'est idéale pour la préservation de l'os. Les travaux expérimentaux présentés dans cette thèse ont utilisé la macération dans l'eau chauffée à 85°C, car il s'agit d'une technique simple, peu coûteuse et qui apparaît relativement conservatrice pour la surface osseuse.

II/ Partie expérimentale

Le premier temps de ce travail expérimental a consisté à s'intéresser aux critères diagnostiques des faux départs laissés sur l'os humain par plusieurs scies peu ou non étudiées dans la littérature. Cette analyse a été réalisée à l'aide du stéréomicroscope et du MEB.

Dans un second temps, je me suis interrogée sur l'influence de la préparation anthropologique par macération de l'os dans l'eau chauffée à 85°C (utilisée dans les protocoles expérimentaux pour retirer les parties molles de l'os) sur la structure osseuse, et donc par conséquent sur les traces osseuses produites par les scies. Pour cela, des échantillons humains et de porcs ont été utilisés, ainsi que la stéréomicroscopie et la tomodensitométrie.

A/ Analyse expérimentale des caractéristiques diagnostiques des faux départs laissés sur l'os par plusieurs scies peu étudiées dans la littérature

Avant de débiter ma thèse, j'ai étudié les caractéristiques diagnostiques des faux départs produits expérimentalement sur l'os par une scie électrique autopsique oscillante (scie électrique, avoyage alterné, dents isocèles, TPI 16). Si elle n'est pas utilisée par le criminel dans les cas de démembrement, le médecin légiste peut en revanche créer accidentellement des faux départs avec cette scie durant une autopsie (en particulier lorsqu'il souhaite prélever des échantillons d'os pour une analyse détaillée future) qui pourraient être confondus avec ceux produits par le criminel.

Il faut donc connaître les caractéristiques diagnostiques des lésions produites avec cette scie. Ce travail a fait l'objet d'une publication dans *International Journal of Legal Medicine* (Bernardi 2020) ; 130 faux départs expérimentaux avaient été produits sur des os humains et de porcs puis avaient été observés au stéréomicroscope ; le motif du faux départ généralement retrouvé était une figure en forme de « 8 », avec des îlots ovales évidents dans le fond de coupe, un profil convexe, des murs de forme large / étroite, et des stries ondulées. Mais la profondeur du faux départ jouait un rôle important dans la variation des caractéristiques diagnostiques observées ; les faux départs superficiels avaient tendance à être associés à des murs droits, des îlots osseux longitudinaux, et une largeur plus importante entre les berges de la lésion.

Une catégorisation des lésions en deux groupes avait été établie sur la base des différences spectaculaires dans les caractéristiques observées entre ces deux groupes ; « groupe superficiel » et « groupe profond », avec un seuil de profondeur à 0,52 mm (Figure 40).

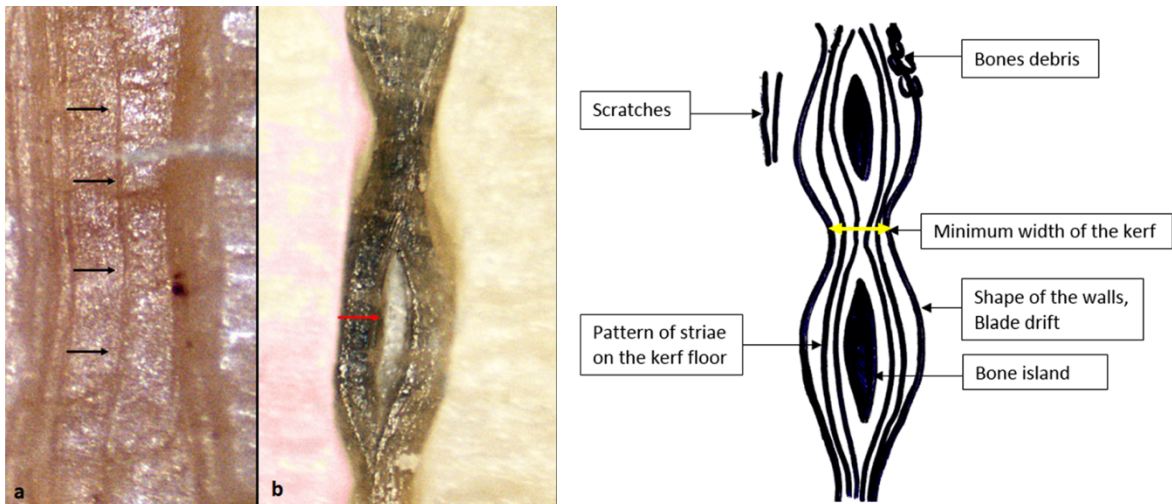


Figure 40 : Faux départs de scie autopsique (a) superficiel, visualisé au stéréomicroscope (b) profond, visualisé au stéréomicroscope (c) schéma du faux départ profond, Bernardi 2020

Comme les îlots osseux identifiés dans le fond de coupe présentaient une morphologie très différente en fonction de la profondeur du faux départ, j'ai voulu comprendre le mécanisme à l'origine de ce changement de morphologie.

1- Comparaison du stéréomicroscope avec le microscope électronique à balayage dans l'analyse des faux départs produits par une scie autopsique.

Article publié dans *Forensic Science International*

Résumé

Les caractéristiques de 20 faux départs produits par une scie électrique autopsique oscillante ont été étudiées en utilisant le stéréomicroscope et le microscope électronique à balayage. Ces faux départs ont été sélectionnés par randomisation à partir de la précédente étude où 100 faux départs avaient été créés.

Le microscope électronique à balayage, qui permet un grossissement et une profondeur de champ importants, a confirmé les caractéristiques des faux départs décrites précédemment au stéréomicroscope (murs, profils, stries, îlots osseux). Il a surtout permis d'expliquer le mécanisme de formation des îlots osseux ovalaires dans les lésions profondes ; ils résultent du mouvement horizontal et vertical de la lame de la scie électrique autopsique oscillante. L'avoyage alterné de la lame entraîne un mouvement d'ondulation horizontal à l'origine de la formation de bords ovales au niveau de l'îlot, plus marqués lorsque la profondeur augmente. Il existe également un mouvement d'ondulation vertical de la lame qui explique les dépressions à l'origine de l'individualisation de l'îlot osseux longitudinal en îlots osseux ovales.



The stereomicroscope and scanning electron microscope comparison of false starts bones produced by an oscillating autopsy saw

Caroline Bernardi^{a,d,*}, Luísa Nogueira^a, François Orange^b, Georges F. Carle^c,
Véronique Alunni^{a,d}, Gérald Quatrehomme^{a,d}

^a Institut Universitaire d'Anthropologie Médico-Légale, Faculté de Médecine, Université Côte d'Azur, 28 Avenue de Valombrose, 06107 Nice Cedex 2, France

^b Centre Commun de Microscopie Appliquée (CCMA), Université Côte d'Azur, Nice, Parc Valrose, 28 Avenue Valrose, 06108 Nice Cedex 2, France

^c UMR E4320 TIRO-MATOs CEA/DRF/Institut Joliot, Université Côte d'Azur, Nice, France

^d CEPAM (UMR CNRS 7264), 24 Av. des Diables Bleus, 06300 Nice, France



ARTICLE INFO

Article history:

Received 3 December 2020

Received in revised form 25 March 2021

Accepted 26 April 2021

Available online 5 May 2021

Keywords:

Forensic anthropology

Oscillating autopsy saw

Stereomicroscope

Scanning electron microscope

Saw marks

ABSTRACT

In forensic anthropology, saw mark analysis plays an important role in cases of criminal dismemberment. Autopsy saw is not used by the perpetrator in cases of dismemberment, but the forensic pathologist may accidentally create false starts with this saw during an autopsy, especially while sampling bones for further analysis, and these autopsy false starts can be confused with false starts produced by the offender. In this study, the characteristics of 20 false starts were compared using stereomicroscopy (SM) and scanning electron microscopy (SEM). These bone false starts were selected at random from a previous study of 100 false starts created by an electrical oscillating autopsy saw on human femoral bones. That study had enabled the categorization of the lesions into two groups (“superficial group” and “deep group”) with a 0.52 mm depth cut off, based on the dramatic differences in lesion characteristics between these two groups. In the current study, SEM confirmed the characteristics of the false starts (walls and profile shapes, striae, bone islands and bone debris were studied), and above all explained the mechanism whereby oval bone islands in deep lesions are formed. Bone islands are due to the horizontal and vertical movement of the oscillating autopsy blade.

© 2021 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Cases of criminal dismemberment are often complex [1–3]. Autopsy saw is not used by the perpetrator in cases of dismemberment, but the forensic pathologist may accidentally create false starts with this saw during an autopsy, that can be confused with false starts produced by the offender. False starts occasionally occur while sampling bones for further analysis in difficult circumstances, such as autopsies of decomposed bodies or in cases of adipocere or mummification, especially because decomposed tissues may hide false starts of dismemberment. In addition, some areas are difficult to sample with the autopsy saw, due to their anatomical configuration.

Saws are classified according to four main criteria: manual or electric; type of set; type of teeth and teeth per inch (TPI) [4,5]. The

analysis of false starts lesions allows to determine the saw class from the observation of several bone characteristics such as the minimum width of the lesion, the kerf profile, the shape of the walls, the striae on the kerf floor and the presence or absence of bone islands [4–8].

In a previous study [9] we had performed a stereomicroscopic analysis of 100 bone false starts produced by an autopsy saw (electric oscillating saw, isosceles teeth, alternating set, TPI 16). In this previous study some expected features were present (convex profile, an alternation of narrow and wide aspect of the walls, undulating striae). But some features were unexpected: the minimum width of the false start was narrow for an electric saw (in reference to the data of the literature, e.g., [5]), and the morphology of bones islands varied dramatically according to the depth of the lesion, i.e., longitudinal bone islands within 0.52 mm of depth (termed as “superficial group”); oval “8” shape beyond 0.52 mm of depth (termed as “deep group”) [9].

Several methods have been employed for saw mark analysis such as stereomicroscopy (SM) [6,7,9–14], light microscopy [5,8,15–17] or epifluorescence microscopy [18]. The use of scanning electron microscopy (SEM) has also been reported in the forensic literature for

* Corresponding author at: Institut Universitaire d'Anthropologie Médico-Légale, Faculté de Médecine, Université Côte d'Azur, 28 Avenue de Valombrose, 06107 Nice Cedex 2, France.

E-mail address: caroline.bernardi@outlook.fr (C. Bernardi).

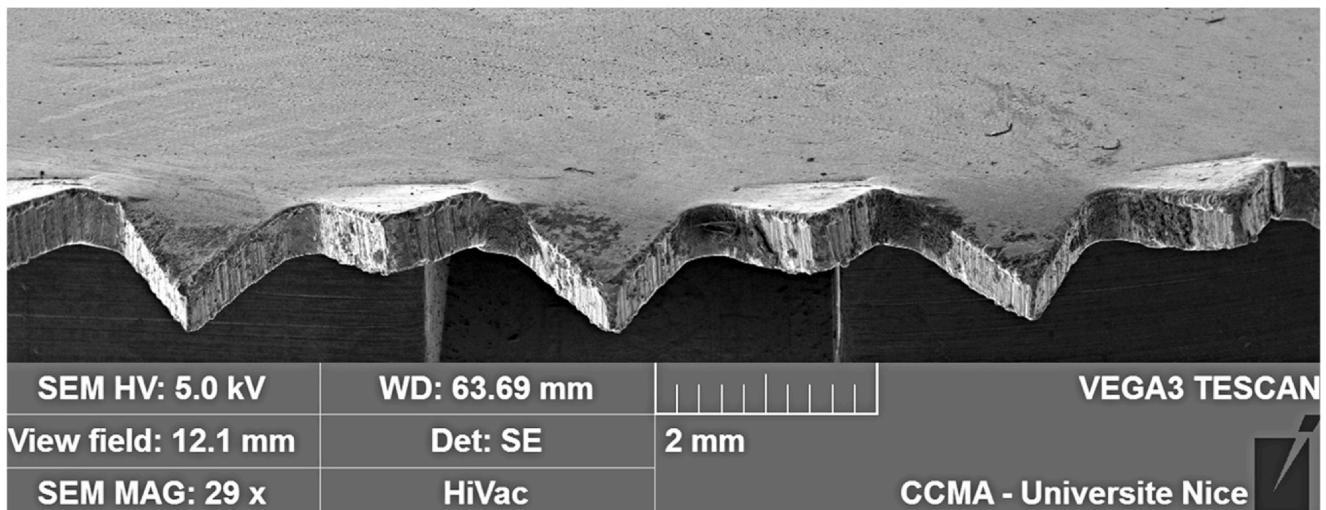


Fig. 1. Blade of an oscillating autopsy saw. The teeth are alternately bent in opposite lateral directions (alternating set) (SEM x29).

the study of tool marks [e.g. 19,20], but is rarely documented for saw mark analysis [4,13,14,21]. Therefore, the aim of the current study was to compare the features of false starts produced by an electrical oscillating autopsy saw on femoral human bones using SM and SEM, respectively, and to understand the mechanism behind the alteration of the morphology of bone islands between the superficial and deep groups of lesions.

2. Materials and methods

2.1. Bone samples and oscillating autopsy saw

In a previous study [9] femoral bones were taken from two elderly males who donated their body for the purpose of teaching and research, in accordance with French law. The bodies were stored at +4 °C and non-altered by decomposition. Three defleshed diaphyses were used. The absence of bone pathology or visible degenerative disease has been verified. The same person (the senior author) produced the false start. The electrical oscillating autopsy saw (with isosceles teeth, teeth per inch (TPI) of 16, and an alternating set) (Fig. 1) was used at maximum speed (1400 oscillations per minute), which corresponds to its usual conditions of use). 100 false starts were created (35 lesions on each of the first two diaphyses and 30 lesions on the third). The false starts lesions were separated from each other by 15 mm to avoid interference between lesions. In this previous work [9] it was found that beyond 0.52 mm in depth, a dramatic change of morphology of bones islands was observed. Therefore, the lesions were separated into two groups: superficial group (depth < 0.52 mm) ($n = 49$) and deep group (depth > 0.52 mm) ($n = 51$).

Of these 100 false starts, twenty were randomly selected for the current study. Ten false starts out of 49 were drawn at random from the “superficial group” and 10 false starts out of 51 from the “deep group”.

2.2. Scanning electron microscopy

SEM observations were carried out with a Tescan Vega 3 XM4 SEM. The bone samples were prepared using a bath of pure acetone for two hours to remove any remaining lipids and dried for half an hour under a chemical hood. The samples were observed without prior metal coating, using either high vacuum mode (~5.10–4 Pa) at a 5 kV accelerating voltage, or in low vacuum mode (N2 pressure 25 Pa) at a 10 kV accelerating voltage to minimize the charge effects. High vacuum mode was prioritized. But when the charge effects

were significant, the low vacuum mode was used to obtain higher quality images.

2.3. Criteria of analysis and statistics

The structures observed included: (i) the shape of the walls; (ii) the shape of the profiles; (iii) the pattern of striae on the kerf floor; (iv) the presence of residual bone islands and (v) the presence of bone debris. The profile of the lesions was analyzed from casts of the false starts (Silicone HP Putty®) cut transversally to facilitate the analysis. Fisher tests were performed using R Studio software (version 4.0.2).

Table 1

Comparative microscope analysis using SM and SEM (Fisher test). NS = non significant.

	Superficial group ($n = 10$)		Deep group ($n = 10$)	
	SM	SEM	SM	SEM
Profile (convex)				
Rounded W	6	4	8	8
Less obvious	4	6	2	2
p	NS		NS	
Walls				
Alternating narrow/wide	1	1	9	9
Narrow/wide (less obvious)	5	5	1	1
Straight	4	4	0	0
p	NS		NS	
Striae on the floor				
Undulating pattern	5	0	10	6
Less obvious undulating pattern	3	2	0	0
Undulating/straight	0	1	0	1
Straight	2	4	0	3
Absent	0	3	0	0
p	0.03		NS	
Bone islands				
Longitudinal	8	7	2	2
Oval	2	3	8	8
p	NS		NS	
Bone debris				
Present	2	10	5	10
Absent	8	0	5	0
p	< 0.0001		0.03	

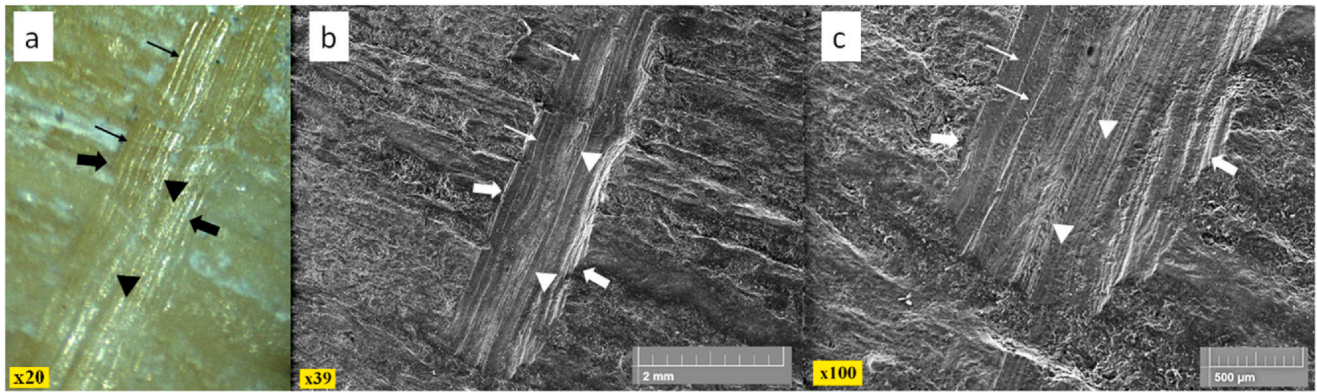


Fig. 2. A superficial bone lesion under three levels of magnification: The walls (thick arrows) and the striae (thin arrows) are straight and the bone island is longitudinal (arrowheads). (a) SM (x20). (b) SEM (x39). (c) Magnification of the lower extremity of the same false start (SEM x100).

3. Results

Table 1 shows the comparative analysis using SM and SEM of the 20 randomly drawn lesions (10 false starts from the superficial group and 10 from the deep group).

3.1. Superficial group

The profiles were convex (“rounded W”) in all of the cases though it was less obvious to spot with SEM in 6 cases out of 10. There was no statistical difference between SM and SEM observations.

The walls alternated between narrow and wide sections in 6 out of 10 cases using both SM and SEM. Straight walls were observed in 4 cases out of 10 using both techniques (Fig. 2a and b). There were no statistical differences between SM and SEM observations.

Using SM, eight cases presented with more or less pronounced undulating striae patterns on the kerf floor. Using SEM, in four cases (Fig. 2a–c) the striae were classified as straight, instead of the expected undulating pattern, and in three cases, there was no visible striae. Regarding this criterion, there was a statistical difference between SM and SEM.

Bone islands were classified mainly as longitudinal using both techniques and there was no statistical difference between SM and SEM (Fig. 2a–c).

Bone debris were always visible with SEM ($p < 0.001$).

3.2. Deep group

In the “deep” group all profiles were convex; only 2 out of the 10 lesions presented a less obviously convex pattern with both SM and SEM. No difference was observed when comparing SM and SEM.

In the “deep” group the walls alternated between narrow and wide sections in all 10 cases using both techniques (Fig. 3a and b).

Undulating striae were less frequently found with SEM (Fig. 3b–d) but the difference was not statistically significant.

Bone islands were essentially oval and there was no statistical difference between SM and SEM (Fig. 3a–d).

Bone debris were visible in all of the cases with SEM ($p < 0.03$).

Fig. 4 shows casts of a superficial lesion and a deep lesion as seen using SEM. The superficial bone lesion presents with straight walls and striae and a longitudinal bone island. In the deep lesion the walls and striae are undulating, and the bone islands are oval.

3.3. Superficial group vs deep group

With SM and SEM the difference between the “superficial” and “deep” groups was statistically significant for the wall shapes and the striae. The result was not significant with SEM. Fig. 3d shows a lateral movement of the blade (leading to alternating thin and thick sections of the bone island), which was described in our previous study [9], but also a vertical movement of the blade that leads to and explains the separation of the successive oval bone islands.

4. Discussion

Saw mark analysis plays an important role in forensic anthropology in cases of criminal dismemberment. Autopsy saw is not used by the perpetrator in cases of dismemberment, but the forensic pathologist may accidentally create false starts with this saw during an autopsy that can be confused with false starts produced by the offender.

A review of the literature found just one study of false starts produced by an autopsy saw [9] despite the fact that lesions

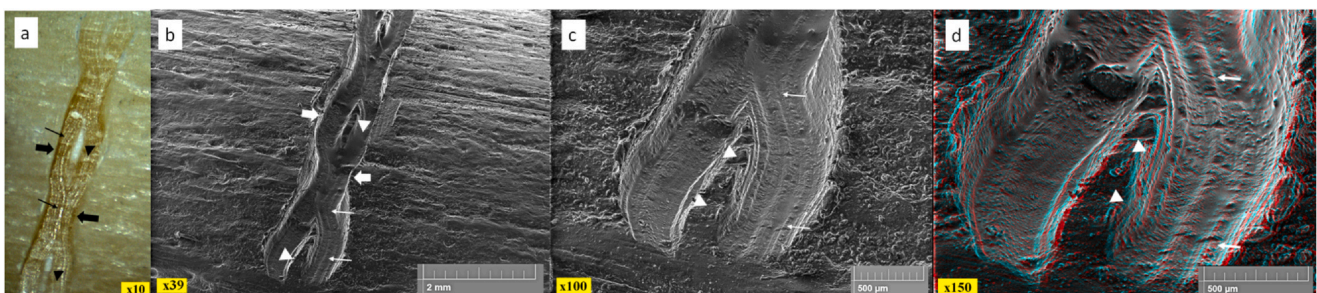


Fig. 3. A deep bone lesion under four levels of magnification: The walls (thick arrows) present obvious alternating narrow and wide parts; the striae are undulating (thin arrows) and the bone island is oval (arrowheads). (a) SM analysis (x10). (b) SEM (x39). (c) Magnification of the lower extremity of the same false start (SEM, x100). (d) Magnification and 3D SEM (x150) of the lower extremity of the same false start. The bone island (arrowheads) appears in 3D (red and green glasses are needed to see the 3D picture) and walls and striae (thin arrows) are undulating around it. The vertical movement of the blade is obvious with four successive tiny vertical depressions within the bone island.

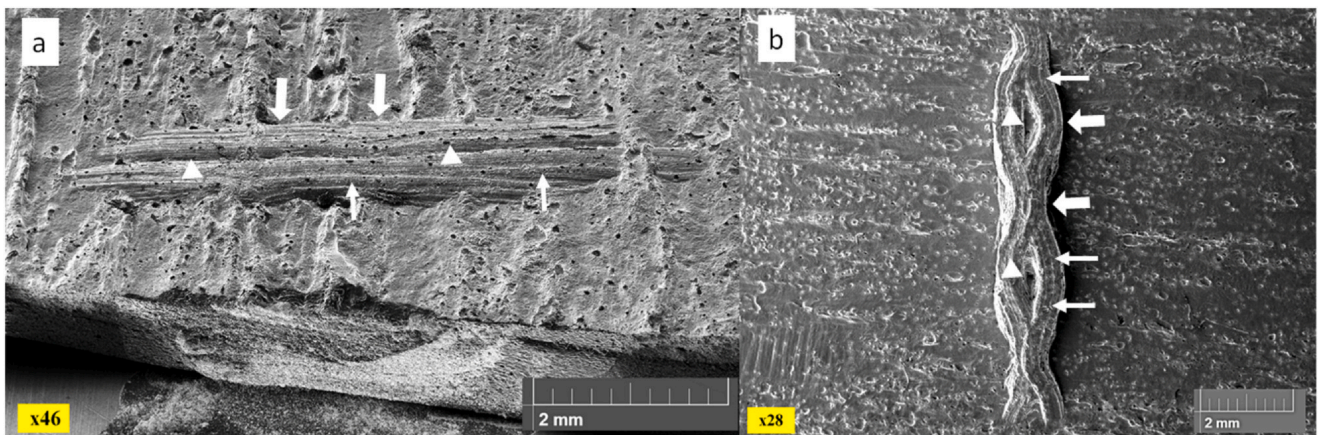


Fig. 4. Casts of two different bone lesions: (a) Superficial bone lesion (SEM, x46): the walls (thick arrows) are straight, there is a longitudinal bone island (arrowhead) and straight striae (thin arrows). (b) Deep bone lesion (SEM, x28): the walls (thick arrows) are undulating, there is an oval bone island (arrowhead) and undulating striae (thin arrows).

produced during autopsy may lead to interpretation difficulties in cases of criminal dismemberment. A few studies have investigated lesions produced by handsaws using SEM [4,13,14,21]. SEM allows for an important magnification and depth of field. The aim of the present study was to compare the features of these false start lesions analyzed by SM and SEM and to understand the mechanism responsible for the alteration of bone islands between the superficial and deep groups as reported in the previous study.

In a previous study, 100 false starts made by an electrical oscillating autopsy saw (isosceles teeth, TPI of 16, alternating set) on human femoral bones were analyzed using SM [9]. This study had stated that the depth of the lesion was an important parameter, as the features changed dramatically between a “superficial group” and a “deep group”, the cut off being at a depth of 0.52 mm. In the deep group, the false starts presented with a marked succession of narrow and wide aspects of the walls, obvious undulating striae and oval bone islands. In contrast superficial false starts tended to be associated with larger kerf widths, straight walls, and longitudinal bone islands.

In the current study 20 false starts lesions (10 “superficial” false starts and 10 “deep” false starts) were observed using SM and SEM. These 20 lesions were randomly drawn from the 49 superficial and 51 deep false starts previously studied, respectively [9]. Five criteria were evaluated: the shape of the profiles, the shape of the walls, the pattern of the striae of the kerf floor, the shape of the bone islands and the presence of bone debris. One criterion was excluded from this work: the minimum width of the kerf which is very easy to measure with SM.

The *shape of the profile* is one of three main criteria for classifying saws [6] according to Symes’s categories (category A and B: concave profiles; category C: convex profiles) [5]. A concave profile is observed with a rip saw [5] and a convex profile with a crosscut [5] or universal [6] saw. The teeth of the autopsy saw form isosceles triangles and thus a convex profile was expected [9]. All lesions (superficial and deep lesions) presented convex profiles but in some cases the pattern was discrete. No differences were observed when comparing SM and SEM.

The *shape of the walls* partly reflects the set of the blade [6]. Alternating walls indicate an alternating set (when each tooth is alternatively bent on one side and then on the other side). Necking in the middle of the kerf (“hourglass shape”, “dumb-bell shape”) indicates a wavy set (where a wave of teeth is alternatively bent on one side and then on the other side). Straight walls are inconclusive because there are encountered with alternating, wavy [5,6] or even raker set [5] blades (the raker tooth is a specialized tooth, usually placed every two to three teeth). SEM analysis confirmed the SM observations for the superficial and deep lesions. Straight walls were

observed in the superficial group in 4 cases out of 10, with both SM and SEM. In the deep group, the alternating narrow and wide pattern was always present. This pattern was less obvious both with SM and SEM in only one case out of 10. Again, straight walls do not allow for blade set determination. In the current study there was no statistical difference between SM and SEM for this criterion.

The analysis of the *striae on the kerf floor* also contributed to the determination of the blade set [5,6]. In the superficial group, an undulating pattern was present in 8 cases out of 10 with SM. With SEM there was more variation in the pattern found. Only 3 cases displayed less marked undulating or undulating/straight pattern, and 4 out of 10 patterns observed were straight with SEM (vs 2 with SM). Therefore, regarding this criterion of striae pattern, it may be concluded that the undulating or undulating/straight pattern typically expected with this kind of saw was less frequently observed with SEM than with SM. This difference was statistically significant. The explanation resides with the too high SEM magnification. Because 4 cases required a SEM x 1250 magnification to be able to see the striae, this high magnification meant that curves appeared to become rectilinear.

Striae were not visible in three cases using SEM (despite attempting to tilt the sample several times in each three cases), whereas striae were always visible with SM. This fact highlights the difficulty of this kind of observation: the observation of striae depends on the angle of the lesion and intensity of the light and does not depend only upon magnification. A slight tilt of the light beam may make the striae appear or disappear from view.

Concerning the deep group, SM was very successful in assessing the undulating striae (10 cases out of 10). SEM identified striae in all 10 cases, but classified them as undulating only in 7 out of 10 cases, while 3 straight patterns were observed. The explanation is the same as above, in that obviously the high magnification alters sinusoids into straight lines.

The presence of *bone islands* suggests an alternating blade set [5]. As demonstrated in our previous study, bone islands were mainly longitudinal in the superficial group and mainly oval in the deep group. The difference between SM and SEM observations was not significant in the current study. In only one case out of 10 the use of SEM identified a bone island as oval which had been considered longitudinal using SM. This is explained by the higher magnification and depth of field of SEM that facilitates the observation of a little depression that separates the bone islands transversally making the bone island appear oval rather than longitudinal. Furthermore, this particular case confirms the hypothesis raised in our previous study that oval bone islands are explained by the horizontal movement of the blade explaining the “figure 8” pattern that was previously described [9], but also by the vertical movement of the blade that

explains the modification of longitudinal bone islands into oval bone islands as the false starts become deeper. This fact is demonstrated in the current study: SEM clearly shows (Fig. 3c and d) the oval edges of the bone island (due to the alternating set, that leads also to alternating walls and undulating striae by horizontal movement of the blade) and the vertical depression between two bone islands (that is only visible with SEM and can only be explained by the vertical movement of the blade) that leads to the modification of longitudinal bones islands into oval bone islands.

Bone debris were better observed with SEM than with SM, in both the superficial group and the deep group, and the difference was statistically significant. This is easily explained by the higher magnification and the better depth of field of SEM.

CRedit authorship contribution statement

Caroline Bernardi: Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing - review & editing. **Luisa Nogueira:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Writing - review & editing. **François Orange:** Methodology, Investigation, Writing - review & editing. **Georges Carle:** Writing - review & editing. **Veronique Alunni:** Writing - review & editing. **Gerald Quatrehomme:** Conceptualization, Methodology, Writing - review & editing.

For ethical statement

Compliance with Ethical Standards.

Funding

No funding was received.

Acknowledgements

We thank very much Marie-Catherine Francino for English editing and for her relevant advice.

Conflict of Interest

We declare that there is no conflict of interest.

References

- [1] A.H. Ross, E. Cunha, *Dismemberments: Perspectives in Forensic Anthropology and Legal Medicine*, Academic Press, United Kingdom, 2019.
- [2] S. Black, G. Ruddy, S. Hainsworth, G. Thomson, *Criminal Dismemberment: Forensic and Investigative Analysis*, CRC Press, Boca Raton, New York, 2017.
- [3] G. Quatrehomme, *Traité d'Anthropologie Médico-légale*, De Boeck, Paris, 2015.
- [4] P.A. Saville, S. Hainsworth, G.N. Ruddy, Cutting crime: the analysis of the "uniqueness" of saw marks on bone, *Int. J. Leg. Med.* 131 (2007) 349–357.
- [5] S.A. Symes, (PhD. Dissertation), *Morphology of Saw Marks in Human Bone: Identification of Class Characteristics*, University of Tennessee, Knoxville, 1992.
- [6] L. Nogueira, Q. Quatrehomme, C. Rallon, P. Adalian, V. Alunni, Saw marks in bones: a study of 170 experimental false start lesions, *Forensic Sci. Int.* 268 (2016) 123–130.
- [7] L. Nogueira, V. Alunni, C. Bernardi, G. Quatrehomme, Saw marks in bones: a study of "secondary features" of false start lesions, *Forensic Sci. Int.* 290 (2018) 157–161.
- [8] J.A. Bailey, Y. Wang, Statistical analysis of kerf mark measurements in bone, *Forensic Sci. Med. Pathol.* 7 (2011) 53–62.
- [9] C. Bernardi, L. Nogueira, V. Alunni, G. Quatrehomme, Analysis of false start bone lesions produced by an electrical oscillating autopsy saw, *Int. J. Leg. Med.* 134 (2019) 543–551.
- [10] G. Pelletti, G. Cecchetto, A. Viero, P. Fais, P. Weber, D. Miotto, M. Montisci, G. Viel, C. Giraudo, Accuracy, precision and inter-rater reliability of micro CT analysis of false start bones. A preliminary validation study, *Leg. Med.* 29 (2017) 38–43.
- [11] G. Pelletti, G. Viel, P. Fais, A. Viero, S. Visentin, D. Miotto, M. Montisci, G. Cecchetto, C. Giraudo, Micro-computed tomography of false starts produced on bone by different hand-saws, *Leg. Med.* 26 (2017) 1–5.
- [12] E. Cerutti, L. Spagnoli, N. Araujo, D. Gibelli, D. Mazzarelli, C. Cattaneo, Analysis of cut marks on bone: can light microscopy be of any help? *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 37 (4) (2016) 248–254.
- [13] S.C. Robbins, S.I. Fairgrieve, T.S. Oost, Interpreting the effects of burning on pre-incineration saw marks in bone, *J. Forensic Sci.* 60 (S1) (2015) S182–S187.
- [14] L.E. Freas, Assessment of wear-related features of the kerf wall from saw marks in bone, *J. Forensic Sci.* 55 (6) (2010) 1561–1569.
- [15] S.M. Marciniak, A preliminary assessment of the identification of saw marks on burned bone, *Forensic Sci.* 54 (4) (2009) 779–785.
- [16] J.M. Berger, J.T. Polkines, T.L. Moore, Analysis of class characteristics of reciprocating saws, *J. Forensic Sci.* 63 (6) (2018) 1661–1672.
- [17] J.C. Love, S.M. Derrick, J.M. Wiersema, C. Peters, Microscopic saw marks analysis: an empirical approach, *J. Forensic Sci.* 60 (S1) (2015) S21–S26.
- [18] C. Capuani, C. Guilbeau-Frugier, M.B. Delisle, D. Rougé, N. Telmon, Epifluorescence analysis of hacksaw marks in bone: highlighting unique individual characteristics, *Forensic Sci. Int.* 241 (2014) 195–202.
- [19] L. Komo, M. Grassberger, Experimental sharp force injuries to ribs: multimodal morphological and geometric morphometric analyses using micro-CT, macro photography and SEM, *Forensic Sci. Int.* 288 (2018) 189–200.
- [20] L. Nogueira, G. Quatrehomme, M.F. Bertrand, C. Rallon, R. Ceinos, P. du Jardin, P. Adalian, V. Alunni, Comparison of macroscopic and microscopic (stereomicroscopy and scanning electron microscopy) features of bone lesions due to hatchet hacking trauma, *Int. J. Leg. Med.* 131 (2) (2017) 465–472.
- [21] D. Gibelli, D. Mazzarelli, D. Porta, A. Rizzi, C. Cattaneo, Detection of metal residues on bone using SEM-EDS –Part II: sharp force injury, *Forensic Sci. Int.* 223 (2012) 91–96.

Dans l'optique de confronter les données existantes de la littérature sur les faux départs, avec d'autres outils peu étudiés dans la littérature et pourtant facilement disponibles dans le commerce, je me suis intéressée à deux scies à main ayant la particularité de posséder un TPI élevé.

2- Analyse des faux départs produits sur l'os humain par deux scies à main possédant un TPI élevé

Article publié dans International Journal of Legal Medicine

Résumé

Le but de cette étude était d'analyser à l'aide d'un stéréomicroscope une série de 60 faux départs expérimentaux (30 lésions pour chaque scie) produits sur des os humains par deux scies à main différentes avec un TPI élevé (15 et 32). Les lésions causées par ces scies à TPI élevé ont rarement été décrites dans la littérature médico-légale. La scie numéro 2 (scie à métaux avec dents à refendre, TPI 32, avoyage ondulé) présentait des caractéristiques attendues (faible largeur minimum du faux départ, profil concave, stries fines et droites). En revanche, la scie 1 (scie à panneaux avec dents universelles, TPI 15, avoyage alterné) n'a pas produit les caractéristiques attendues : la largeur minimale du faux départ était faible et s'explique probablement par une faible épaisseur de la lame, les murs étaient droits, les stries étaient droites ce qui s'explique probablement par le TPI élevé, et surtout le profil était très inhabituel avec une alternance de pics et de dépressions plus ou moins rectangulaires, qui n'avait jamais été décrite auparavant. L'existence de ce profil très particulier, non décrit précédemment dans la littérature, facilite l'identification de la classe de la scie.



Analysis of false starts lesions on human bones produced by two hand saws with high TPI

Caroline Bernardi^{1,2} · Luísa Nogueira¹ · Coraline Cabusat-Mailliet¹ · Georges Carle² · Véronique Alunni^{1,3} · Gérald Quatrehomme^{1,3}

Received: 1 October 2019 / Accepted: 14 January 2020
© Springer-Verlag GmbH Germany, part of Springer Nature 2020

Abstract

Cases of criminal dismemberment are encountered in forensic pathology and forensic anthropology. Saw mark analysis aims to determine the type of saw that was used: hand saw versus electrical saw, crosscut and universal saw versus rip saw, size of the teeth (“teeth per inch” TPI), and set type. The goal of this study was to analyze using a stereomicroscope a series of 60 experimental false starts (30 lesions for each saw) produced on human bones by two different handsaws with a high TPI (15 and 32). The lesions caused by these high TPI saws have rarely been described in the forensic literature. Saw 2 (rip hacksaw with a 32 TPI and a wavy set) displayed classical features. In contrast, saw 1 (universal panel saw, TPI 15, alternating set) did not produce the expected characteristics: the minimum width of the kerf was weak, the kerf walls were straight, the striae were straight, and the kerf profile was very peculiar with a succession of peaks and dips that has not yet been described.

Keywords Forensic anthropology · Saw marks · False start lesions · Handsaw · High TPI · Dismemberment · Stereomicroscope

Introduction

Cases of criminal dismemberment are encountered in forensic pathology and forensic anthropology [1–13]. Three kinds of instruments can be used: knives for soft parts, saws for severing diaphyses of long bones and for beheading, and axes or related instruments to complete difficult cuts [3–6]. The

Highlights - A stereomicroscopic study of false start lesions in human bones caused by two different handsaws with a high TPI (15 and 32).

- The rip hacksaw with a 32 TPI and a wavy set displayed classical features.
- The universal panel saw, TPI 15, and an alternating set did not show expected features.
- The kerf profile was very peculiar with a succession of peaks and dips that was not described before.

✉ Caroline Bernardi
caroline.bernardi@outlook.fr

¹ Institut Universitaire d’Anthropologie Médico-Légale, Faculté de Médecine, Université Côte d’Azur, 28 Avenue de Valombrose, 06107 Nice Cedex 2, France

² UMR E4320 TIRO-MATOs CEA/DRF/BIAM, Université Côte d’Azur, Nice, France

³ CEPAM (UMR CNRS 7264), 24 avenue des Diables Bleus, 06300 Nice, France

analysis of saw marks on bones can provide valuable information. There are three areas of interest: false starts lesions (lesions observed when the saw slides off the bone surface without really being able to bite deeply into the bone), complete bone sections (the bone is completely severed), and breakaway spurs (projections of bone due to the fact that bone tends to break toward the end of cutting) or notches (the complementary feature on the opposite bone) [4].

The analysis of false starts allows for classifying saws between hand saws and electrical saws; between crosscut (and universal saws) and rip saws; according to the size of the teeth (“teeth per inch”, TPI), and set type (alternating, raker, or wavy set) [4, 14, 15]. Crosscut saws are designed for cutting across the grain of the wood, without damaging the fibers. The teeth are slightly tilted backwards (pitch) at 14° [16]. Rip saws are designed for cutting in the same direction as the grain of the wood. As such, their teeth are at a straight angle at the front (90°) [16]. Universal saws cut both across and in the direction of the grain of the wood; their teeth are usually isosceles triangles with a pitch of 22.5° [4, 14]. An alternating set refers to a saw where each tooth points alternatively to the left and to the right. A wavy set refers to a saw with alternating groups of teeth pointing left and then right. A raker set refers to an alternating set with a raker tooth inserted between teeth [17].

Table 1 Main characteristics of the two handsaws

	Saw 1	Saw 2
Brand	Bricorama	Bahco
Type	Universal saw	Rip saw
Active stroke	Pushing stroke	Pushing stroke
Length of the blade (mm)	300	150
Height of the blade (mm)	88 (in the middle of the blade)*	6
Type of teeth	Isosceles	Rip
Distance between two consecutive teeth (mm)	1.84	0.85
Height of the teeth (mm)	1.40	0.38
Width of the teeth (mm)	1.13	0.50
TPI	15	32
Type of set	Alternating set	Wavy set
Blade thickness at the level of the teeth (mm)	0.69	0.39
Other features	Second-hand saw	New saw

*The height was not the same all along the length of the blade

Beyond the pioneering studies [17–20], there is very little literature concerning saw marks in bones [10, 12–16, 21–30]. Therefore, the aim of this work was to study a series of experimental false starts produced on human bones by two different handsaws with a high TPI (15 and 32), whose features were seldom studied to our knowledge in the forensic literature.

Material and methods

The saws

Two different handsaws were selected for this study (Table 1). Saw 1 (TPI = 15) was a universal panel saw with isosceles teeth and an alternating set (Fig. 1a). Saw 2 (TPI = 32) was a rip hacksaw with a wavy set (Fig. 1b). Saw 1 was a second-hand saw and saw 2 was a new saw. The measurements of the teeth (height, width, distance between two consecutive teeth) were taken three times using a stereomicroscope (SM) ($\times 20$). The thickness of the blade was measured three times at the level of the teeth using a digital caliper.

False starts

Freshly defleshed human femoral bones were used in the assessment of false start lesions. The diaphyses of human femurs were sampled from two elderly who donated their body to science (mean age of 85 years) according to the French law that allows for the use of these bodies for teaching and research purposes. These femur bones came from males (to avoid a significant osteoporosis) and displayed no visible disease, degenerative disorder, or alteration of bone density. We created 60 experimental false starts (30 lesions for each saw). The false starts were made by the same person (the senior

author, who is left handed) and they were spaced every 15 mm to avoid interference between lesions.

Criteria of analysis

The lesions were analyzed using a stereomicroscope (Visiscope SZTL 320, VWR®) linked to image analysis software (DeltaPixInSight®). Table 2 shows the microscopic criteria that were analyzed [14, 15]. Casts allowed for specifying the shape of the profiles (Silicone HP Putty ®) [14].

Measurements and statistical analysis

The minimum width of the kerf was measured using the stereomicroscope (SM) at a magnification of $\times 10$. Statistics (descriptive statistics, Student's *t* test, Fisher test) were done using R Studio software (version 3.2.3).

Results

Table 3 summarizes the stereomicroscopic bone lesion features observed.

The lesions produced using saw 1 were wider (0.97 mm on average) than those achieved using saw 2 (0.51 mm on average) and the difference was statistically significant (Student's *t* test, $p < 0.0000$).

The shapes of the profiles were analyzed using the casts. The profiles presented alternating concavities (dips) and convexities (peaks) in all of the lesions created using saw 1 (Figs. 2a and 3a). With saw 2, the profiles were concave and square in most of the cases (25/30) (Fig. 2b). The walls were straight in all the cases using both saws.

The striae on the kerf floor were straight (Fig. 3b). Bone debris were observed in half the cases with saw 2. Paint



Fig. 1 Handsaws selected for this study. **a** Universal panel saw. **b** Rip hacksaw

residue was observed in only two of the 30 lesions made using saw 2 (new saw) and none was observed with saw 1 (second-hand saw).

Discussion

In this study, 60 experimental false starts were created on human femur bones using two different saws. These saws had a high TPI, and are rarely reported on in the forensic literature. Saw 1 was a universal (isosceles teeth) panel saw with a TPI of 15 reflecting the small size of its teeth. In the forensic literature, the universal saws studied had a TPI of 7 (large teeth) [14, 15]. Berger et al. [30] studied a saw with a TPI of 9 but it was a reciprocating saw. According to Berger et al. [30] and Symes [17], it may be difficult to differentiate between a hand saw and a power reciprocating saw while using only the main usual features (minimum width of the kerf, shape of the profile, wall’s pattern). Energy transfer aspects (polishing of the cut surface, eburnation) are

complementary clues encountered with power reciprocating saws [30].

Saw 2 is a rip hacksaw with a wavy set and a TPI of 32, reflecting the very small size of its teeth. Norman et al. [29] studied false starts of a TPI 32 rip saw (wavy set), on fleshed, defleshed bones and on gelatin, with micro-CT. He found out a minimum width of the kerf of 0.91 mm, a square profile in all the cases, necked and straight edges. Other high TPI (until 24) were studied with the same type of saw [14, 15, 17, 22, 24, 27].

The minimum width of the kerf

The minimum width of the kerf allows for classifying the type of saw (crosscut or universal saw versus rip saw and power saws) [14, 17]. Symes [17] proposed four different categories according to the minimum width of the kerf. Category A has a minimum width of the kerf between 0.8 and 1 mm indicative of a serrated knife or a rip saw with small teeth; categories B and C have a minimum width between 1.1 and 2.3 mm. Category B includes rip saws with large teeth; category C includes crosscut saws [17] or universal saws [14]; and category D includes electric saws with a far larger minimum width of the kerf, between 6.4 and 8.4 mm [17].

According to Symes’ classification the false starts produced by saw 1 should belong to category A (serrated knife or rip saw with small teeth) if only the minimum width of the kerf (0.97 mm) is taken into account. In the literature, universal saws (isosceles teeth) belong to category C [14]. This discrepancy can be explained by the fact that the current saw has a TPI of 15 (therefore very small teeth) while the universal saws reported in the literature have a TPI of 7 (large teeth) [14] and therefore the lesions produced are wider.

The second saw (saw 2) produced narrow lesions (0.51 mm in average) and it is also classified in the Symes’ category A. Saw 2 is a rip saw with small teeth (TPI = 32) and is consistent with the classification of Symes (category A: serrated knife or rip saw with a high TPI). The mean of widths of the false starts in the Norman et al. [29] study measured with a micro-CT was

Table 2 Microscopic criteria

Minimum width of the kerf	Measured at the less width of the false start between the two edges
Shape of the profile	Concave profiles Convex profiles Alternating of concavities and convexities
Shape of the walls	Alternating between narrow and wide aspects Straight walls Necking in the middle of the kerf
Pattern of striae on the kerf floor	Undulating pattern Undulating/straight pattern Straight pattern
Bones debris	Bone waste on the edges or on the floor of the lesion
Painting residues	Painting residues on the edges or on the floor of the lesion

Table 3 Stereomicroscopic features of the false starts

Features	Saw 1 (n = 30)	Saw 2 (n = 30)
Minimum width of the kerf (mm)		
Mean	0.97	0.51
Min	0.88	0.47
Max	1.04	0.71
(Student's <i>t</i> test, $p < 0.0000$)		
Shape of profile		
Concave	0/30	30/30
Square	0/30	25/30
Round	0/30	5/30
Alternating of concavities and convexities	30/30	0/30
(Fisher test, $p = < 0.0000$)		
Walls		
Straight	30/30	30/30
Striae on the floor		
Straight	30/30	30/30
Bones debris		
Present	0/30	15/30
Absent (Fisher test, $p < 0.0000$)	30/30	15/30
Painting residues		
Present	0/30	2/30
Absent (Fisher test, $p = NS$)	30/30	28/30

NS = non significant

0.7 mm (rip saw, wavy set, TPI 32). This difference (0.51 mm in the present study) is probably correlated to the thickness of the blade (0.7 mm in the Norman's study versus 0.39 mm in the current study when the blade thickness was measured at the level of the teeth). This last measurement is adequate because the false starts in the current experiment were very superficial.

The consequence is that the minimum width of the kerf cannot be used as a single feature for the classification of the saws. It has to be connected with the two other main features (the shape of the kerf profile and the shape of the walls) [14]. A minimum width of the kerf less than 1 mm is only indicative of a high TPI and does not allow for differentiate crosscut/universal or rip saws.

Kerf profile

Convex profiles are associated with crosscut saws [17] or universal saws [14], and concave profiles are associated with rip saws [14, 17].

Fig. 2 Shape of profiles (casts of the false starts). **a** Saw 1: alternating concavities (dips) and convexities (peaks). **b** Saw 2: concave profile



Saw 2 (rip saw) displays a concave profile in all the cases, just as the published studies would suggest (e.g., [14, 29]). Saw 1 (universal saw) displays a very particular profile, alternating rectangular peaks and troughs. To the best of our knowledge, this profile has never been described in the literature. The conclusion is that some universal saws may not produce a classic “W” convex profile, as previously described in the literature [14]. But the current profile is easy to recognize and is probably associated with a universal saw with high TPI (15 in this experiment). Further experiments and other high TPI universal saws will be required to confirm these results.

Shape of the walls

The shape of the walls yields clues as to the type of set of the blade [14, 17]. An alternating set produces a series of alternating narrow and wide aspects of the kerf walls; a narrow area in the middle of the kerf corresponds to a wavy set [17], as confirmed in recent studies [14]; and straight walls are

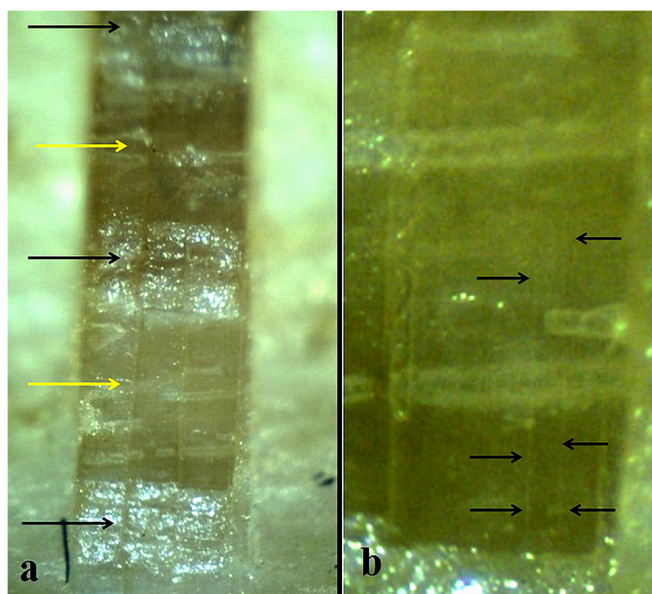


Fig. 3 False start lesions produced by saw 1. **a** Alternating concavities (dips) (yellow arrows) and convexities (peaks) (black arrows), SM \times 10. **b** Straight striae, SM \times 15

indicative of a raker set [17] but also an alternating or wavy set [14].

In this experiment, the walls were straight in all the cases with both saws. As previously reported [14], straight walls are not specific of a particular type of set of the blade.

Striae on the kerf floor

The striae on the kerf floor is also a criteria for the determination of the set of the blade [15, 17]. Undulating striae [15, 17] or undulating/straight striae [15] are observed with alternating sets; thin and straight striae are indicative of a wavy set [15, 17]; striae arranged by three are seen with a raker set [17].

In this experiment, the striae were thin and straight in all the cases with saw 2 (wavy set), which reflects the data published in the literature. In contrast, the same feature was observed with saw 1 (alternating set) in all the cases. This discrepancy is probably explained by the high TPI but will need to be confirmed by other experiments.

Other

The presence of bone debris may be indicative of the use of an electric saw [4, 17]. Nevertheless, bone debris can also be encountered with hand saws [17]. In this study, bone debris were present in half of the cases with saw 2 and always absent with saw 1.

Paint residue was absent in all cases with saw 1 (saw 1 was a second-hand saw) and absent in nearly all the cases with saw 2 (saw 2 was a new saw) despite the blade of this saw being painted.

Conclusion

False starts by two hand saws with high TPI on femoral human bones were studied in this work. Saw 2 (rip hacksaw with a high 32 TPI and a wavy set) displayed classical features (weak minimum width of the kerf, concave profile, thin and straight striae). In contrast, saw 1 (universal panel saw, TPI 15, alternating set) did not yield the features expected of it (i.e., a relatively wide width of the kerf, alternating wide and narrow aspects of the walls, a classical convex “W” profile, and an undulating or undulating/straight striae on the kerf floor). The minimum width of the kerf was weak, the kerf walls were straight, and the striae were thin and straight. The kerf profile was very peculiar with a succession of peaks and troughs that had not yet been described. This saw 1 pattern could appear difficult to assess in an actual forensic case, but the kerf profile (succession of peaks and troughs) was very peculiar, was observed in all the cases, and was very easy to recognize, so that this saw is in fact very easy to assess. Nevertheless, further work is necessary with other high TPI hand saws in order to check the eventual pattern variation.

Acknowledgments We thank very much Marie-Catherine Francino for English editing and for her relevant advice.

References

1. Quatrehomme G (2007) A strange case of dismemberment. In: Brickley MB, Ferlini RR (eds) *European cases in forensic anthropology*. Charles C Thomas, Springfield III, pp 99–119
2. Adams BJ, Rainwater CW, Yim AD, Alesbury HS (2019) A retrospective study of intentional body dismemberment in New York City: 1996–2017. *J Forensic Sci* 64(4):1012–1016
3. Delabarde T, Ludes B (2010) Missing in Amazonian jungle: a case report of skeletal evidence for dismemberment. *J Forensic Sci* 55(4):1105–1110
4. Quatrehomme G (2015) *Anthropologie lésionnelle : Dépeçages et démembrements*. In: *Traité d’Anthropologie médico-légale*. De Boeck, Paris, pp 1572–1596
5. Bilge Y, Kedici PS, Alakoç YD, Ulkürer KU, Ilkyaz YY (2003) The identification of a dismembered human body: a multidisciplinary approach. *Forensic Sci Int* 137(2–3):141–146
6. Di Nunno N, Costantinides F, Vacca M, Di Nunno C (2006) Dismemberment: a review of the literature and description of 3 cases. *Am J Forensic Med Pathol* 27(4):307–312
7. Porta D, Amadasi A, Cappella A, Mazzarelli D, Magli F, Gibelli D, Rizzi A, Picozzi M, Gentilomo A, Cattaneo C (2016) Dismemberment and disarticulation: a forensic anthropological approach. *J Forensic Legal Med* 38:50–57
8. Baier W, Norman DG, Warnett JM, Payne M, Harrison NP, Hunt NCA, Burnett BA, Williams MA (2017) Novel application of three-dimensional technologies in a case of dismemberment. *Forensic Sci Int* 270:139–145
9. Symes SA, L’Abbe EN, Chapman EN, Wolff I, Dirkmaat DC (2012) Interpreting traumatic injury to bone in medicolegal investigations. In: Dirkmaat DC (ed) *A companion to forensic anthropology*. Wiley-Blackwell, Chichester, pp 340–389

10. Symes SA, Berryman HE, Smith OC, (1998) Saw marks in bone: introduction and examination of residual kerf contour. In: KJ Reichs (ed) *Forensic Osteology. Advances in the identification of human remains*, 2nd edn. Charles C Thomas, Springfield III, pp 389-409
11. Reichs KJ (1998) Postmortem dismemberment: recovery, analysis and interpretation. In: *Forensic osteology, advances in the identification of human remains*. Charles C Thomas, Springfield III, pp 353–98
12. Ross AH, Radisch D (2019) Toolmark identification on bone: best practice. In: Ross AH, Cunha E (eds) *Dismemberments: perspectives in forensic anthropology and legal medicine*. Academic Press, pp 165-182
13. Black S, Rutty G, Hainsworth S, Thomson G (2017) *Criminal dismemberment : forensic and investigative analysis*. CRC Press, Boca Raton
14. Nogueira L, Quatrehomme G, Rallon C, Adalian P, Alunni V (2016) Saw marks in bones: a study of 170 experimental false start lesions. *Forensic Sci Int* 268:123–130
15. Nogueira L, Alunni V, Bernardi C, Quatrehomme G (2018) Saw marks in bones: a study of “secondary features” of false start lesions. *Forensic Sci Int* 290:157–161
16. Saville PA, Hainsworth SV, Rutty GN (2007) Cutting crime: the analysis of the “uniqueness” of saw marks on bone. *Int J Legal Med* 121(5):349–357
17. Symes SA (1992) Morphology of saw marks in human bone: identification of class characteristics. Dissertation, University of Tennessee, Knoxville
18. Bonte W (1975) Tool marks in bones and cartilage. *J Forensic Sci* 20(2):315–325
19. Andahl RO (1978) The examination of saw marks. *J Forensic Sci Soc* 18(1–2):31–46
20. Guilbeau MG (1989) The analysis of saw marks in bone. Dissertation, University of Tennessee, Knoxville
21. Bernardi C, Nogueira L, Alunni V, Quatrehomme G (2019) Analysis of false start bone lesions produced by an electrical oscillating autopsy saw. *Int J Legal Med*. <https://doi.org/10.1007/s00414-019-02008-1>
22. Pelletti G, Viel G, Fais P, Viero A, Visentin S, Miotto D, Montisci M, Cecchetto G, Giraudo C (2017) Micro-computed tomography of false starts produced on bone by different hand-saws. *Legal Med* 26:1–5
23. Love JC (2019) Sharp force trauma analysis in bone and cartilage: a literature review. *Forensic Sci Int* 299:119–127
24. Robbins SC, Fairgrieve SI, Oost TS (2015) Interpreting the effects of burning on pre-incineration saw marks in bone. *J Forensic Sci* 60(Suppl 1):S182–S187
25. Freas LE (2010) Assessment of wear-related features of the kerf wall from saw marks in bone. *J Forensic Sci* 55(6):1561–1569
26. Marciniak SM (2009) A preliminary assessment of the identification of saw marks on burned bone. *Forensic Sci* 54(4):779–785
27. Capuani C, Guilbeau-Frugier C, Delisle MB, Rougé D, Telmon N (2014) Epifluorescence analysis of hacksaw marks in bone: highlighting unique individual characteristics. *Forensic Sci Int* 241:195–202
28. Bailey JA, Wang Y, van de Goot FRW, Gerretsen RRR (2011) Statistical analysis of kerf mark measurements in bone. *Forensic Sci Med Pathol* 7(1):53–62
29. Norman DG, Baier W, Watson DG, Burnett B, Painter M, Williams MA (2018) Micro-CT for saw mark analysis on human bone. *Forensic Sci Int* 293:91–100
30. Berger JM, Polkines JT, Moore TL (2018) Analysis of class characteristics of reciprocating saws. *J Forensic Sci* 63(6):1661–1672

Publisher's note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Pour comprendre le mécanisme de formation de ce profil totalement inhabituel, retrouvé avec la scie n°1, j'ai effectué des investigations complémentaires à l'aide du microscope électronique à balayage.

3- Contribution du microscope électronique à balayage dans l'analyse des faux départs produits par une scie universelle à TPI élevé (TPI 15) sur des os humains

Résumé

Dans la précédente publication, les lésions causées par une scie universelle à TPI élevé (TPI = 15) ont été étudiées par stéréomicroscopie. Les lésions obtenues ne présentaient pas les caractéristiques attendues : en particulier, le fond du faux départ présentait une succession de pics et de dépressions (convexités et concavités) qui n'avait pas été décrite auparavant. Dans l'expérience actuelle, 15 faux départs ont été sélectionnés au hasard parmi les 30 lésions produites dans la précédente étude et ont été analysés avec un microscope électronique à balayage (MEB) pour clarifier les caractéristiques des lésions observées à l'aide d'un stéréomicroscope.

L'analyse MEB a révélé deux types distincts de motif du fond du faux départ : une ondulation verticale ou une ondulation verticale avec marches latérales. Suite à ces observations préliminaires, 20 nouvelles lésions de faux départ ont été produites et étudiées. Le MEB a apporté de nouvelles informations importantes : (i) ces nouvelles lésions ont révélé que le type de motif de fond de coupe dépendait du mouvement de fin de coupe réalisé par l'auteur : avec un coup actif mettant fin au mouvement, le fond de coupe présentait une « ondulation verticale », alors qu'avec un coup passif, le fond de coupe présentait un motif « d'ondulation

verticale avec marches latérales »; (ii) la mesure entre deux creux consécutifs correspondait à la distance entre deux dents consécutives.

Les ondulations verticales du fond de coupe (saut de dent) résultent du fait que l'introduction de chaque dent force la lame à sauter pour poursuivre son mouvement. Le mécanisme exact d'apparition des marches latérales est difficile à décrire et nécessite une enquête approfondie.

Si la fin de coupe est en mouvement passif, l'identification de la classe de la scie devrait être facilitée par le profil très particulier du faux départ. Si la fin de coupe est en mouvement actif, il y a un risque mauvais classement de la scie, car les caractéristiques diagnostiques seraient concordantes avec un avoyage ondulé.

Contribution of the Scanning Electron Microscope for the analysis of false starts lesions produced by a universal saw with high TPI (TPI 15) on human bones.

Caroline Bernardi^{1,3,4*}, M.D; Luísa Nogueira¹, Ph.D.; François Orange², Ph.D.; Georges F. Carle, PhD.³, Véronique Alunni^{1,4}, M.D., Ph.D.; Gérald Quatrehomme^{1,4}, M.D., Ph.D.

¹ Institut Universitaire d'Anthropologie Médico-Légale, Faculté de Médecine, Université Côte d'Azur, 28 Avenue de Valombrose, 06107 Nice cedex 2 (France).

² Centre Commun de Microscopie Appliquée (CCMA), Université Côte d'Azur, 28 Avenue Valrose, 06108 Nice Cedex 2, France

³ UMR E4320 TIRO-MATOs CEA/DRF/Institut Joliot, Université Nice Sophia- Antipolis, Université Côte d'Azur, Nice, France

⁴ CEPAM (UMR CNRS 7264), 24 avenue des Diables Bleus, 06300 Nice (France).

Highlights

- The kerf floor of the false starts presents with alternating concavities and convexities which occurs in two different patterns, depending on the end-of-cut movement.
- An active stroke produces a “vertical undulation” on the kerf floor, while a passive stroke produces a pattern of “vertical undulation with lateral steps”.
- The distance between two dips is indicative of the distance between two consecutive teeth.

Abstract

The term dismemberment refers to the criminal act of intentionally severing off some parts of the body after death. The analysis of bone lesions reveals very important clues that help to identify the instrument or instruments used. In a previous publication, the lesions caused by a universal saw with high “teeth per inch” (TPI) (TPI=15) was studied using stereomicroscopy (SM). The resulting lesions did not display the expected characteristics: in particular, the kerf profile showed a succession of peaks and dips (convexities and concavities) that had not been described before. In the current experiment, 15 false starts were randomly selected from the 30 lesions produced in our previous study and analyzed with a scanning electron microscope (SEM) to clarify the features of the lesions observed using SM. SEM analysis revealed two distinct types of patterns of the kerf floor: vertical undulation or vertical undulation with lateral steps. Following these preliminary observations, 20 new false start lesions were produced and studied. SEM brought up important new information: (i) These new lesions revealed that the type of kerf floor patterns depended on the end-of-cut movement achieved by the perpetrator: with an active stroke ending the movement, the kerf floor showed a “vertical undulation”, whereas with a passive stroke, the kerf floor displayed a pattern of “vertical undulation with lateral steps”; (ii) The measurement between two consecutive dips corresponds to the distance between two consecutive teeth.

Keywords: Forensic anthropology, saw marks bone lesions, universal saws, teeth per inch (TPI), scanning electron microscope, dismemberment

I Introduction

Dismemberment is the criminal severing of the corpse into body parts after death to try to hide the victim’s identity and to try to hide or alter criminal evidence [1-3]. The determination of the cause and manner of death may be compromised by dismemberment [2].

Postmortem dismemberment is not rare in forensic practice. More than 230 cases have been reported in the literature over the last 34 years. The largest series were reported by Adams et al. [4] (55 cases) and Wilke-Shalhorst et al. [5] (51 cases). Other authors have reported series ranging from 16 to 31 cases [6-11]. Comprehensive investigation of these cases, including anthropological analysis, may help identifying the class of the tools utilized and help giving some clues of the skills (anatomical skills, hunting, quartering) [1,12] and psychiatric disorders of the perpetrator [1]. Usually publications focus on casting and comparison of features between casework (questioned) marks and experimental marks [2,5,6,8,11-16].

Multiple tools may be employed for criminal dismemberment (e.g., knives, saws, axes or related instruments) [1,3,9,10,12,14, 17-21] but handsaws are frequently used in these cases [20]. The resulting bone lesions, called “saw marks”, depend on the particularities of the saw, such as the size and the width of the teeth and the type of the set of the blade [22-25]. Two handsaw classes are commonly reported in the forensic literature: crosscut saws, with teeth slightly tilted backwards (pitch at 14°) [13,22,25-32] and rip saws, with teeth at a straight angle

at the front (90°) [13,22,25,26,31]. Universal saws (isosceles teeth) have seldom been studied [22,33,34].

In a previous study, a universal saw with high teeth per inch (TPI) (TPI=15) was studied [34]. The bone lesions produced by this saw did not have the expected characteristics [22,33]: the minimum width of the kerf was small, the kerfs walls were straight, the striae were thin and the kerf profile was very peculiar with a succession of peaks and dips (vertical undulation) that had not been described before [34]. Therefore, the aim of the current study was to better understand the morphology of the “vertical undulation” of the kerf floor observed in our previous experiment. This needed a better magnification and depth of field and a Scanning Electron Microscope (SEM) was utilized for this goal.

II Materials and methods

Samples

The experimental set of false starts bone lesions previously described [34] was studied again. These lesions were produced using a universal saw (Table 1) on two femoral human bones from one male (age: 85) who had donated his body to science in accordance with French legislation. These bones were chosen because there was no visible disease on the bones, especially no degenerative disorders; and the bone density was obviously preserved, without any visible pathological condition of osteoporosis.

Femoral bones were chosen because thigh is one of the most common sites of dismemberment [5,14,31,35]. In addition, femoral cortex is quite strong and easily retains the traumatic indentations [22,33]. Saw marks analysis have been experimentally made on animal's femurs [13,24,27,29,36] but rarely on human femurs [28,31,37]. Specimens were prepared by hot water maceration to remove the soft tissues and obtain clean bones.

Features studied

Of the 30 lesions produced for the previous study, 15 were randomly selected by a computer for further observation using SEM. Microscopic criteria studied included the profile of the kerf, the shape of the walls and the pattern of the striae on the kerf floor on the bones themselves and on casts of the lesions (Silicone HP Putty®) (table 2). The minimum width of the lesion was not studied with SEM because these measurements were carried out without difficulty using SM. The distance between two dips of the kerf floor was measured using SEM on the bone and on casts of the lesions. These measurements had not been possible with SM in the previous study, due to the low level of magnification.

To better understand the patterns previously observed on the kerf floor [34], after these preliminary observations, 20 new bone lesions (5 groups of 4 lesions each) were produced on one defleshed femoral human bone sample from another male (age: 88), controlling for the number of active and passive strokes. The active stroke is a cutting stroke with the direction of the motion engaging the front edge of the teeth. In the passive stroke (or pull stroke) the direction of the motion engages the back side of the teeth [25] (Fig. 1). In the first group of new

lesions only one active stroke and no passive stroke was produced (so that the cut ended on the active stroke). In the second group, one active stroke and one passive stroke were produced (so that the cut ended on the passive stroke). For the third group, the lesions resulted from two active strokes and one passive stroke, again ending on an active stroke. For the fourth group, the lesions resulted from two active strokes and two passive strokes, ending on a passive stroke. For the last group, the lesions resulted from three active strokes and two passive strokes, ending on an active stroke. Thus these 20 lesions ended either on an active stroke (groups 1, 3, 5) or on a passive stroke (groups 2 and 4). Casts of all of the false start lesions were made and analyzed with SEM.

SEM

Prior to performing the SEM observations, the bone samples were washed in acetone to remove all remaining fatty tissue. SEM observations were carried out with a Tescan Vega3 XMU SEM. Depending on the sample's behavior under the electron beam, bone samples were observed without prior metal coating either under high vacuum ($5 \cdot 10^{-4}$ Pa) at 5 kV accelerating voltage or in low vacuum mode (N₂ pressure 25 Pa) at 10 kV accelerating voltage. The casts of the bone lesions were mounted on a SEM stub and coated with a 3 nm layer of platinum. Observations were carried out at 5 kV accelerating voltage. Observations were made at magnifications x30 to x94. Distance between two dips was measured at a magnification of x94.

Statistical analysis

Statistical analyses were performed using the R software (version 4.1.0). Descriptive statistics was achieved for each variable. Morphological comparison between SM and SEM was realized with a Fisher exact Test. A Wilcoxon test for paired series was used to compare the distance between two dips on bone and on cast of the lesions and a Wilcoxon test to compare the distance between two dips on the cast of the 20 new lesions. Statistical significance was set at <0.05 .

For the assessment of intra-observer variability, the measurements of the distance between two dips were performed three times by the same observer at three different periods. The inter-observer variability was assessed by two independent observers that have measured ten times the distance between two dips at ten different periods. The analysis of variance for repeated measures was utilized for assessing the intra and inter-observer variability. The homogeneity of variance was checked using Mauchly's test for sphericity for intra-observer variability and by Levene's test for inter-observer variability. In the case where sphericity was not reached, a Greenhouse-Geissen correction was used.

Concerning the morphological features, the agreement between the two observers was evaluated by a Cohen's kappa test.

III Results

Table 3 shows the comparative microscopic analysis (SM vs SEM) from the 15 (out of 30) randomly selected false start bone lesions, used in the previous study [34].

SEM analysis showed a sequence of alternating concavities and convexities with two different patterns of the kerf profile. In 9 lesions out of 15 the profile presented a repetitive pattern that we named “vertical undulation” (Fig. 2a and b) while in 6 lesions out of 15 the profile presented a “vertical undulation with additional lateral steps” (Fig. 2c, Fig. 3b and Fig. 4). The vertical undulation pattern presented a sequence of alternating concavities and convexities (peaks and dips) of the kerf floor that was visible over the entire width of the lesion, whereas the additional lateral steps pattern displayed a succession of laterally deported steps. In contrast SM showed only peaks and dips (sequence of alternating concavities and convexities) (n=15/15) without further detail [34] (Fisher exact Test, p 0.01). All lesions presented straight walls and straight striae (Fig. 2a, b and c).

Distance between two dips in the pattern of the kerf floor was measured directly by SEM on the bone lesions (Fig. 2a) and also on the casts of the bone lesions (Fig. 3a and b). The mean of this measurement was 1.40 mm on bone lesions and 1.58 mm on the casts of the lesions, which is a statistically significant difference (Wilcoxon test for paired series, p=0.001, table 4).

The microscopic analysis of the casts of the 20 new lesions is presented in table 5. For twelve lesions, the cut ended on an active stroke and for 8 lesions the cut ended on a passive stroke. Vertical undulation was observed when the cut ended on an active stroke, whereas additional lateral steps were observed when the cut ended on a passive stroke (Fisher exact Test, $p < 10^{-5}$). The walls and the striae on the kerf floor were straight in all lesions. The average distance between two dips (measured using SEM on the casts) was 1.61 mm (table 6). The effect of a cut ending on a passive stroke or an active stroke did not modify the average distance between two dips (Wilcoxon test, p=0.1238).

Concerning the intra-observer variability for measurements, no significant difference was observed for the distance between two dips measured on bones and on the cast of the 15 lesions (ANOVA, p=0.307 and p=0.165 respectively) and in the cast of the 20 new lesions (ANOVA, p=0.240). Inter variability results showed a significant difference only in the distance measured between two dips on bones of the 15 lesions (ANOVA, p=0.024). Intra and inter observer morphological analysis show an almost perfect agreement ($\kappa = 1.00$).

IV Discussion

In the current study, 15 false starts and their casts produced for a previous study with a universal handsaw with a high TPI (TPI=15) on human femoral bones were analyzed with SEM. These 15 lesions were randomly selected from the 30 previous available lesions [34]. When using a universal saw, a succession of narrow and wide aspects of the walls, convex profiles, undulating striae on the kerf floor and bone islands are expected [22,33]. But previous SM analysis yielded unexpected features [34]: straight walls and straight striae; and above all a kerf floor with a succession of concavities and convexities (dips and peaks) in some observations,

that was difficult to explain. The aim of the current study was to better understand the morphology of this succession of concavities and convexities (dips and peaks) of the kerf floor. This needed a better magnification and depth of field and a SEM was utilized for this goal. Furthermore, after this work, it was hypothesized that this dramatic variation of the kerf floor was due to the passive or active stroke ending the cut of the false start, so that 20 additional bone lesions were performed, cast and analyzed with SEM, to support (or not) this hypothesis.

Kerf profile

The shape of the profiles of the false starts allows for the determination of the type of handsaw used: convex profiles are indicative of crosscut saws [25] or universal saws [22] and concave profiles are indicative of rip saws [22,25]. In a previous study [34] a sequence of alternating concavities and convexities (peaks and dips) had been observed but their morphology was unclear. In the current study, kerf profiles observed with SEM presented a succession of alternating concavities and convexities (peaks and dips) corresponding to a vertical undulation. In most of the cases (9/15) the vertical undulation was observed along the entire width of the lesion (Fig. 2a and b). In 6 cases out of 15, a vertical undulation with additional lateral steps were visible (Fig. 2c and Fig. 4). We were previously unable to differentiate between these two very different patterns, due to the weak magnification of SM.

After preliminary trials, the experiment was completed by studying a further 20 false starts series in order to see if the stroke ending on an active or a passive stroke(s) could explain the features observed. These additional lesions clearly showed that the vertical undulation pattern was present when the cut ended on an active stroke, as the introduction of each tooth forces the blade to jump, creating the occurrence of this wave [25]. This pattern which Symes referred to as “tooth hopping” had only been described using a wavy blade set [25], but never with an alternating set. This “tooth hopping” or vertical undulation mechanism had also been described by Andahl [38] but in a metal support.

The occurrence of vertical undulation with additional lateral steps had not been described in the literature. It became clear that these lateral steps appeared when the cut ended on a passive stroke. This fact held true even after several active and passive strokes. The exact mechanism behind the occurrence of these lateral steps is difficult to state and need further investigation.

Measurements

Measuring the distance between two dips of the floor pattern, on the first set of randomly selected lesions from the previous study, either on the bone lesions themselves (Fig.2a) or on the casts (Fig.3a and b), showed a consistent pattern with an average distance of 1.40 mm and 1.58 mm respectively (table 4). There was a statistically significant difference between bones and casts. From a practical point of view, measurements are more difficult to take on hollow lesions than on the protruding casts of the same lesions. Casts are the negative imprint of the bone lesion and therefore the kerf floor is very realistic, and the measurements are very easy to take. The measurements made on the casts of the lesions are thus more precise when compared with those made directly on the bone. Concerning the 20 additional false start lesions created

especially for the purposes of the current study, the distance between two dips of the floor pattern was on average 1.61 mm (table 6). It was observed that the length of one step was the length of one undulation (Fig. 4)

The average distance between two consecutive teeth on the cast of the blade using SEM was 1.69 mm. In the previous study, the measurement was made directly on the blade using SM and was therefore less precise. This strongly suggests, (i) that this floor pattern (vertical undulation) is explained by the tooth hop; and (ii) that the distance between two dips corresponds to the distance between two consecutive teeth of the saw.

The walls and the striae on the kerf floor

The shape of the walls helps in determining the set of the blade [22]: alternating walls indicate an alternating set; necking in the middle of the kerf indicates a wavy set and straight walls are inconclusive because there are encountered with alternating sets, wavy sets [22,25] or even raker sets [25]. In the current study, the walls observed with SEM were straight, just as they were with SM and no conclusion could be drawn from studying the walls of the lesions.

The striae on the kerf floor also may help to assess the set of the blade [25,33]. Undulating striae or undulating/straight striae are observed with alternating sets [25,33]; thin and straight striae are indicative of a wavy set [25,33]; striae arranged by threes are seen with a raker set [25]. In the current study, the striae on the kerf floor observed with SM and SEM were always straight. In the previous experiment, it was hypothesized that this could be explained by the high TPI [34].

Limitations of the study

We are aware that some conditions may lead to variations of the morphological features of the false starts. Aging is one of these parameters but that cannot be avoided because usual donors of their body to science are old or very old. The bones were sampled from males to avoid usual osteoporosis of the elderly females, and we checked that no disease was visible on the bone (especially degenerative disorders) and that the density of the bone was obviously preserved.

The drawback of using defleshed bones is that the bone lesions do not always reflect the “real life”. But fleshed bones will partly absorb the trauma. Defleshed bones allow for a better standardization and reproducibility of the bone lesions and has been utilized in previous works [26,30,39].

In conclusion, SEM analysis brought up very useful information: vertical undulation with lateral steps are obvious at the bottom of the kerf profile and are present only when a passive stroke ends the cut; vertical undulation is visible when an active stroke ends the cut and this pattern have never been described with an alternating set. The distance between two dips strongly suggests that this pattern is due to a tooth hop, and that this distance represents the

distance between two consecutive teeth; the length of one step is the length of one undulation (Fig. 4).

References

- [1] G. Quatrehomme, *Traité d'Anthropologie médico-légale*, De Boeck, Paris, 2015.
- [2] D. Porta, A. Amadasi, A. Cappella, D. Mazzarelli, F. Magli, D. Gibelli, A. Rizzi, M. Picozzi, A. Gentilomo, C. Cattaneo, Dismemberment and disarticulation: a forensic anthropological approach, *J. Forensic Legal Med.* 38 (2016) 50–57.
- [3] T. Delabarde, B. Ludes, Missing in Amazonian jungle: a case report of skeletal evidence for dismemberment, *J. Forensic Sci.* 55(4) (2010)1105–1110.
- [4] B.J. Adams, C.W. Rainwater, A.D. Yim, H.S. Alesbuty, A Retrospective Study of Intentional Body Dismemberment in New York City: 1996–2017, *J. Forensic Sci.* 64 (2019) 1012-1016.
- [5] N. Wilke-Schalhorst, A. S. Schröder, K. Püschel, C. Edler C, Criminal corpse dismemberment in Hamburg, Germany from 1959 to 2016, *Forensic Sci. Int.* 300 (2019)145-150.
- [6] K. Püschel, E. Koops, Dismemberment and mutilation (2), *Arch. Kriminol.* 180 (3-4) (1987) 88-100.
- [7] E. Koops, K. Burwinkel, M. Kleiber, K. Püschel, Criminal dismemberment of the corpse, *Acta Med. Leg. Soc.* 36. (1) (1986) 165-175.
- [8] T. Kahana, I. Aleman, M. Botella, J. Hiss, Postmortem dismemberment in two Mediterranean countries, *J. Forensic Identif.* 60(5) (2010) 557-572.
- [9] T. Konopka, M. Strona, F. Bolechata, J. Kunz, Corpse dismemberment in the material collected by the department of forensic medicine, Cracow, Poland, *Leg. Med.* 9 (2007)1-13.
- [10] I. Rajs, M. Lundström, M. Broberg, L. Lidberg, O. Lindquist, Criminal mutilation of the human body in Sweden – A thirty-year medico-legal and forensic psychiatric study, *J. Forensic Sci.* 43(3) (1998) 563-580.
- [11] Y. Schulzy, H. Mossakowski, K. Albrecht, D. Breitmeier, Postmortem dismemberment/mutilation-medicolegal and criminalistic evaluation of the autopsies performed by the Institute of Legal Medicine at the Hanover Medical School, *Arch. Kriminol.* 221 (1-2) (2008) 1-16.
- [12] G. Quatrehomme, A strange case of dismemberment, in M.B. Brickley, et R. Ferllini (Eds.), *Forensic Anthropology: Cases studies from Europe*, Charles C. Thomas Publisher,

- Springfield, 2007, pp. 99-119.
- [13] S. C. Robbins, S. I. Fairgrieve, T.S. Oost, Interpreting the effects of burning on pre-incineration saw marks in bone, *J. Forensic Sci.* 60(Suppl 1) (2015) S182–S187.
- [14] K. J. Reichs, Postmortem dismemberment: recovery, analysis and interpretation, in *Forensic osteology, advances in the identification of human remains*, Charles C Thomas, Springfield III, 1998, pp. 353–98.
- [15] B. Madea, F. Driever, [Cadaver dismemberment by chain saw], *Arch. Kriminol.* 205 (3-4) (2000) 75-81.
- [16] J. Reuhl, H. Bratzke, Death caused by a chain saw--homicide, suicide or accident ? A case report with a literature review (with 11 illustrations), *Forensic Sci. Int.* 105(1) (1999) 45-59.
- [17] K. H. Dogan, S. Demirci, I. Deniz, Z. Erkol, Decapitation and dismemberment of the corpse: A matricide case, *J. Forensic Sci.* 55(2) (2010) 542-545.
- [18] N. Di Nunno, F. Costantinides, M. Vacca, C. Di Nunno, Dismemberment: a review of the literature and description of 3 cases, *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 27(4) (2006) 307–312
- [19] T. Konopka, F. Bolechala, M. Strona, An unusual case of corpse dismemberment, *Am. J. Forensic Med. Pathol.* 27(2) (2006) 163-165.
- [20] Y. Bilge, S. Kedici, Y.D. Alakoç, K.U. Ulküer, Y.Y. Ilkyaz, The identification of a dismembered human body: a multidisciplinary approach, *Forensic Sci. Int.* 137 (2003)141-146.
- [21] W. Bonte, Tool marks in bones and cartilage, *J. Forensic Sci.* 20(2) (1975) 315–325.
- [22] L. Nogueira, G. Quatrehomme, C. Rallon, P. Adalian, V. Alunni, Saw marks in bones: a study of 170 experimental false start lesions, *Forensic Sci. Int.* 268 (2016) 123–130.
- [23] J. A. Bailey, Y. Wang, Statistical analysis of kerf mark measurements in bone, *Forensic Sci. Med. Pathol.* 7(1) (2011) 53–62.
- [24] P.A. Saville, S.V. Hainsworth, G.N. Ruty, Cutting crime: the analysis of the “uniqueness” of saw marks on bone, *Int. J. Legal Med.* 121(5) (2007) 349–357.
- [25] S. A. Symes, Morphology of saw marks in human bone: identification of class characteristics. PhD. Dissertation, University of Tennessee, Knoxville, 1992.
- [26] G. Pelletti, G. Viel, P. Fais, A. Viero, S. Visentin, D. Miotto, M. Montisci, G. Cecchetto, C. Giraudo C, Micro-computed tomography of false starts produced on bone by different hand-saws. *Legal Med.* 26 (2017) 1–5.
- [27] C. Capuani, C. Guilbeau-Frugier, M.B. Delisle, D. Rougé, N. Telmon, Epifluorescence analysis of hacksaw marks in bone: highlighting unique individual characteristics, *Forensic Sci. Int.* 241(2014)195–202.

- [28] J.C. Love, Sharp force trauma analysis in bone and cartilage: a literature review, *Forensic Sci. Int.* 299 (2019)119–127.
- [29] S.M. Marciniak, A preliminary assessment of the identification of saw marks on burned bone, *Forensic Sci.* 54(4) (2009)779–785.
- [30] L.E Freas, Assessment of wear-related features of the kerf wall from saw marks in bone. *J Forensic Sci* 55(6) (2010)1561–1569 26.
- [31] D.G. Norman, W. Baier, D.G. Watson, B. Burnett, M. Painter, M.A. Williams, Micro-CT for saw mark analysis on human bone, *Forensic Sci. Int.* 293 (2018) 91–100 30.
- [32] W. Baier, D.G. Norman, J.M. Warnett, M. Payne, N.P. Harrison, N.C.A. Hunt, B.A. Burnett, M.A. Williams, Novel application of three dimensional technologies in a case of dismemberment, *Forensic Sci. Int.* 270 (2017)139–145.
- [33] L. Nogueira, V. Alunni, C. Bernardi, G. Quatrehomme, Saw marks in bones: a study of “secondary features” of false start lesions, *Forensic Sci. Int.* 290 (2018)157–161.
- [34] C. Bernardi, L. Nogueira, C. Cabusat-Mailliet, G. Carle, V. Alunni, G. Quatrehomme, Analysis of false starts lesions on human bones produced by two hand saws with high TPI, *Int. J. Leg. Med.* 34(2) (2020) 613-618.
- [35] A Maiese, M. Scopetti, A. Santurro, R. La Russa, F. Manetti, S. D’Errico, A. Matteis , M. Cingolani, M. Neri , E. Pinchi, P. Frati, V Fineschi 2020 . Corpse dismemberment: A case series. Solving the puzzle through an integrated multidisciplinary approach, *J. Forensic Legal Med.* 74 (2020) 102005. doi: 10.1016/j.jflm.2020.102005.
- [36] M. Menschel , J. T. Pokines, G. Reinecke, Correlation between saw blade width and kerf width, *J. Forensic Sci.* 66(1) (2021) 25-43. doi: 10.1111/1556-4029.14556.
- [37] K. Alsop, W. Baier, D. Norman, B. Burnett, M. A. Williams, Accurate prediction of saw blade thicknesses from false starts measurements, *Forensic Sci. Int.* 318 (2021) doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110602.
- [38] R. O. Andahl, The examination of saw marks, *J. Forensic Sci. Soc.* 18(1–2) (1978) 31–46.
- [39] C. Giraud, M. Montisci, A. Giorgetti, L. Martinuzzo, M. Bisceglia, S. Moschi, P. Fais, M. Weber, E. Quaia, G. Viel, G. Cecchetto, Intra-class and inter-class tool discrimination through micro-CT analysis of false starts on bone, *Int J Legal Med.* 134(3) (2020) 1023-1032.

Figure captions

Fig. 1: Active and passive strokes.

Fig. 2a: SEM top view (x 91) of a false start bone lesion: the floor displays a repetitive and periodic pattern termed as "vertical undulation" when the active stroke ended the cut. Straight walls and straight striae (arrows) are observed. Measurements between two dips are easier and more precise on protruding casts of the lesions than directly on the bone lesions.

Fig. 2b: SEM oblique view (x58) of the cast of two bone lesions, showing a vertical periodic undulation. The cut ended as an active stroke. Straight striae are easily visible (arrows).

Fig. 2c: SEM oblique view (x 44) of the cast of a bone lesion. Vertical undulation with additional lateral steps are clearly visible (arrows). The cut ended as a passive stroke.

Fig. 3a: SEM side view of the cast of a bone lesion (x 94) (the cut ended as an active stroke and a vertical undulation was observed). Measurements between two dips.

Fig. 3b: SEM side view of the cast of a bone lesion (x94). Same measurements between two dips representing the limits of one step (the cut ended as a passive stroke with additional lateral steps). The length of one step represents the length of one undulation. The steps occur one out of two undulations.

Fig. 4: SEM (x 69) anaglyph (3D) of Fig. 2c (red and blue glasses are needed to see the 3D picture). Steps are in reality digged up into the kerf floor, because the picture is that of a cast, that is to say a negative of the bone lesion. The length of one step is similar to the length of one undulation and suggests that this length represents the distance between two consecutive teeth of the saw.

Figure 1

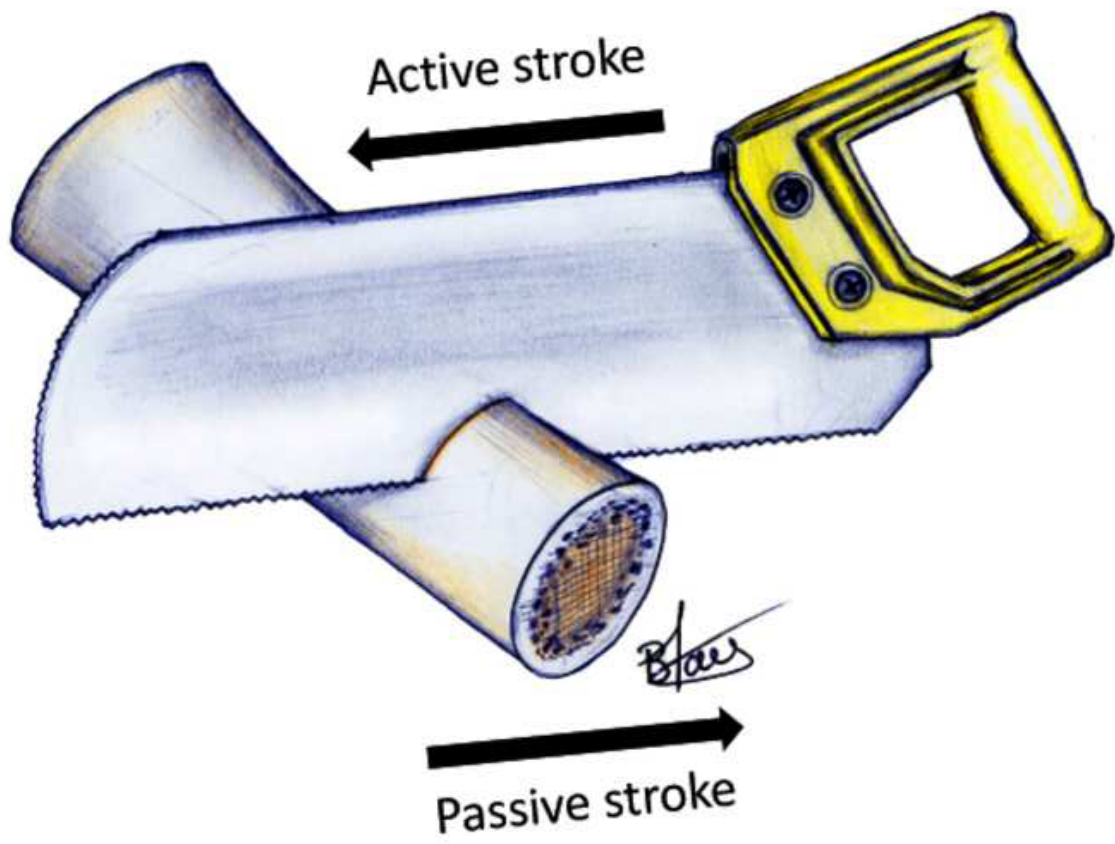


Figure 2a

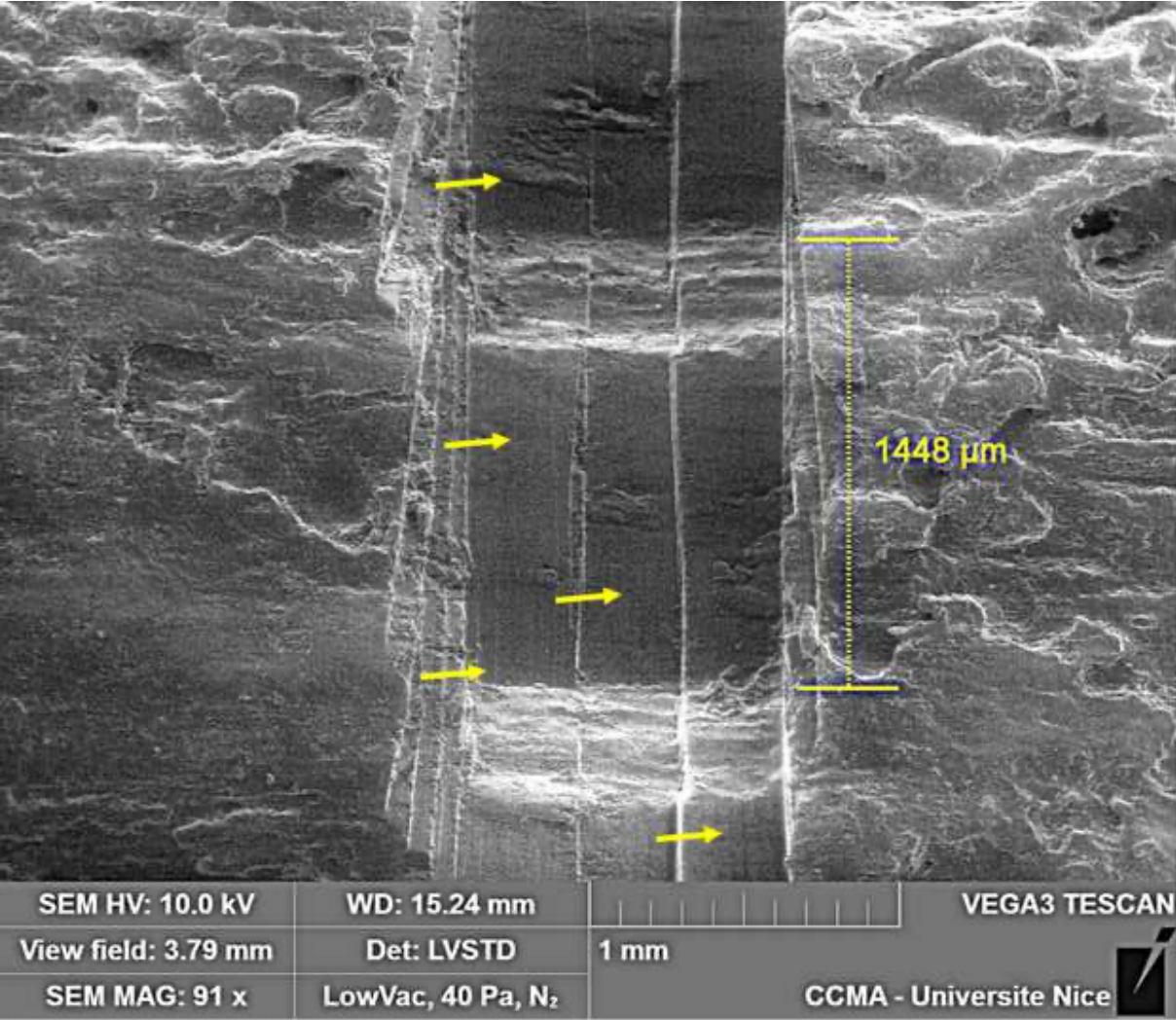


Figure 2b

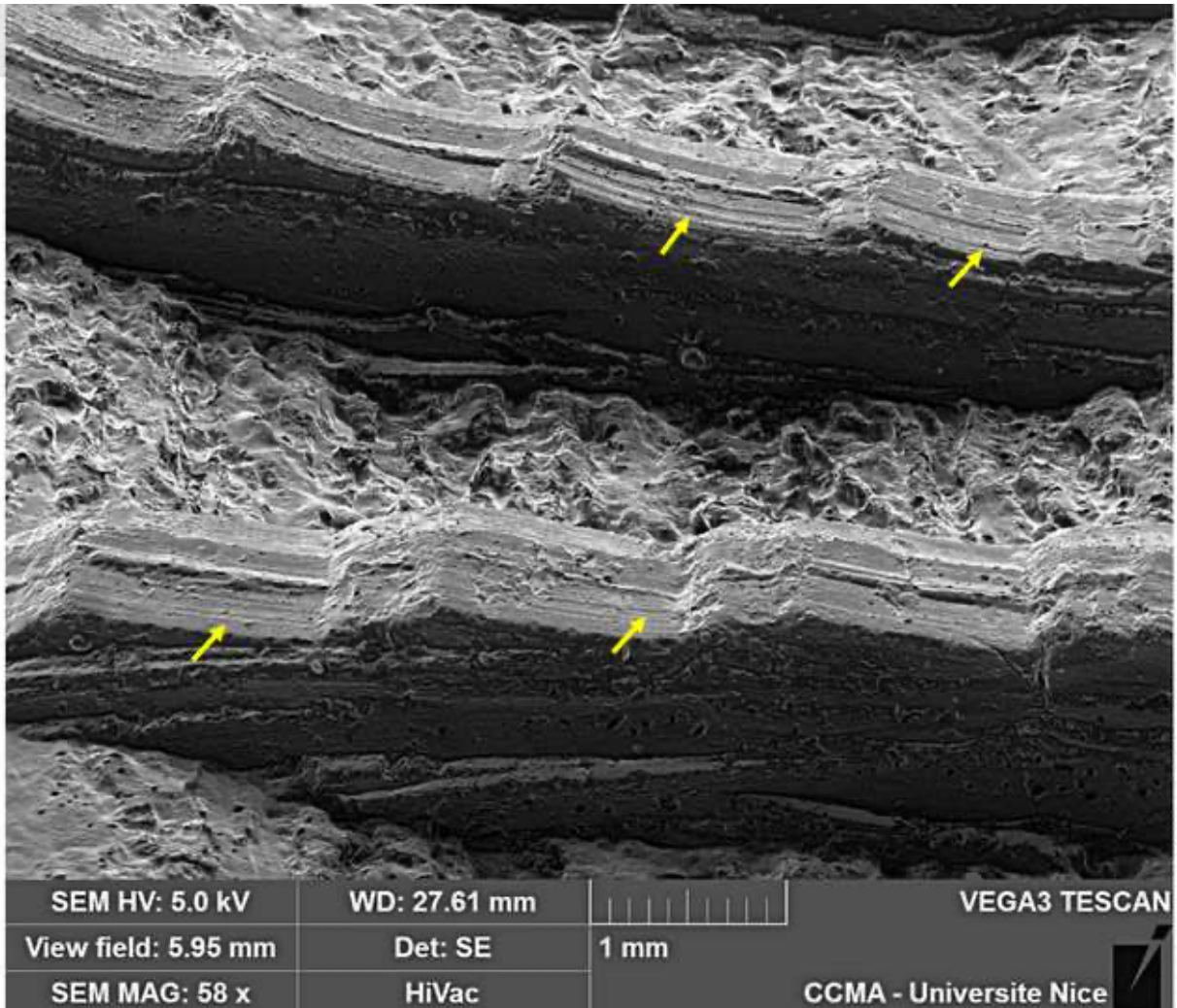


Figure 2c

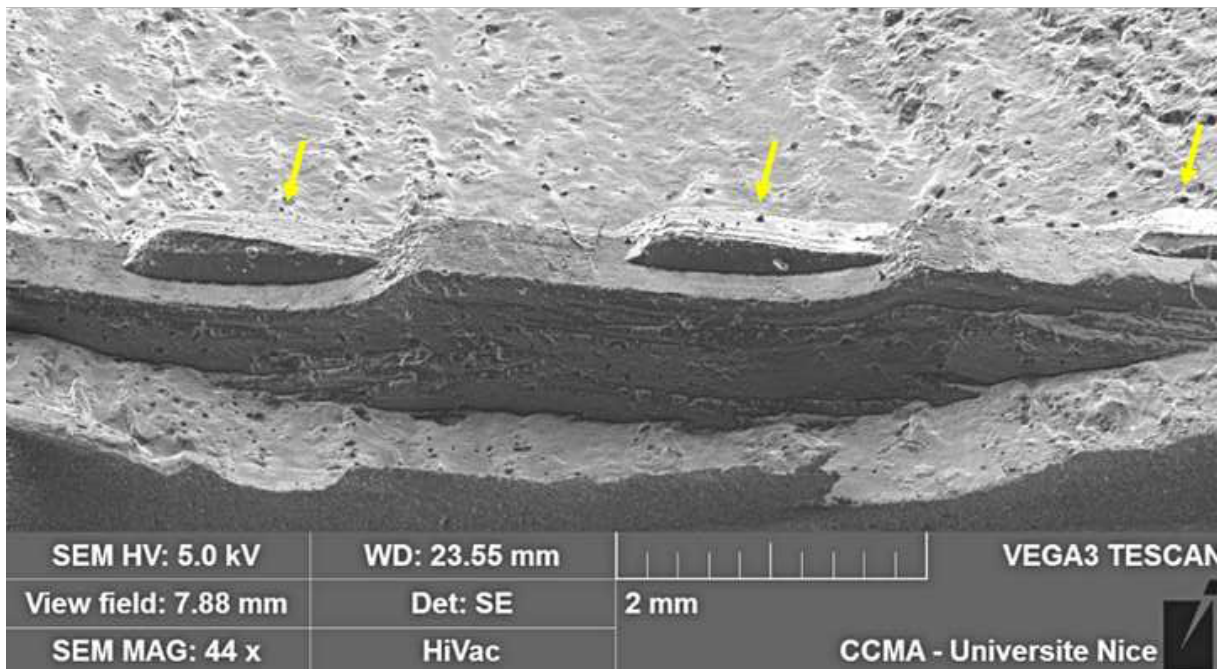


Figure 3a

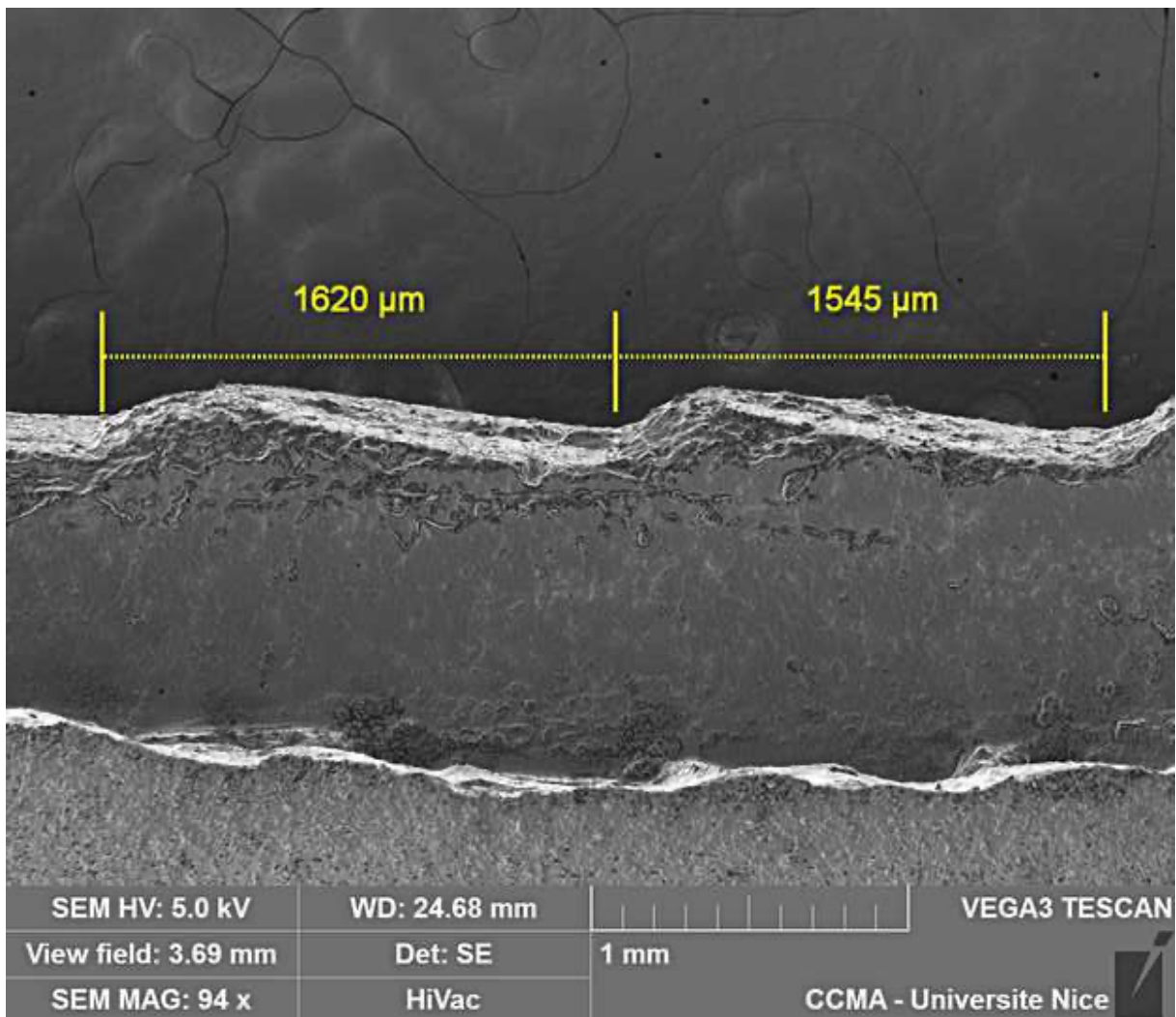


Figure 3b

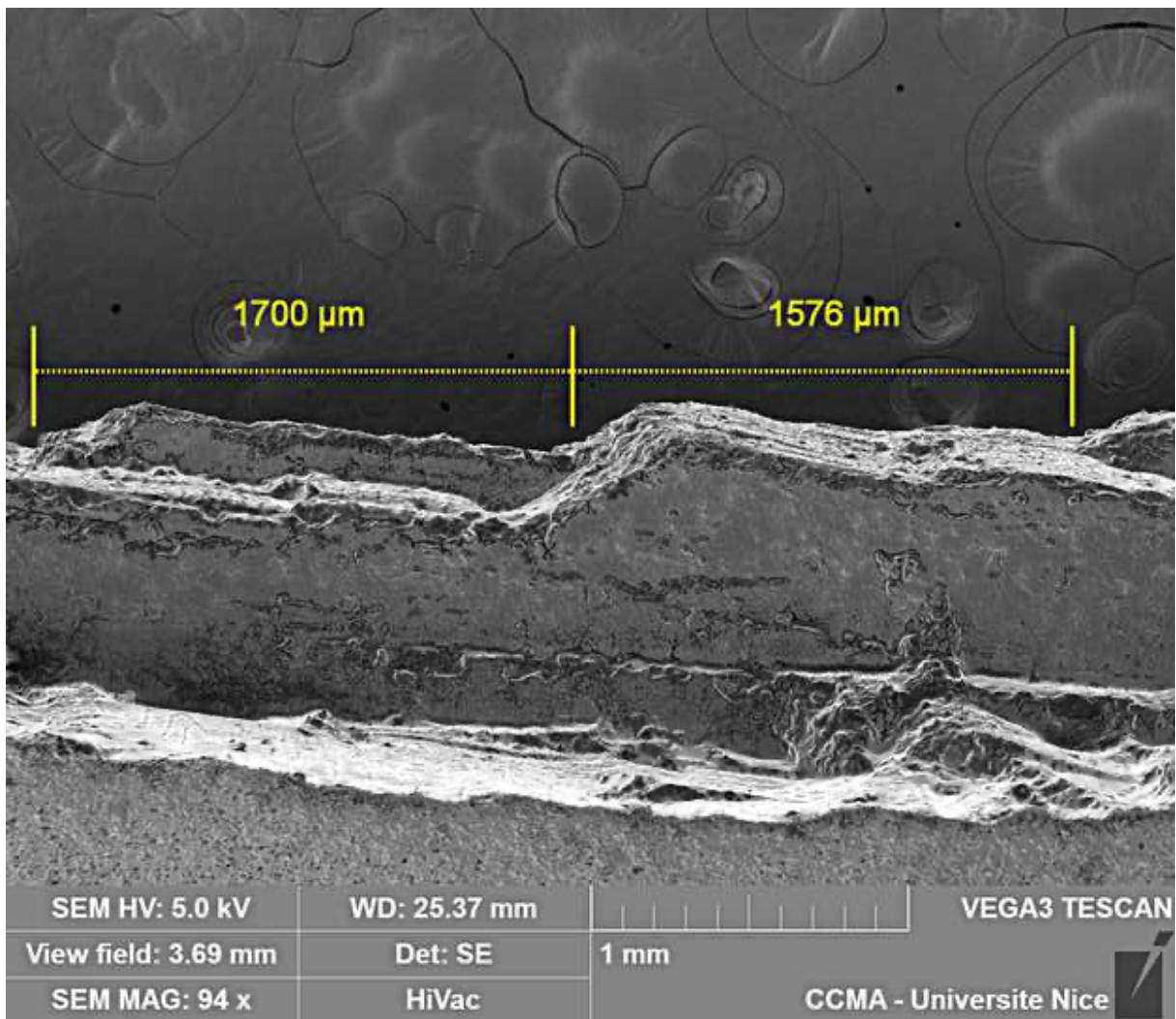


Figure 4

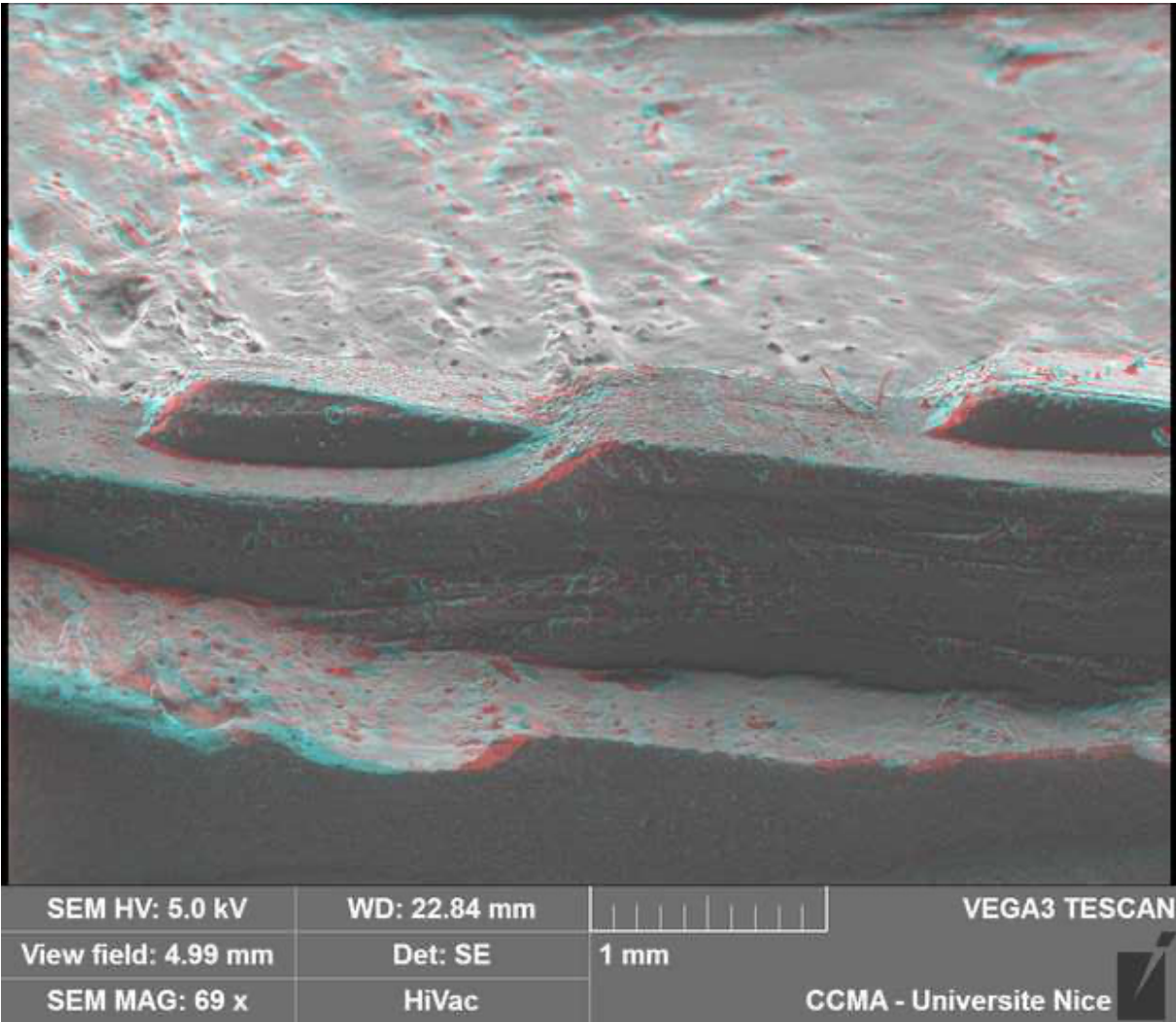


Table 1: Main characteristics of the universal handsaw used.

Type of the teeth	Isosceles
Distance between two consecutive teeth (mm)	1.69*
TPI (teeth per inch)	15
Type of set	Alternating
Other features	Secondhand saw

**These measurements are the average of three measures made using SEM (x63) on the cast of the blade.*

Table 2: Microscopic criteria.

Microscopic criteria	Definition
Profile of the kerf	Sequence of alternating vertical concavities and convexities (peaks and dips): <ul style="list-style-type: none">- Vertical undulation- Vertical undulation with additional lateral steps
Shape of the walls	Alternating between narrow and wide aspects Straight walls Necking in the middle of the kerf
Pattern of the striae on the kerf floor	Undulating pattern Undulating/straight pattern Straight pattern
Distance between two dips	Measured between two dips that are formed between the peaks.

Table 3: Comparative analysis of false start bone lesions with SM and SEM.

Features	SM (n=15)	SEM (n=15)
Kerf profile*		
<i>Vertical undulation</i>	15	9
<i>Vertical undulation with additional lateral steps</i> (Fisher exact Test, p 0.01)	0	6
Walls		
Straight (Fisher exact Test, p=NS ¹)	15	15
Striae on the kerf floor		
Straight (Fisher exact Test, p= NS ¹)	15	15

* *Sequence of alternating vertical concavities and convexities (peaks and dips) (Analysis from the casts of the lesions).*

¹ *Non significant*

Table 4: Measurements of the distance between two dips made by SEM on bone and casts from 15 previously-studied lesions.

Distance between two dips (mm)	Bone lesions	Casts of bone lesions
Mean (Wilcoxon test for paired series, p=0.001)	1.40	1.58
Minimum	1.30	1.50
Maximum	1.52	1.68
Standard deviation	0.05	0.04

Table 5: SEM analysis of the casts of the 20 new false start bones lesions.

	Last stroke	
	Active stroke	Passive stroke
Kerf profile		
Total	12	8
<i>Vertical undulation</i>	12	0
<i>Additional lateral steps</i> (Fisher exact Test, $p < 10^{-5}$)	0	8
Walls		
Straight (Fisher exact Test, $p = \text{NS}^1$)	20	20
Striae on the kerf floor		
Straight (Fisher exact Test, $p = \text{NS}^1$)	20	20

¹ *Non significant*

Table 6: Measure of the distance between two dips on casts of the 20 new false start lesions.

Distance between two dips (mm)	All lesions	Last stroke	
		Active stroke (5/12) ¹	Passive stroke (8/8) ²
Mean (mini, maxi ; sd)	1.61 (1.52 to 1.69 ; 0.05)	1.58 (1.53 to 1.62 ; 0.02)	1.63(1.52 to 1.69 ; 0.05)
		Wilcoxon test : p= NS ³	

¹For the lesions ending on an active stroke, measurements were only possible in 5 of the 12 lesions.

² For the lesions ending on a passive stroke, measurements were possible on all lesions.

³ *Non significant*

Les scies alternatives oscillantes électriques ont la particularité de posséder les mêmes types de lames que les scies à main, et il est donc indispensable d'un point de vue expertal de pouvoir distinguer ces deux types de scies à partir des traces osseuses. C'est pour cette raison que des faux départs produits par des lames de scie alternative oscillante électrique et des scies à main aux caractéristiques similaires, ont été comparés.

4- Comparaison au microscope des lésions de faux départs produites par des lames de scie alternative oscillante et des scies à main de même classe

Article accepté dans *Legal Medicine*, le 22 septembre 2022

Résumé

La présente étude a comparé les caractéristiques microscopiques des faux départs expérimentaux produits sur trois fémurs humains dont les parties molles ont été retirées. 150 lésions ont été produites à l'aide de trois lames de scie alternative oscillante et deux scies à main, de classe similaire. Deux groupes d'outils ont été créés selon la classe des lames : groupe 1 (TPI = 6, avoyage alterné) et groupe 2 (TPI = 24, avoyage ondulé). La largeur minimale des faux départs était toujours plus importante avec les lames de scie alternative oscillante par rapport à celle des faux départs obtenus avec une scie à main de même classe. Ce fait est lié à l'épaisseur de la lame et pas nécessairement au mouvement rapide d'aller/retour de la lame. Ceci s'explique par le fait que l'épaisseur des lames de scie électrique est supérieure à celle des scies à main, notamment pour des TPI faibles, pour des raisons de sécurité. Au sein des faux départs produits avec les lames de scie alternative oscillante, la forme des profils ainsi que la

forme des murs étaient très déroutantes avec beaucoup de variations, entraînant un risque de mauvaise classification (dents de scie à refendre versus dents de scies à tronçonner, avoyage alterné versus avoyage ondulé). Les stries sur le fond du faux départ et les îlots osseux donnaient des résultats plus uniformes.

Les principales conclusions sont, premièrement, que les caractéristiques habituellement utilisées pour les faux départs varient considérablement dans ce travail quand elles sont appliquées aux lames de scie alternative oscillante et peuvent conduire à une catégorisation erronée de la classe de la scie, et deuxièmement, qu'aucun critère n'a été retrouvé pour différencier les lames de scie alternative oscillante et les scies à main. Ces résultats démontrent que nous devons être très prudents lors de l'estimation de la classe de la scie à partir d'un faux départ dans un cas médico-légal.

Comparison of microscopic features of bone false starts produced by reciprocating saw blades and handsaws of the same class.

Caroline Bernardi^{1,2,3*}, M.D; Luísa Nogueira¹, Ph.D.; Georges F Carle², Ph.D., Véronique Alunni^{1,3}, M.D., Ph.D.; Gérald Quatrehomme^{1,3}, M.D., Ph.D.

¹ Institut Universitaire d'Anthropologie Médico-Légale, Faculté de Médecine, Université Côte d'Azur, 28 Avenue de Valombrose, 06107 Nice cedex 2 (France).

² UMR E4320 TIRO-MATOs CEA/DRF/Institut Joliot, Université Nice Sophia-Antipolis, Université Côte d'Azur, Nice, France

³ CEPAM (UMR CNRS 7264), 24 avenue des Diabes Bleus, 06300 Nice (France).

Highlights :

- A comparison of false starts produced by reciprocating saw blades and hand saws of the same class.
- The minimum width of the kerf was always larger with reciprocating blades than that of the handsaws of the same class in this work.
- Some mistakes of classification are possible. In particular reciprocating blades could be confused with a handsaw with larger teeth.
- There is a great deal of variations of the features of false starts produced by reciprocating saw blades tested in this work.

Comparison of microscopic features of bone false starts produced by reciprocating saw blades and handsaws of the same class.

Abstract

In cases of criminal dismemberment, the analysis of saw marks helps to determine the class of the saw used. The present study compared the microscopic features of experimental false starts performed on three freshly defleshed human femurs. 150 lesions were produced using three reciprocating blades and two hand saws of similar class. Two groups of tools were created according to the class of the blades: group 1 (teeth per inch=6, alternating set) and group 2 (teeth per inch=24, wavy set).

The minimum width of the kerf was always thicker with reciprocating blades than that of the handsaw of the same class. This fact is linked to the thickness of the blades and not necessarily to the fast forth and back motion of the blades. Shape kerf profiles and shape of the walls were very confusing, with a lot of variation of the false starts caused by the reciprocating blades and the risk of misclassification (rip teeth versus crosscut teeth, alternating set versus wavy set). Striae on the kerf floor and bone islands were more consistent.

The main conclusions are, first, that usual features of false starts achieved by reciprocating saw blades used in this work vary a great deal and may lead to misclassification of the saw class, and second, that no criterion has been found to differentiate reciprocating blades and handsaws. These results demonstrate that we have to be very prudent while estimating the possible saw from a false start in a real forensic case.

Keywords: dismemberment, human femurs, reciprocating saw, handsaw, teeth per inch, alternating set, wavy set.

I Introduction

Criminal dismemberment is not rare in forensic practice. The perpetrator can use various instruments to dismember a body, including a knife, a saw, an axe, a hatchet or related instruments, that leave tool marks on bones [1]. Saws are often used to cut through the diaphysis of long bones [2,3]. A saw can produce three types of bone marks (called saw marks): (i) Scratches, that are very superficial and usually not informative [3]; (ii) False start lesions resulting from a brief contact between saw and bone, are less superficial and may be very informative [3-6]; and (iii) complete cuts that have a cutting surface and a terminal breakaway spur or notch [3,4,6,7] and display striae visible to the naked eye [4]. The analysis of saw marks helps to determine the class of the saw (mainly hand saw vs power saw, rip saw (their teeth are at a straight angle at the front) versus crosscut saw (the teeth are slightly tilted backwards at 14°) or universal saw (their teeth are isosceles triangles), TPI (number of teeth per inch) and tooth set (alternating, wavy or raker set) [4,7,8]. Forensic investigation of saw marks uses stereomicroscopy [5,8-10], scanning electron microscopy [11,12], epifluorescence techniques [13] and micro computed tomography (micro-CT) [14-17].

Regarding the analysis of false starts, three main features are useful to recognize the class of hand saws, i.e., the minimum width of the kerf, the profile of the lesion and the shape of the walls [8]. The minimum width of the kerf has been classified in four categories by Symes [4], including A (saws with numerous small teeth or serrated knives), B (rip saws), C (crosscut saws) and D (power saws). Most of the authors underline the efficiency of the width of the false start kerf as a criterion to predict or eliminate possible saw blades, by comparing the width of the blade to the width of the lesion [5,14,16-18]. The walls may display an alternating between narrow and wide parts, indicating an alternating tooth set (each tooth points alternatively to the left and to the right); or a necking in the middle of the kerf (approach area of opposite walls), a reliable characteristic of wavy set blades (waves of teeth pointing left and then right); whereas no conclusion can be drawn from straight walls [8] observed with alternating, wavy [4,8] and even raker set (the raker tooth is a specialized tooth placed every two to three teeth) [4]. Kerf profile (kerf floor) is either convex (crosscut saws or universal saws) or concave (rip saws) [4,8].

Reciprocating saws are very peculiar because the cutting action is achieved through a fast push-and-pull motion of the oscillating blade: the electrical blade moves in both directions, on a power source [4,19]. Furthermore, the cutting stroke is the pull stroke; the blades are interchangeable, and some characteristics of the blades are similar to those found on hand saws in terms of teeth set and TPI [19]. Reciprocating saws are easily available and efficient to cut limbs. Few research has reported the study of false starts created by this particular type of saw [4,5,16,19-22]. Some authors have compared the bone lesions created by reciprocating saw blades with those created by hand saws of different classes [4,5,16,19,21].

The current state of knowledge does not allow for the differentiation of reciprocating saw blades from hand saws that otherwise share the same teeth characteristics (TPI, tooth type, and tooth set). Therefore, the aim of this work was to describe and compare the microscopic features of false start bone lesions produced by three reciprocating saw blades and two hand saws, belonging to the same class on human bones.

II Materials and methods

Saws

In this experimental study, an electric reciprocating saw was utilized (Bosh® Keo Set, cutting speed of 1600/min) with three interchangeable blades (blade 1, 2 and 3) along with two handsaws (Stanley® and Dexter®, respectively) (called saw 1 and saw 2) (Fig. 1). Blade 1, 2 (reciprocating saws) and saw 1 (handsaw) display a TPI of 6 and an alternating set. Blade 3 (reciprocating saw) and saw 2 (handsaw) have a TPI of 24 and display a wavy set. The teeth are either isosceles teeth (blade 1 and saw 1) or rip teeth (blade 2, 3 and saw 2). The height and width of the teeth, the distance between two consecutive teeth and the length of each wave of teeth were measured 10 times directly on the blade with a numeric microscope (x30). The thickness of the blade was also measured 10 times at the level of the teeth with a digital caliper. Table 1 summarizes the features of different blades and measurements made on the teeth.

Bone false starts

One hundred and fifty false start bone lesions were produced (30 false start lesions for each of the five blades) on 3 freshly defleshed human femurs (60 saw marks on the first femoral bone, 60 saw marks on the second femoral bone and 30 saw marks on the third). They were sampled from 2 elderly (males) who had donated their body for the purpose of scientific education and research. The bones selected for this study have no visible macroscopic disease or degenerative disorder. They were sampled for males to avoid osteoporosis, more common in women for hormonal reasons. Femoral bones were prepared by hot water maceration to remove the soft tissues and obtain a clean bone. Though this is not “real life”, defleshed bones were chosen to get a better reproducibility of the saw marks and facilitate the understanding and interpretation of them.

The false starts were performed by the senior author, and they were spaced every 15 mm to avoid any interference between lesions. No fixation system was used to produced bone lesions. Each femoral bone was maintained with one hand and the lesions were produced with the other hand (no specific device). Two moves forwards and two moves backwards were performed with hand saws (saw 1 and saw 2). The contact time between reciprocating saw and bone was three seconds (blade 1, blade 2 and blade 3). The deep of false starts, affecting only the cortical bone, was between 0.10 mm and 0.64 mm. Table 2 summarizes the features that were analyzed from the false starts.

Two groups were created for this study according to the class of the blades. Group 1 refers to blades with a TPI of 6 and an alternating set (blade 1, blade 2 and saw 1) and group 2 refers to blades with a TPI of 24 and a wavy set (blade 3 and saw 2).

Microscopic analysis

The lesions were analyzed using a numeric microscope coupled with image analysis software (Keyence, VHX-970F®). This device allows for a magnification range of x20 to x200. The minimum width of the kerf was measured on the bone lesions at a x30 magnification. In order to assess the profile shape of the lesions, a virtual 3D reconstruction was realized with the numeric microscope.

Intra and inter-observer variability

Each lesion was assessed three separate times by the same observer (intra-observer variability) with at least 1 day between each observation. This led to a total of 450 observations. The inter-observer variability was performed by two independent observers who analyzed 25 false starts 10 times, for a total of 250 observations. These 25 lesions (out of 150) were chosen at random by a computer.

Statistical analysis

Statistical analysis was performed using R Studio software (version 4.1.2). The measurements made on the teeth of each saw were compared by a Kruskal Wallis test (group 1) and with a Wilcoxon test (group 2). The minimum width of the kerf and the ratio were compared by ANOVA (group 1) and with the Student t-test (group 2) after checking the normality and the homogeneity of variance. The Fisher exact test was used for comparison of qualitative variables between the different blades/saws.

Regarding the intra and inter-observer variability for the minimum width of the kerf, the analysis of variance for repeated measures tested the agreement for one observer and between both observers. The homogeneity of variance was controlled using Mauchly's test for sphericity (intra-observer variability) and Levene's test (inter-observer variability). Regarding the qualitative variables, a Cohen's Kappa test was performed and interpreted according to the recommendations of Landis and Kock (1977).

III Results

Table 1 shows the average of measurements made on the teeth of each blade. In group 1 (blade 1, 2 and saw 1) no differences were observed regarding the size of the teeth (height and width), the angles, the distance between two consecutive teeth and the thickness of the blade (Kruskal Wallis, $p > 0.05$). However, the pairwise comparison (blade 1 vs blade 2; blade 1 vs saw 1; and blade 2 vs saw 1) showed significant differences (Wilcoxon test, $p < 0.05$) with the exception of the width of the teeth for blade 1 vs blade 2. The comparison of measurements between blade 3 and saw 2 (group 2) showed significant differences (Wilcoxon test, $p < 0.05$) for the angle formed between the tooth and the vertical line, for the distance between two consecutive teeth, the width of the teeth and the thickness of the blade.

Table 3 shows the minimum width of the kerf and the ratio between the minimum width of the kerf and the thickness of each blade. There was a significant difference in the comparison of the minimum width of the kerf in both groups (ANOVA, $p = 0.002$ and Student t test, $p = 0.000$, respectively). The comparison pairwise comparison of the minimum width of the kerf, thicknesses of the blade and the ratio in group 1 showed significant differences for blade 1 vs saw 1 and for blade 2 vs saw 1. No differences were observed when comparing blade 1 vs blade 2. The average ratio between the minimum width of the kerf and the thickness of the blade was higher (> 1.50) in the lesions produced by saw 1 (group 1). All other ratios in both groups were quite similar (between 1.39 and 1.49).

The microscopic comparison of the morphologic features of the false starts is summarized in table 4. Kerf profiles were studied from virtual 3D reconstruction with the numeric microscope. In group 1, profiles were convex in all lesions with blade 2 and saw 1 (Fig. 3a) and concave in most of the cases (19/30) with blade 1. In group 2, they were concave in all the cases, with both blades (Fig. 3b).

In group 1, the shape of the walls was straight for most of the lesions produced by blade 2 and saw 1, followed by an alternating between narrow and wide pattern (Fig. 2a). A necking in the middle of the kerf was observed in 11 lesions out of 30 with blade 1 (Fig. 2b) and only

in 2 lesions out of 30 with blade 2. The walls of the lesions were straight in most of the cases in group 2 for both saws (Fig. 2c).

Regarding the striae on the kerf floor, they were undulating/straight in all lesions with blade 1 and in almost all lesions with blade 2. Saw 1 produced undulating striae in all cases. In group 2, with the reciprocating saw (blade 3), the striae were straight (12/30) or undulating/straight (18/30). All lesions produced by saw 2 presented straight striae visible on the kerf floor and there was a significant difference between the two saws (Fisher exact test, $p \ll 0.05$).

Bone islands were present in all lesions produced with blade 2 and saw 1. They were longitudinal. Blade 1 produced oval bone islands in 11 lesions out of 30. A significant difference was observed in group 1 (Fisher exact test, $p \ll 0.05$). No bone islands were observed in group 2.

Intra and inter-observer variability

ANOVA for repeated measures did not show significant differences as regarding the intra and inter-observer variability for the minimum width of the false starts. Concerning the qualitative features, the intra-observer results show an almost perfect agreement (kappa between 0.81 and 1.00) for most of the variables in both groups. A substantial agreement was observed (kappa between 0.61 and 0.80) for the shapes of the walls with saw 1 (group 1). A moderate agreement (kappa between 0.41 and 0.60) was observed for the shape of the walls with blade 1 and blade 2 (group 1); for the striae on the kerf floor with blade 3 (group 2) and for shape of the walls with saw 2 (group 2). Regarding inter-observer variability, both observers were almost in perfect agreement for a majority of features, except for the shape of the walls in group 1 and for striae on the kerf floor of blade 3.

IV Discussion

Forensic examination of saw marks is an important aspect of dismemberment forensic cases. The using of saw marks characteristics is a challenge to investigators attempting to identify the tool that was used [8-19,21]. Saw mark analysis involves examination of false starts and complete cross sections in order to recognize characteristics in bone injuries that may reveal the size, the type and the set of the teeth and also the power (hand versus mechanical) [4,7].

This experimental work deals with experimental false starts achieved in femoral bones. Three main features are recognized: the minimum width of the kerf, the shape of the profile and the shape of the kerf walls [8]. According to Symes [4], the basic cutting action of a power reciprocating saw resembles that of hand saws with similar blades. But, to our knowledge, there are few studies analyzing the possible variations of false starts produces by reciprocating blades, and no criteria to distinguish hand saw from reciprocating saw when the blades display similar class characteristics (TPI, teeth characteristics, tooth set). Therefore, the goal of the present study was to compare and try to differentiate the features of false starts produced by reciprocating saw blades and hand saws with similar class.

In this work, human femoral bones were utilized, because it comes closest to forensic reality. Animal bones (particularly pig bones) have been used as a proxy but some authors have described differences of the morphologic features [8]. The main drawback is that these bones came from “donation of the body to the science” and therefore from elderly. Nevertheless, the bones were sampled from males to avoid usual osteoporosis of elderly females, and we checked that no disease was visible (especially degenerative disorders) and that the density of the bone was obviously preserved.

Minimum width of the kerf

The minimum width of the kerf allows for classifying the type of saw (crosscut or universal saw versus rip saw and power saws) [4,8]. Symes [4] have proposed four different categories for this classification: category A, from 0.8 to 1 mm (rip saws with numerous small teeth or serrated knives); category B, from 1.1 to 2.3 mm (rip saws); category C, also from 1.1 to 2.3 mm (crosscut saws) [4] or universal saws [8]. Category D was devoted to power chain saws with wide kerfs from 6.4 to 8.4 mm [4]. According to this classification, the lesions produced by the blades of group 1 are classified in categories B or C. The consequence is that the minimum width of the kerf cannot be used as a single feature for the classification of the saws of the group 1 despite the significant difference observed between the three tools (blade 1, blade 2 and saw 1, table 3). The results have to be connected with the two other main features. In group 2, the minimum width of the kerf belongs to category B or C for blade 3 and category A for saw 2 (saw with small teeth for the last) (table 3).

In previous studies, the minimum width of the kerf with some reciprocating blades also belongs to category B or C [4,19,21]. In the present study, the minimum width of the kerf was significantly different between the three tools of group 1 (ANOVA) and also pairwise (Student t test). The thickness of the blades was also significantly different. Nevertheless, the minimum width of the kerf of the three tools of group 1 belongs to category B or C and thus reciprocating saw blades may be confused with handsaws of the same category when using the minimum width of the kerf to differentiate them. In an actual forensic case, TPI of reciprocating blades would be higher than that of handsaws, for the same minimum width of the kerf (at least with the blades tested in this experiment). To clarify this potential confusion, it seems interesting to incorporate other features, such as floor dip (wave formation on the kerf floor which result of consecutive teeth entering the bone and hopping across the floor) or floor imprint, which help relay information on TPI [4]. However, these features were not visible in samples analyzed.

In group 2, it was expected that blade 3 (TPI 24) produced narrow lesions corresponding to category A, similar to that of saw 2 (TPI 24 as well). We may assume that the minimum width of the kerf could be linked to the thickness of the blades or/and the reciprocating moving of the blades. The average ratio between the minimum width of the kerf and the thickness of the blade is less than 1.50, as described in the literature [4] (with the exception of saw 1), and usually this ratio is close to 1.40 in this work. Therefore, the minimum width of the kerf is about 1.40 x thickness of the blade, in average. In this experiment this rule holds true for saw 2 and the reciprocating blades as well and the hypothesis of the fast moving of the reciprocating blades to explain the width of the kerf is not necessary. In fact, for safety reasons, the thickness of the power blades is greater than the handsaws, especially for low TPI.

Kerf profile

The kerf profile distinguishes rip saws (concave profiles) [4] from crosscut [4] or universal saws (isosceles teeth) [8]. According to Symes [4], A and B categories are associated with concave profiles, whereas C and D categories are associated with convex profiles.

In group 1, blade 2 and saw 1 presented convex profiles and can theoretically be classified in categories C or D. The association of the minimum width of the kerf and the shape of profile allows to determine the actual category [8]. The minimum width of the kerf classified the false starts into categories B or C. Both criteria (width of the kerf and kerf profile) put together state the presence of a crosscut saw or a universal saw (category C) and rules out a rip saw (category B). However, blade 2 (reciprocating saw) displays rip teeth that should produce concave profiles. This is a confusing result in this experiment. Berger et al. [19] have also observed a convex profile associated with a reciprocating saw with rip teeth. Blade 1 is also very confusing, because the kerfs present concave or convex profiles, despite the presence of isosceles teeth that should lead only to convex profiles (universal saw).

Regarding group 2, a concave profile was observed in all lesions produced both by blade 3 (reciprocating saw) and the handsaw 2. This fact states the presence of rip teeth and rules out a crosscut saw or a universal saw as the instrument used. The concave profiles may be classified into categories A or B. With a minimum width of the kerf less than 1 mm, saw 2 can easily be classified into category A. Blade 3 (reciprocating saw, TPI=24, small teeth) has produced wider lesions than the handsaw and should be classified in category B. But it has to be pointed out that the thickness of the blade 3 is far wider than that of the handsaw 2.

We can conclude, first that we have to combine the minimum width of the kerf and the kerf profile to propose a classification; and second that the reciprocating saws tested in this work display more variations of the kerf profile and of the minimum width of the kerf than handsaws. Rip teeth and crosscut (or isosceles) teeth may be confused within some reciprocating saws (blade 1 with isosceles teeth did not systematically produce convex profiles as expected, and blade 2 produced convex profiles despite rip teeth).

Shape of the walls

The shape of the walls is one of the three main criteria for saw classification. Alternating between narrow and wide walls indicates an alternating set, whereas necking in the middle of the lesion indicates a wavy set [4,8]. Straight walls can be present with the three types of set, i.e., alternating, wavy or racker set [4,8].

In the current work, most of the lesions of group 1 and group 2 displayed straight walls, which leads to no possible conclusion about the set of the blades. Blades 1 and 2 (reciprocating saws) varied a lot, presenting either an alternating of narrow and wide parts (suggesting an alternating set), but also a necking in the middle of the kerf (suggesting a wavy set). Handsaws 1 and 2 were more consistent, with either straight walls (no conclusion about the set of the blade), or an alternating of wide and narrow parts (alternating set, correct classification, saw 1) or necking in the middle of the kerf (wavy set, correct classification, saw 2).

Regarding the reciprocating saws, we can conclude that, in this experiment, variations of the shape of the walls may lead to incorrect conclusions about the set of the blades.

Striae on the kerf floor

Striae are linear formation visible on the false stars. They result from the passage of the teeth, in the direction of the saw movement. The pattern of striae on the kerf floor may be of interest when the walls are straight: undulating or undulating/straight striae are indicative of an alternating set [9]; thin and straight striae of a wavy set [9]; and striae arranged in thirds suggest a raker set [4].

In group 1 the striae were undulating/straight or undulating and were indicative of a correct alternating set. In group 2, the striae were straight in most of the cases, which is indicative of a correct wavy set. But blade 3 (reciprocating saw) was again confusing, displaying undulating/straight striae (indicating an incorrect alternating set), whereas there was no mistake with handsaw 2.

Bone islands

Bone islands represent residual islands of bone in the middle of the kerf floor. According to Symes [4] this feature is indicative of an alternating set and produces convex profiles. Bone islands are either longitudinal or oval and their presence may be suggestive of the size of the teeth of the blade (large teeth, low TPI) [9].

Longitudinal bone islands were observed in all lesions with blade 2 and saw 1 and oval bone islands in some lesions with blade 1. No bone islands were observed in group 2. The presence/absence of bones islands helps to determine the set of the blade in the present study with the exception of some kerfs with blade 1. Isosceles teeth of blade 1 (universal reciprocating blade) do not systematically produce bone islands as expected, unlike blade 2 (rip teeth, reciprocating blade) that systematically produces them. We did not observe bone islands with group 2 (wavy set), but Berger et al. [19] have observed bone islands with wavy reciprocating blades in at least 29% of the cases. This feature seems to vary a great deal with reciprocating blades and is also a confusing feature to determine the set of the reciprocating blade.

Hand versus electrical saw

Even if some uniformity could be expected with a power saw, the current work states the opposite: there is more variability with the reciprocating saw than with the hand saw (of the same class). The fast motion (forth and back) of the blade, and a little variation of the operator (angle, strength) could be sufficient to lead to noticeable variations of the characteristics of the false starts.

In conclusion, this experiment states that there are significant variations of the features of false starts produced by reciprocating saws tested in this work. Several features may be confusing, even within the same reciprocating blade. No criteria were able to differentiate reciprocating power saws from handsaws checked in this study. The minimum width of the kerf was larger with reciprocating blades than the handsaws of the same class, because the minimum width of the kerf was linked to the thickness of the blade in this experiment. Therefore, the reciprocating blade could be confused with a handsaw with larger teeth. The kerf profile and the shape of the walls may be confusing in some of the reciprocating blades tested in this work. The striae allowed for a correct classification of the alternating set in group 1, but blade 3 (wavy set) in group 2 could also be sometimes confusing. These results demonstrate that we have to be very prudent while estimating the possible saw from a false start in a real forensic case.

References

- [1] K. J. Reichs, Post mortem dismemberment: recovery, analysis and interpretation, in: K. J. Reichs (Ed.), *Forensic Osteology and interpretation. Advances in the Identification of Human Remains*, 2nd edition, Charles C Thomas, Springfield, 1998, pp. 353-88.
- [2] B.J. Adams, C.W. Rainwater, A.D. Yim, H.S. Alesbury, A retrospective study of intentional body dismemberment in new York city : 1996-2017, *J Forensic Sci.* 64(4) (2019) 1012-1016.
- [3] G. Quatrehomme, *Anthropologie lésionnelle : Dépeçages et démembrements*, in : *Traité d'Anthropologie médico-légale*, De Boeck, Paris, 2015, pp 1572–1596.
- [4] S.A. Symes, (PhD. Dissertation), *Morphology of Saw Marks in Human Bone: Identification of Class Characteristics*, University of Tennessee, Knoxville, 1992.
- [5] J.A. Bailey, Y. Wang, F.R.W. van de Goot, R.R.R Gerretsen RRR, Statistical analysis of kerf mark measurements in bone, *Forensic Sci. Med. Pathol.* 7(1) (2011) 53–62.
- [6] P.A. Saville, S.V. Hainsworth, G.N. Ruttly GN, Cutting crime: the analysis of the “uniqueness” of saw marks on bone, *Int. J. Legal Med.* 131(5) (2007) 349–357.
- [7] S. Symes, C.W. Rainwater, L.L. Cabo, E.N. Chapman, I. Wolff, *Knife and saw toolmark analysis in bone: a manual designed for examination of criminal mutilation and dismemberment*, National Institute of Justice Grant (2005)
- [8] L. Nogueira, G. Quatrehomme, C. Rallon, P. Adalian, V. Alunni V, Saw marks in bones: a study of 170 experimental false start lesions, *Forensic Sci. Int.* 268 (2016) 123–130.
- [9] L. Nogueira, V. Alunni, C. Bernardi, G. Quatrehomme, Saw marks in bones: a study of “secondary features” of false start lesions, *Forensic Sci. Int.* 290 (2018) 157–161.
- [10] C. Bernardi, L. Nogueira, V. Alunni, G. Quatrehomme, Analysis of false start bone lesions produced by an electrical oscillating autopsy saw, *Int. J. Legal Med.* 134 (2020) 543–551. [11] L.E. Freas, Assessment of wear-related features of the kerf wall from saw marks in bone, *Forensic Sci.* 55(6) (2010) 1561-1569.
- [12] C. Bernardi, L. Nogueira, F. Orange, G.F. Carle, V. Alunni, G. Quatrehomme, The stereomicroscope and scanning electron microscope comparison of false starts bones produced by an oscillating autopsy saw, *Forensic Sci. Int.* (2021). doi: 10.1016/j.forsciint.2021.110816.
- [13] C. Capuani, C. Guilbeau-Frugier, M.B. Delisle, D. Rougé, N. Telmon, Epifluorescence analysis of hacksaw marks in bone: highlighting unique individual characteristics, *Forensic Sci. Int.* 241(2014)195–202.
- [14] K. Alsop, W. Baier, D. Norman, B. Burnett, M.A. Williams, Accurate prediction of saw blade thickness from false start measurements, *Forensic Sci. Int.* (2021).

doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110602.

- [15] C. Giraudo, M. Montisci, A. Giorgetti, L. Martinuzzo, M. Bisceglia, S. Moschi, P. Fais, M. Weber, E. Quaia, G. Viel, G. Cecchetto, Intra-class and inter-class tool discrimination through micro-CT analysis of false starts on bone, *Int. J. Legal Med.* 134 (2020) 1023–1032.
- [16] D.G. Norman, W. Baier, D.G. Watson, B. Burnett, M. Painter, M.A. Williams, Micro-CT for saw mark analysis on human bone, *Forensic Sci. Int.* 293 (2018) 91–100 30.
- [17] G. Pelletti, G. Viel, P. Fais, A. Viero, S. Visentin, D. Miotto, M. Montisci, G. Cecchetto, C. Giraudo, Micro-computed tomography of false starts produced on bone by different hand-saws, *Legal Med.* 26 (2017)1–5.
- [18] M. Menschel, J. T. Pokines, G. Reineche, Correlation between saw blade width and kerf width, *J. Forensic Sci.* 66(1) (2021) 25-43.
- [19] J.M. Berger, J.T. Pokines, T.L. Moore, Analysis of Class Characteristics of Reciprocating Saws, *J. Forensic Sci.* 63 (6) (2018)1661-1672.
- [20] R. Imran, T.R. Rogers, Resolving reflection and resolution in 3D imaging of fresh bone, *J. Forensic Sci.* 65(1) (2020) 200-208.
- [21] J.C. Love, S.M. Derrick, J.M. Wiersema, C. Peters, Microscopic saw marks analysis: An empirical approach, *J. Forensic Sci.* 60(S1) (2015) S21-S26.
- [22] S.M. Marciniak, A preliminary assessment of the identification of saw marks on burned bone. *J. Forensic Sci.* 54(4) (2009) 779-785.

Figure captions:

Fig. 1. Reciprocating blades (at the top) and handsaws used in this experimental study:

Group 1 (alternating set, TPI = 6): (a) Reciprocating blade 1, (b) Reciprocating blade 2 and (e) Saw 1.

Group 2 (wavy set, TPI = 24): (c) Reciprocating blade 3 and (d) Saw 2.

Fig. 2. Shape of the walls of the false starts.

(a) Alternating between narrow and wide walls (x20) (false start produced by blade 2). (b) Necking in the middle of the kerf (x20) (false start produced by blade 1). (c) Straight walls (x30) (false start produced by blade 3).

Fig. 3. Shape of profiles, using a 3D reconstruction:

(a) Convex profile (x100) (false start produced by saw 1). (b) Concave profile (x100) (false start produced by saw 2).

Figure 1



Figure 2

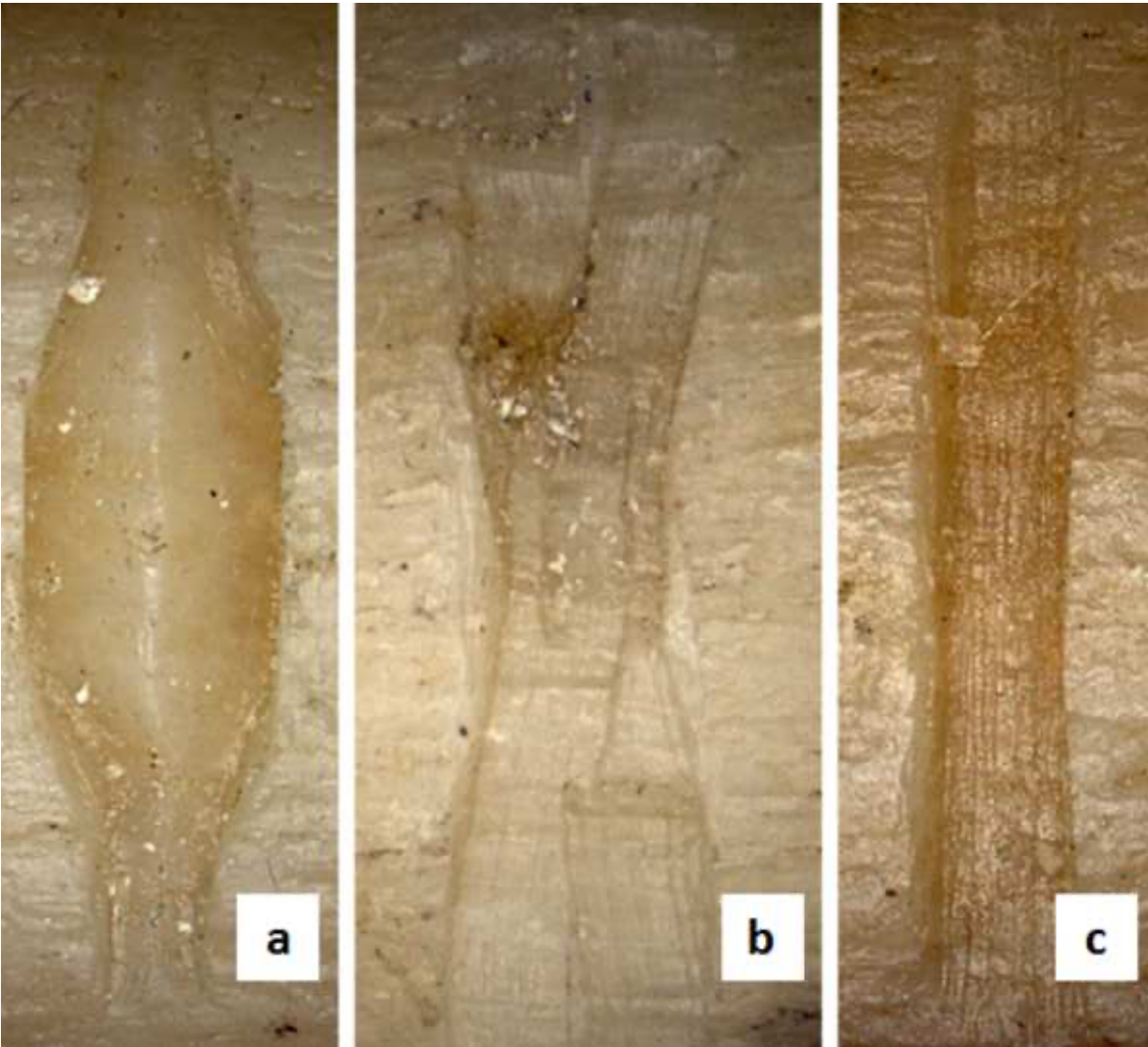


Figure 3

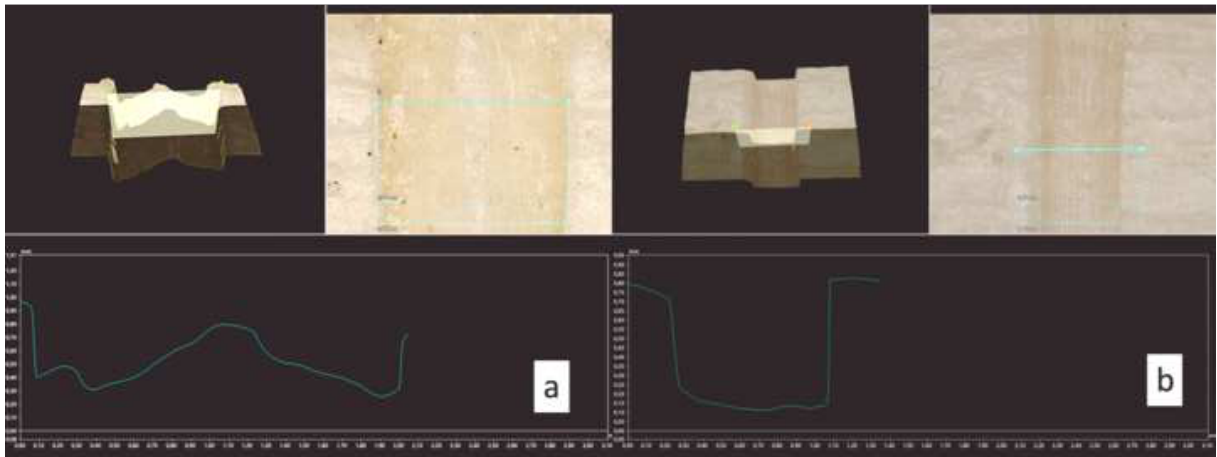


Table 1: Features of different blades and measurements made on the teeth.

	Group 1 ³			Group 2 ⁴	
	Blade 1	Blade 2	Saw 1	Blade 3	Saw 2
Saw class	Reciprocating saw	Reciprocating saw	Hand saw	Reciprocating saw	Hand saw
TPI	6	6	6	24	24
Type of the teeth	Isosceles	Rip	Isosceles	Rip	Rip
Type of set	Alternating	Alternating	Alternating	Wavy	Wavy
Angle of each tooth (degree) (sd)¹	53.62 (0.62)	55.79 (0.54)	58.86 (1.55)	55.48 (1.34)	56.06 (0.92)
	NS			NS	
Angle between the tooth and the vertical line (degree) (sd)¹	66.02 (0.56)	43.38 (0.77)	75.11 (2.31)	41.63 (2.00)	36.32 (0.95)
	NS			0.004	
Distance between two consecutive teeth (mm) (sd)¹	4.06 (0.02)	3.82 (0.04)	4.04 (0.02)	1.09 (0.02)	1.04 (0.01)
	NS			0.008	
Height of the teeth (mm) (sd)¹	3.24 (0.04)	3.10 (0.04)	4.87 (0.07)	0.56 (0.02)	0.55 (0.02)
	NS			NS	
Width of the teeth (mm) (sd)¹	3.61 (0.13)	3.71 (0.06)	4.32 (0.10)	0.77 (0.02)	0.84 (0.02)
	NS			0.004	
Blade thickness at teeth level (mm) (average) (sd)²	1.24 (0.01)	1.24 (0.01)	0.86 (0.03)	0.87 (0.01)	0.64 (0.01)
	NS			0.004	
Length of each wave (mm) (sd)¹	-	-	-	7.10 (0.01)	6.20 (0.01)
				NS	

¹ The angles, the height and width of the teeth, the distance between two consecutive teeth and the length of each wave were measured 10 times directly on the blade with the numeric microscope (x 30).

² The thickness of the blade was measured 10 times at the level of the teeth with a digital caliper.

³ Kruskal Wallis test

⁴ Wilcoxon test

NS=non-significant

Table 2: False start features analyzed by microscopy.

Feature	Definition
Minimum width of the kerf	Measurement of the narrowest part of the false start, between both edges of the lesion.
Shape of Profile	Concave or convex
Shape of the walls	Straight walls; undulating between narrow and wide parts or necking in the middle of the kerf.
Striae on the kerf floor	Linear formation on the floor of the false start. Three patterns of striae are visible: straight, undulating/straight or undulating
Bone islands	Residual islands of bone that may be visible in the middle of the kerf floor (presence or absence), either oval or longitudinal

Table 3: Minimum width of the kerf and ratio between the minimum width of the kerf and the thickness of the blade.

	Group 1			Group 2	
	Blade 1	Blade 2	Saw 1	Blade 3	Saw 2
Minimum width of the kerf in mm: average (minimum-maximum) *	1.75 (1.30-2.68)	1.72 (1.30-2.27)	1.56 (1.35-1.87)	1.30 (1.08-1.55)	0.88 (0.75-0.99)
	p (Anova) = 0.000			p (Student T-Test) = 0.000	
Syme's category	B or C				A
Thickness of the blade at the level of the teeth (mm): average (minimum-maximum)	1.24 (1.23-1.25)	1.24 (1.22-1.27)	0.86 (0.82-0.90)	0.87 (0.85-0.89)	0.64 (0.63-0.65)
	p (Kruskal Wallis) = NS			p (Wilcoxon Test) = 0.004	
Ratio: minimum width of the kerf/ thickness of the blade: average (minimum-maximum)	1.41 (1.05-2.16)	1.39 (1.05-1.82)	1.81 (1.57-2.17)	1.49 (1.24-1.78)	1.40 (1.38-1.55)
	p (Anova) = 0.002			p (Student T-Test) = NS	

* Minimum width of the kerf was measured directly on bone lesions.

NS = non-significant

Table 4: Microscopic comparison of the features of the false start between the different blades.

	Group 1			Group 2	
	Blade 1 (n=30)	Blade 2 (n=30)	Saw 1 (n=30)	Blade 3 (n=30)	Saw 2 (n=30)
Kerf profiles					
Concave	19	0	0	30	30
Convex	11	30	30	0	0
p (Fisher exact test)	<0.0000			NS	
Shape of the walls					
Straight	9	15	17	22	20
Alternating between narrow and wide	10	13	13	0	0
Necking in the middle of the kerf	11	2	0	8	10
p (Fisher exact test)	0.001			NS	
Striae on the kerf floor					
Straight	0	0	0	12	30
Undulating/straight pattern	30	24	0	18	0
Undulating	0	0	30	0	0
Difficult to observe	0	6	0	0	0
p (Fisher exact test)	<0.0000			<0.0000	
Bone islands					
Present	11	30	30	0	0
Absent	19	0	0	30	30
p (Fisher exact test)	<0.0000			NS	
Type of bone islands					
Oval	11*	0	0	-	-
Longitudinal	0	30	30		
p (Fisher exact test)	<0.0000			-	

*one bone island in 7/11 cases and two bone islands in 4/11 cases, always located at the extremities of the lesion;
NS: non significant

B/ Influence sur l'os de la préparation anthropologique par macération dans l'eau chaude à 85°C

La macération dans l'eau chaude est couramment utilisée dans les études expérimentales analysant les marques d'outils laissées sur l'os (Lynn 2009, Love 2013, Capuani 2014, Nogueira 2016, Nogueira 2018, Martlin 2020).

Dans les expérimentations présentées ci-dessus, j'ai retenu la macération dans l'eau chaude à 85°C car elle s'avère simple d'utilisation, peu coûteuse, et parmi celles qui altèrent le moins la surface osseuse (King 2015, Triaca 2022). Je n'ai pas retenu la macération dans l'eau bouillante (100°C) car certains travaux suggèrent une altération de surface plus importante à cette température (Bosch 2011, King 2015, Petrovic 2019). Je n'ai pas retenu la technique du micro-ondes, car elle se révélait décevante quand elle était utilisée sur le fémur, nécessitant l'adjonction d'un traitement supplémentaire pour retirer l'ensemble des parties molles. J'ai écarté la méthode manuelle, la plus conservatrice pour l'os (King 2015), car il y a un risque avec cette méthode de créer des lésions involontaires sur la surface osseuse, notamment par l'utilisation de scalpels, mais également car il s'agit d'une technique fastidieuse.

Dans les études expérimentales présentées ci-dessus, les lésions par scie ont été produites sur de l'os préparé anthropologiquement, c'est-à-dire après retrait des parties molles, afin d'améliorer la reproductivité expérimentale. Ce type de procédure qui consiste à réaliser les marques de coupe une fois la préparation anthropologique effectuée, avait déjà été utilisé dans des études antérieures (Thali 2003, Lynn 2009, Capuani 2014, Nogueira 2016, 2018, Martlin 2020). Alors que la réalisation de la préparation anthropologique après la coupe aurait été plus réaliste, il a été choisi ici de la compléter avant la réalisation des lésions par scie afin de maintenir un environnement expérimental contrôlé (Martlin 2020).

Aucun article à ma connaissance n'évalue l'influence de la préparation anthropologique par macération dans l'eau chaude à 85°C, sur les traces de scie ou sur les propriétés osseuses.

1- Objectifs

Expérience 1

L'objectif était d'identifier si la durée de la macération de l'os dans l'eau chauffée à 85°C avait un impact quant à l'analyse microscopique des caractéristiques diagnostiques habituellement recherchées dans les faux départs produits par des scies.

Expérience 2

L'objectif était de rechercher si la densité osseuse se modifie après préparation anthropologique.

2- Matériels et méthodes

Expérience 1

Échantillons osseux

Quatre os fémoraux humains ont été prélevés sur deux hommes âgés (homme A : 86 ans et homme B : 93 ans) qui ont fait don de leur corps à des fins d'enseignement et de recherche, conformément à la loi française. A l'arrivée des corps au laboratoire d'anatomie, ils ont été conservés à +4°C, ils n'étaient pas altérés par la décomposition. Le prélèvement a été effectué dans un délai maximum de 24 heures après leur arrivée au centre du don du corps.

Après dissection des parties molles, les diaphyses de chaque os fémoral ont été retirées à l'aide d'une scie autopsique oscillante. Les épiphyses de chaque os ont été exclues, car, dans l'expérience de mon laboratoire, il est plus difficile de produire des lésions reproductibles au niveau des épiphyses, ceci car elles sont composées principalement d'os spongieux en comparaison avec l'os cortical (compact) majoritaire au niveau des diaphyses (Figure 41).



Figure 41 : Illustration de la différence d'épaisseur de la corticale entre la diaphyse et l'épiphyse sur un humérus humain

Aucune pathologie notamment dégénérative n'a été observée macroscopiquement. Chaque diaphyse de chaque donneur a été divisée en trois fragments de taille équivalente (au total 12 fragments ; 6 fragments par individu) qui ont ensuite été numérotés de A1 à A6 pour l'homme A, et de B1 à B6 pour l'homme B, de la partie distale à la partie proximale de la diaphyse (Figure 42).

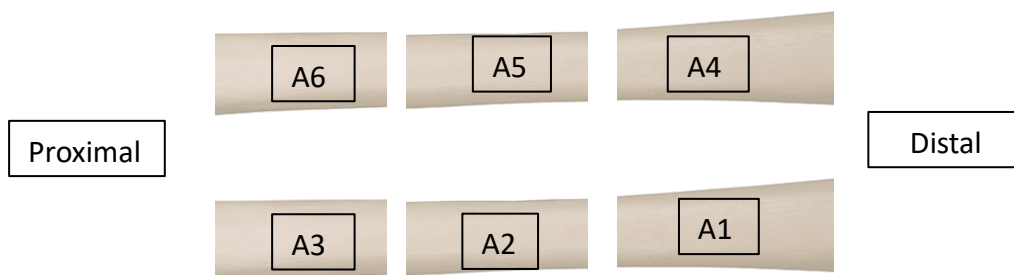


Figure 42 : 6 échantillons osseux (A1 à A6) réalisés à partir de deux diaphyses fémorales

Préparation anthropologique des échantillons

La préparation anthropologique permet de retirer les parties molles de l'os. Les 12 fragments osseux ont été préparés par macération à l'eau chaude (eau frémissante, non bouillante). Ils ont été placés dans une casserole avec 10 litres d'eau. La procédure de chauffage durait 6 heures par jour à 85°C. En dehors des périodes de chauffage, les os poursuivaient leur macération dans l'eau froide. Chaque jour, l'eau était changée. Des temps différents de macération ont été appliqués aux échantillons osseux ; le temps 1 (T1) correspondait à 5 jours de préparation, le temps 2 (T2) correspondait à 8 jours de préparation, et le temps 3 (T3) correspondait à 12 jours de préparation. Dans chaque groupe, 4 fragments ont été préparés (2 fragments par individu).

La figure 43 montre comment l'attribution du temps de macération a été faite pour chaque fragment osseux. Dans un premier temps, une sélection aléatoire a été réalisée pour les fragments 1 à 3. Il avait été décidé que le premier fragment sélectionné serait placé dans le groupe T1, le deuxième fragment sélectionné serait placé dans le groupe T2 et le troisième fragment sélectionné serait placé dans le groupe T3.

Ainsi, les fragments A1 et B1 ont été placés dans le groupe T1, les fragments A3 et B3 dans le groupe T2, et les fragments A2 et B2 dans le groupe T3. Ces échantillons ont ensuite été appariés aux fragments 4 à 6. Pour limiter les variations potentielles dues à des différences d'épaisseur de la corticale selon la zone de la diaphyse, les fragments A1 et B1 ont été ajoutés aux fragments de la partie médiane de la diaphyse (A5 et B5) ; les fragments A3 et B3 ont été ajoutés aux fragments de la partie distale de la diaphyse (A4 et B4) et enfin les fragments A2 et B2 ont été ajoutés aux fragments de la partie proximale de la diaphyse (A6 et B6). En résumé, le groupe T1 était composé des fragments A1, A5, B1 et B5 ; le groupe T2 était composé des fragments A3, A4, B3 et B4 et le groupe T3 des fragments A2, A6, B2 et B6.

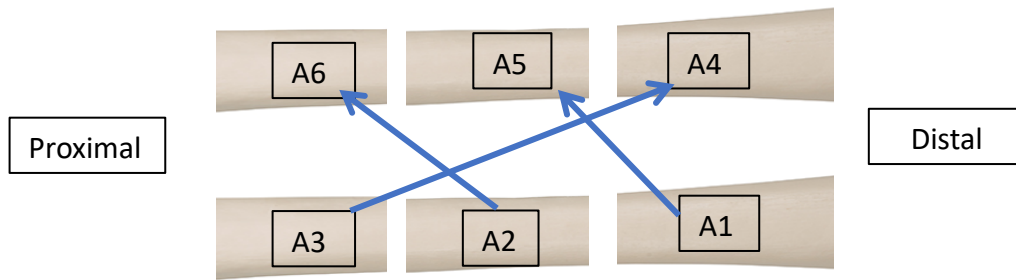


Figure 43 : Attribution du temps de préparation aux échantillons A1 à A6

Après 5 jours de préparation, les fragments A1, A5, B1 et B5 ont été retirés. Les fragments A3, A4, B3 et B4 ont eux été retirés après 8 jours. Enfin, les fragments A2, A6, B2 et B6 sont restés 12 jours. Chaque groupe de fragments a été placé dans une pièce ventilée pour 3 jours de séchage (Figure 44).

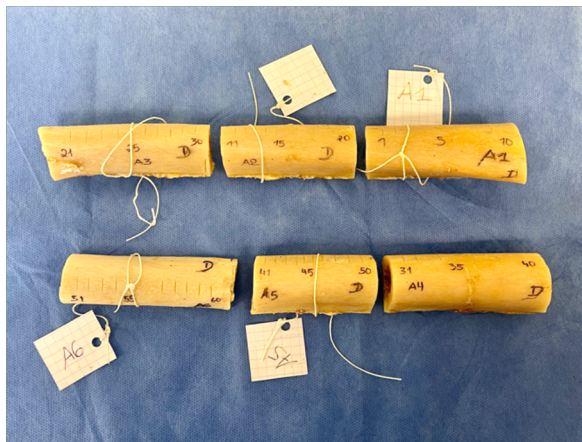


Figure 44 : Échantillons osseux après préparation anthropologique et création des faux départs

Les faux départs et leur analyse au microscope

Une scie à métaux possédant un avoyage ondulé (Figure 45) a été utilisée pour produire les faux départs sur l'os une fois préparé.



Figure 45 : (a) scie à métaux utilisée pour produire les faux départs (b) lame de la scie utilisée

Le tableau 5 montre les principales caractéristiques de la scie à main.

Scie à métaux	
Marque	Bahco
Mouvement actif	En poussée
Longueur de la lame (mm)	150
Hauteur de la lame (mm)	6
Type de dents	À refendre
Distance entre deux dents consécutives (mm)	0.85
Hauteur des dents (mm)	0.38
Largeur des dents (mm)	0.50
TPI	32
Type d'avoyage	ondulé
Épaisseur de la lame au niveau des dents (mm)	0.39

Tableau 5 : Principales caractéristiques de la scie à main utilisée pour produire les faux départs

120 faux départs expérimentaux ont été créés (10 lésions pour chaque fragment osseux). Les lésions ont été analysées à l'aide d'un microscope numérique (VHX-970F, Keyence ®). Les critères d'analyse microscopique comprennent des caractéristiques qualitatives (présence ou absence de scratch, forme du fond du faux départ, forme des murs,

forme des stries) et quantitatives (largeur minimum du faux départ). Le tableau 6 résume les caractéristiques microscopiques qui ont été analysées.

Largeur minimale de la lésion	Distance minimale entre les murs du faux départ
Forme du profil	Forme du fond du faux départ. Il est habituellement de deux types : concave ou convexe
Forme des murs	La forme des murs peut être de trois types : alternance large-étroit, droite, ou étroite au centre de la lésion
Forme des stries au fond de la lésion	Trois formes possibles : ondulée, ondulée-droite ou droite
Scratch	Frottement superficiel de la lame sur l'os. Aucune caractéristique élémentaire ne peut être identifiée sur ce type de lésion.

Tableau 6 : Description des caractéristiques diagnostiques analysées

Comparaisons au microscope

Des analyses comparatives ont été réalisées au microscope, en deux étapes : (1) comparaison des caractéristiques des faux départs entre les individus indépendamment du temps de chauffage ; et (2) analyse de l'effet du temps de chauffage sur les lésions de faux départs.

La première étape a été réalisée afin de vérifier que mes analyses sur l'effet du temps de chauffage ne soient pas impactées par la provenance de nos échantillons de deux individus différents.

Pour la comparaison des caractéristiques des faux départs entre les deux individus, j'ai analysé les 60 lésions de l'individu A et 60 lésions de l'individu B, sans tenir compte du temps de préparation.

Ensuite, j'ai comparé les lésions en fonction du temps de préparation (60 lésions de l'individu A et 60 lésions de l'individu B réparties dans les groupes T1, T2 et T3). Chaque

groupe de temps de préparation était composé de 4 fragments (2 fragments par individu). Au total, 40 lésions ont été analysées et comparées par groupe de temps de préparation.

Analyses statistiques

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel R Studio (version 4.1.2). Un test de Wilcoxon pour séries indépendantes a été utilisé pour comparer la largeur minimale du faux départ entre les individus (A vs B), et un test exact de Fisher pour comparer les critères qualitatifs.

Pour l'évaluation de l'impact du temps de préparation anthropologique, un test de Kruskal Wallis a été utilisé pour comparer la largeur minimale du faux départ, et un test exact de Fisher pour comparer les caractéristiques morphologiques entre les trois groupes de temps (T1 vs T2 vs T3).

Pour l'évaluation de la variabilité intra-observateur, les mesures de la largeur minimale du faux départ ont été effectuées trois fois par le même observateur, à trois jours d'intervalle. La variabilité inter-observateurs a été évaluée par deux observateurs indépendants, qui ont mesuré dix fois la largeur minimale du faux départ à trois jours d'intervalle. Un test de Kruskal Wallis et un test de Wilcoxon pour mesures appariées ont été utilisés pour évaluer respectivement la variabilité intra et inter-observateurs. La limite de significativité p était fixée à 0,05.

Concernant les caractéristiques qualitatives (scratch, forme des profils, forme des murs, motif des stries sur le fond du faux départ et débris osseux), la concordance entre les deux observateurs a été évaluée par un test kappa de Cohen et l'interprétation a été faite selon Landis et Koch (1977).

Expérience 2

Matériel osseux

6 humérus et 6 fémurs issus de 3 mini-porcs Yucatan de la même portée ont été obtenus auprès de l'Institut National de Recherche pour l'Agriculture, l'Alimentation et l'Environnement (INRAE).

Le tableau 7 décrit les caractéristiques de ces échantillons.

Les os de porcs ont été réceptionnés le 21 avril 2021 et ont été conservés en réfrigération à 1°C avec une épaisseur de muscle entourant l'os d'environ 2 cm, jusqu'à réalisation du premier scanner le 03 juin 2021. Le lendemain du scanner, les os ont subi la préparation anthropologique. Après cette étape, ils ont été conservés à l'air libre, à température ambiante au sein du laboratoire.

Individu Sexe Age au moment du décès Poids le 31/03/2021
(14/04/2021)

1	M	1 an, 6 mois et 18 jours	50,64 kg
2	M	1 an, 6 mois et 18 jours	49,28 kg
3	M	1 an, 6 mois et 18 jours	46,89 kg

Tableau 7 : Caractéristiques des échantillons osseux de porc

L'analyse tomodensitométrique a retrouvé des épiphyses non fusionnées dans l'ensemble des cas.

2 fémurs et 2 humérus d'un homme âgé de 86 ans issu du don du corps ont également été utilisés dans cette étude. L'individu est décédé le 29 juillet 2021, il est arrivé au don du corps le 03 août 2021 et a été conservé en réfrigération. Le prélèvement osseux a été réalisé le 29 septembre 2021, avec préservation partielle des parties molles entourant l'os. Ces os ont été conservés en réfrigération à 1°C jusqu'à réalisation du premier scanner le 04 novembre 2021.

Le lendemain du scanner, les os ont subi la préparation anthropologique. Après cette étape, ils ont été conservés à l'air libre, à température ambiante au sein du laboratoire.

Les os (humains et de porcs) utilisés pour cette expérimentation étaient sectionnés en un ou plusieurs endroits car ils ont été utilisés en parallèle dans un autre protocole non présenté ici (des faux départs étaient produits sur certains échantillons avant préparation en présence des parties molles et d'autres une fois la préparation achevée).

Acquisition des images radiographiques

Les acquisitions ont été réalisées à l'aide d'un tomodensitomètre (TDM) situé au sein du CHU Pasteur à Nice (modèle GE Révolution CT 256). Les paramètres d'acquisition étaient les suivants : 10-475 mA, 120 kV, 0,625 mm d'épaisseur de coupe.

Les acquisitions ont été réalisées une première fois avant préparation (le 03 juin 2021 pour les os de porc, le 04 novembre 2021 pour les os humains), puis une seconde fois après préparation (le 10 mai 2022).

Préparation anthropologique

Les os (Figure 46) ont été plongés dans des casseroles remplies d'eau. L'eau a ensuite été chauffée jusqu'à atteindre 85°C (eau frémissante), 6 heures par jour, pendant 7 jours (Figure 47). En dehors du temps de chauffage, la macération de l'os s'est poursuivie dans l'eau froide au sein des casseroles. Une fois par jour, l'eau a été renouvelée, et les parties molles pouvant être retirées manuellement avec facilité l'ont été.



Figure 46 : Fémur de porc avant préparation



Figure 47: A gauche os de porcs après préparation, à droite os humains après préparation

Traitement des images, mesures

L'ensemble des images radiographiques obtenu a été transféré dans le logiciel OsiriX Software (Osirix MD v.11.0.3) (Figure 48, 49 et 50).

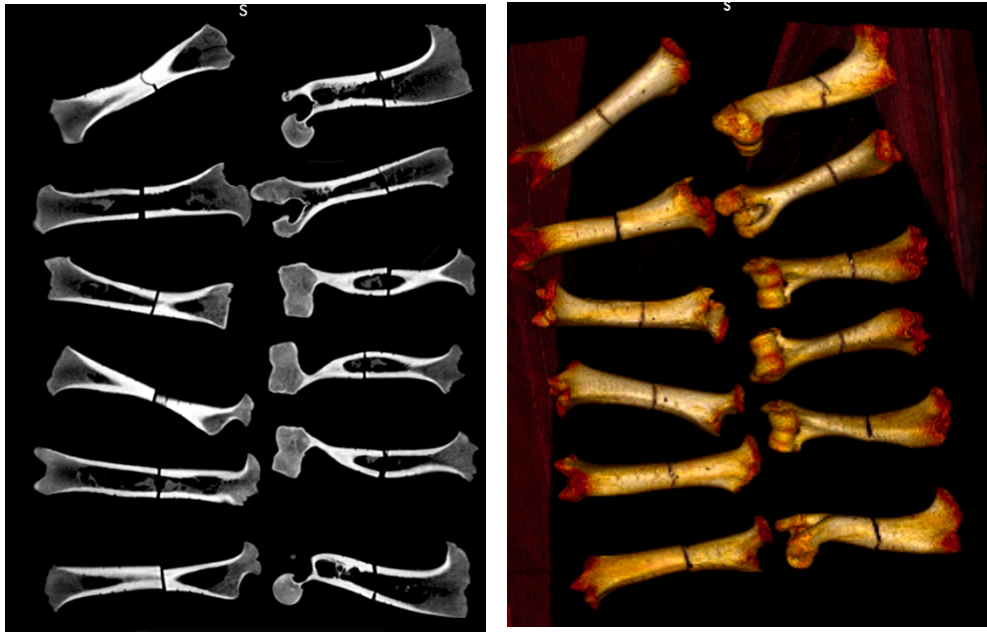


Figure 48 : Exemples d'images des os de porcs obtenues au TDM (à gauche en coupe saggitale, à droite en reconstruction 3D) (après préparation)



Figure 49 : Exemple d'image des os humains obtenue au TDM en coupe frontale (après préparation)

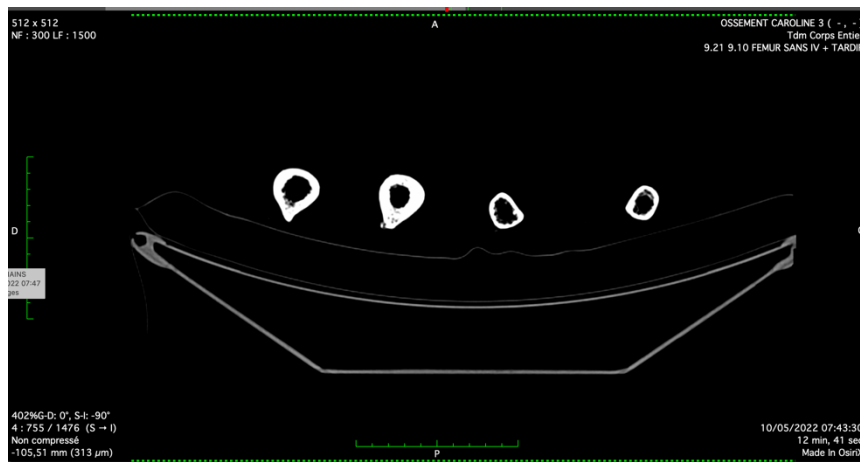


Figure 50 : Exemple d'image des os humains obtenue au scanner (diaphyses fémorales à gauche, diaphyses humérales à droite)

J'ai utilisé les protocoles déjà publiés et validés, portant sur l'utilisation de la tomographie assistée par ordinateur comme méthodologie d'analyse de la densité osseuse (Rho 1995, Mirsky 1998, Damilakis 2007, Clavert 2013).

Dans cette étude préliminaire, la zone choisie pour réaliser les mesures était située sur la portion médiane des diaphyses (7 cm au-dessus de la ligne de non-fusion osseuse de la diaphyse distale pour les fémurs de porc (Figure 53), 6 cm au-dessus de la ligne de non-fusion osseuse de la diaphyse distale pour les humérus de porc, à mi-hauteur de la ligne âpre pour les fémurs humains (Figure 52) et en regard de la tubérosité deltoïdienne pour les humérus humains (Figure 51)), sur la face postérieure de l'os définie anatomiquement.

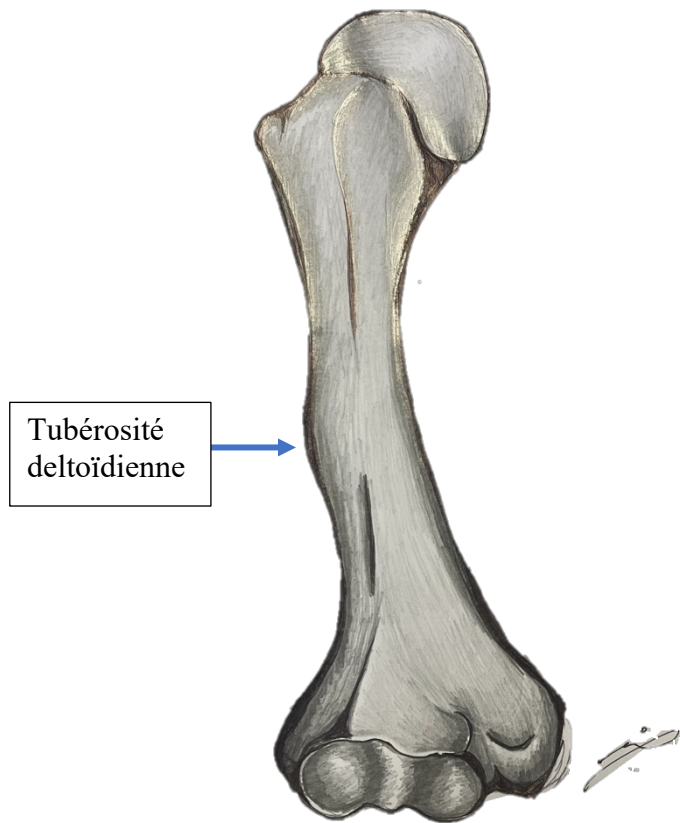


Figure 51 : Le dessin représente la tubérosité deltoïdienne sur l'humérus en vue de face. Le repère bleu sur la reconstruction 3D au scanner est positionné à hauteur de la tubérosité deltoïdienne (zone d'intérêt choisie).

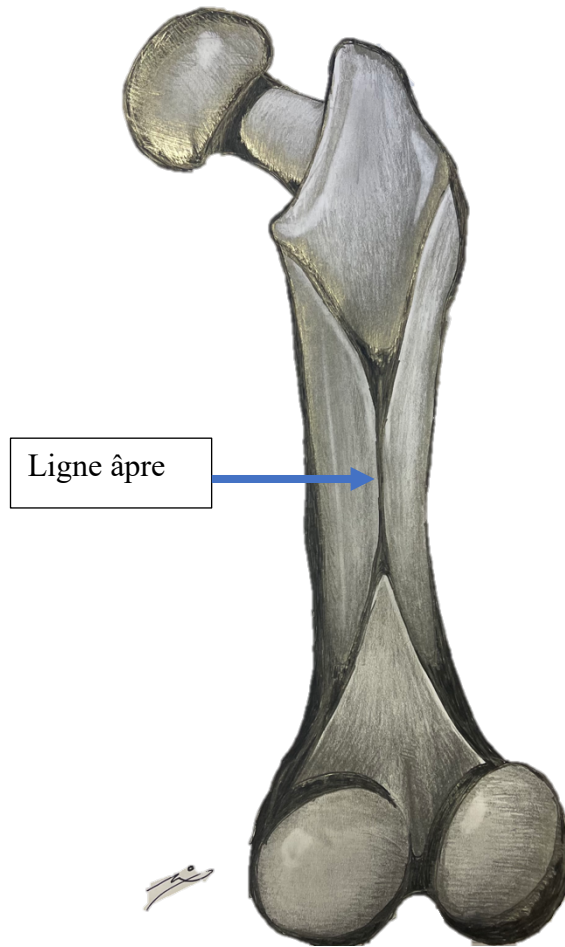


Figure 52 : Le dessin met en évidence la ligne âpre sur le fémur en vue postérieure. Les repères rouges sont situés à mi-hauteur de la ligne âpre (fémurs humains) sur la reconstruction 3D au scanner (zone d'intérêt choisie)

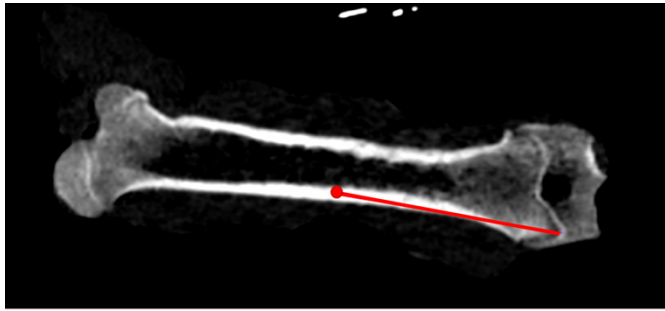


Figure 53 : Repère rouge situé à 7 cm de la ligne de non-fusion de l'épiphyse distale d'un fémur de porc

Les zones choisies sur chaque os pour la réalisation des mesures ont été repérées sur le scanner grâce aux reconstructions 3D ou aux coupes sagittales et des repères ont alors été positionnés. Les mesures ont ensuite été effectuées en coupe axiale au niveau des repères.

A l'aide du logiciel, tous les scanners ont été mis à l'échelle taille réelle.

Pour les mesures, j'ai utilisé un ROI (region of interest) (Figure 54). Une fois placé dans la zone d'intérêt, celui-ci indique la densité moyenne de la surface. La mesure est exprimée en Unité Hounsfield (UH). Ici un ROI d'une surface de 5,12 mm² a été créé. Il a ensuite été utilisé pour l'ensemble des mesures.

Chaque mesure a été répétée dix fois à deux jours d'intervalle.

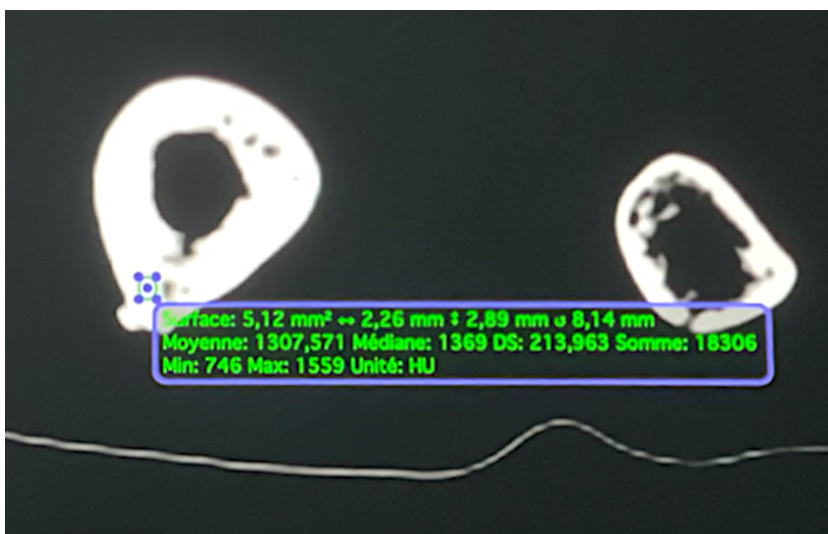


Figure 54 : ROI positionné sur la face postérieure d'un fémur humain sur une coupe axiale au TDM

L'unité Hounsfield (HU) est une mesure quantitative relative de radio densité, habituellement utilisée par les radiologues pour l'interprétation des images de tomodensitométrie (TDM). Le coefficient d'absorption/atténuation du rayonnement dans un tissu est utilisé pour produire une image en niveaux de gris. La densité physique des tissus est proportionnelle à l'absorption/atténuation du faisceau de rayons X. L'unité Hounsfield, est calculée sur la base d'une transformation linéaire du coefficient d'atténuation linéaire de base du faisceau de rayons X, où l'eau distillée est arbitrairement définie comme étant 0 UH et l'air comme -1000 UH. Les limites supérieures peuvent atteindre jusqu'à +1000 voire +2000 UH pour les os, et + 3000 UH pour les métaux comme l'acier ou l'argent. Un tissu plus dense aura une plus grande absorption du faisceau de rayons X, aura des valeurs plus positives, et tendra plus vers le blanc. Un tissu moins dense tendra vers le noir. (DenOtter 2022).

Statistiques

L'analyse statistique a été réalisée à l'aide du logiciel RStudio (version 4.2.0). Un test de Wilcoxon pour séries appariées a été utilisé pour comparer les moyennes de densité avant et après préparation anthropologique. La limite de significativité p était fixée à 0,05.

3- Résultats

Expérience 1

Analyse de l'effet de l'individu sur les faux départs

Il a été effectué une comparaison au microscope de la largeur minimale du faux départ et des caractéristiques qualitatives entre les individus (60 lésions pour l'individu A vs 60 lésions pour l'individu B). Il n'a pas été retrouvé de différence significative dans la largeur minimale des faux départs ($p=0,580$, test de Wilcoxon, série

indépendante). Le test exact de Fisher n'a pas montré de différence significative en ce qui concerne les caractéristiques morphologiques entre les deux individus. On notera pour les lésions produites sur l'individu B, trois lésions présentant un étranglement des murs à mi-hauteur (murs en forme de sablier).

Analyse de l'impact du temps de préparation sur les faux départs

Les résultats de la comparaison microscopique des faux départs qui ont subi des temps de préparation différents sont présentés dans le tableau 8 et 9.

Aucune différence significative n'a été observée lors de la comparaison des trois groupes de temps pour la largeur minimale du faux départ ($p=0,568$) et pour les caractéristiques morphologiques.

	T1 (5 jours)	T2 (8 jours)	T3 (12 jours)
Largeur (moyenne)	0,55	0,55	0,55
Min-max	0,53-0,60	0,48-0,63	0,50-0,63
Sd	0,02	0,03	0,03
Test de Kruscal wallis :	p = 0,568		

Tableau 8 : Comparaison des largeurs des faux départs en fonction du temps de préparation

	T1 (n=40)	T2 (n=40)	T3 (n=40)
Murs			
Droits	40	38	39
Zone étroite au milieu	0	2	1
<i>p (Fisher test) : 0,772</i>			
Stries			
Droites	40	40	40
Profil			
Concave	40	40	40
Scratches			
Présents	1	2	3
Absents	39	38	37
P (Fisher test) : 0,870			

Tableau 9 : Comparaison des critères morphologiques observés sur les faux départs en fonction du temps de préparation

Variabilité intra et inters observateurs

En ce qui concerne les mesures, aucune différence significative intra-observateurs ($p > 0,05$, Kruskal Wallis) et inter-observateurs ($p > 0,05$, Wilcoxon pour séries appariées) n'a été retrouvée.

La concordance intra et inter-observateurs de l'analyse morphologique était parfaite.

Expérience 2

Pour les os de porc, la comparaison des mesures de densité corticale obtenues avant et après la préparation anthropologique, n'a pas retrouvé de différence significative (Tableau 8).

Les résultats sont détaillés dans l'Annexe 1.

Os de porc (fémurs)	Avant préparation	Après préparation	p (test de Wilcoxon)
1	1626,63	1672,39	0,059
2	1615,38	1601,54	0,646
3	1480,36	1481,71	0,959
4	1580,35	1632,01	0,114
5	1657,33	1672,02	0,386
6	1550,96	1543,95	0,799

Os de porc (humérus)	Avant préparation	Après préparation	p (test de Wilcoxon)
7	1601,55	1596,11	1
8	1619,62	1621,95	0,878
9	1651,04	1662,16	0,508
10	1562,22	1595,74	0,093
11	1614,67	1618,77	0,799
12	1553,58	1572,95	0,285

Tableau 10 : Comparaison des moyennes de densité osseuse (os de porc) obtenues avant et après préparation anthropologique (10 mesures ont été réalisées pour chaque moyenne de densité osseuse), avec valeur p obtenue par le test de Wilcoxon

De même pour les os humains, il n'a pas été retrouvé de différence significative lors de la comparaison des mesures de densité corticale, obtenues avant et après préparation anthropologique (Tableau 9). Les résultats sont détaillés dans l'Annexe 2.

Os humains (fémurs)	Avant préparation	Après préparation	p (test de Wilcoxon)
1	1296,79	1298,07	0,959
2	1361,19	1382,45	0,203

Os humains (humérus)	Avant préparation	Après préparation	p (test de Wilcoxon)
3	1493,56	1531,8	0,169
4	1457,66	1431,65	0,386

Tableau 11 : Comparaison des moyennes de densité osseuse (os humain) obtenues avant et après préparation anthropologique, (10 mesures ont été réalisées pour chaque moyenne de densité osseuse), avec valeur p obtenue par le test de Wilcoxon

4- Discussion

De manière générale en anthropologie, le retrait des parties molles entourant l'os est nécessaire et passe par une étape essentielle, la préparation anthropologique. Nous avons vu qu'il existe plusieurs méthodes de préparation anthropologique, mais qu'aucune n'apparaît idéale (King 2015, Hush 2021). Les études expérimentales qui étudient les traces laissées sur l'os par les instruments utilisent la préparation anthropologique avant (Lynn 2009, Freas 2010, Love 2013, 2014, Capuani 2014, Nogueira 2016, Pelletti 2017, Nogueira 2018, Martlin 2020) ou après le processus de création des lésions osseuses (Berger 2018, Norman 2018, Alsop 2021).

Dans les travaux présentés dans ce manuscrit, la macération dans l'eau chauffée à 85°C a été choisie, car elle s'avère simple d'utilisation, peu coûteuse, et parmi celles qui altèrent le moins la surface osseuse (King 2015). Il a été choisi de compléter la réalisation de la préparation anthropologique avant la création des lésions par scie, dans le but d'une meilleure reproductibilité expérimentale dans le processus de création des lésions (Martlin 2020).

Ici, l'objectif était d'approfondir l'étude de l'influence de la préparation anthropologique par macération dans l'eau à 85°C, sur la surface et la structure osseuse. En effet, les conséquences de la température sur l'os ne sont pas entièrement clarifiées (Solari 2013, Petrovic 2019). Il a pourtant été souligné dans les travaux de Solari (2013) et Petrovic (2019), que d'un point de vue archéologique et anthropologique, il était très important de discerner comment les processus de cuisson modifient la structure osseuse, au niveau d'observations macroscopiques et microscopiques (Solari 2013, Petrovic 2019).

Dans un premier temps, le travail a consisté à identifier si la durée de macération de l'os dans l'eau chauffée à 85°C avait un impact quant à l'analyse microscopique des

caractéristiques diagnostiques habituellement recherchées dans les faux départs produits par des scies. Trois temps différents de préparation (5 jours, 8 jours, 12 jours pour une durée de chauffage de 6 heures par jour) ont été appliqués à des échantillons constitués de quatre fémurs humains. 120 faux départs ont ensuite été créés à l'aide d'une scie à main (scie à refendre, avoyage ondulé, TPI 32). Il n'a pas été retrouvé de différence significative dans l'identification des caractéristiques diagnostiques, quel que soit le temps de préparation anthropologique. Au bout de 5 jours des parties molles pouvaient être persistantes sur l'os, au bout de 8 jours l'ensemble des parties molles était retiré. Dans la pratique, un temps de préparation anthropologique selon cette technique au-delà de 8 jours pour des échantillons similaires n'apparaît donc pas indiqué.

Ces résultats sont concordants avec des travaux réalisés antérieurement concernant la recherche de modifications de la surface osseuse résultant de la préparation anthropologique, même s'il faut noter que la préparation anthropologique utilisée dans ces études n'était pas tout à fait la même que celle présentée dans nos travaux ; Pétrovic (2019) n'avait pas retrouvé de différence significative entre la surface osseuse des os métatarsiens de bovins bouillis (chauffés à 100°C durant 1 heure) et bruts, à partir de l'observation au MEB. Bosch (2011) ne retrouvait pas non plus de modification majeure chez des os humains bouillis à 100°C durant des temps différents (2h, 4h, 6h). Il notait cependant à l'observation au MEB, un effet de lissage de la surface osseuse qui était net au bout de 4 heures. Au contraire, King (2015) retrouvait lors des observations au MEB, l'apparition d'un discret écaillage de la surface lors de la préparation de côtes de porc dans de l'eau chauffée à 75°C, et cet écaillage était un peu plus marqué à 100°C (durée non précisée). Hush (2021) n'a pas retrouvé de changement de surface (avec observations réalisées au stéréomicroscope, MEB, microscopie à fluorescence et micro-CT) après avoir chauffé à 100°C au micro-ondes des côtes de porc pendant 5 heures.

Les résultats présentés ici devront être complétés par l'analyse des faux départs dans les mêmes conditions de préparation anthropologique, mais en réalisant les lésions avant l'étape de macération dans l'eau chaude, cela pour se rapprocher au mieux de la réalité d'un cas médico-légal. Certaines études ont tenté d'évaluer l'impact de l'exposition de l'os à des agents thermiques, sur des lésions osseuses laissées par des outils, quand les lésions étaient créées avant la préparation anthropologique. King (2015) retrouvait pour un chauffage à 75°C de côtes de porc (durée non précisée), une forme, des dimensions et une structure des marques de coupes au couteau déchiffrables mais avec des bords nettement émoussés, érodés lors de l'observation au MEB. Komo (2018) a étudié expérimentalement les marques de couteaux sur des côtes de porc avant et après préparation de type chauffage au micro-ondes. Il a retrouvé un facteur de rétrécissement moyen de 8,6 % concernant la distance mesurée entre les deux berges de la lésion, entre avant et après préparation. Dans des situations plus extrêmes avec l'exposition de l'os au feu (700°C pendant 3 heures), Waltenberger (2017) n'a pas identifié d'influence significative sur l'identification des marques de couteau sur des côtes de porc à l'aide du stéréomicroscope et du micro-CT. Alunni (2018) n'a pas retrouvé d'influence négative de la carbonisation sur les lésions produites sur l'os par les haches, et dans certains cas, la carbonisation améliorait les caractéristiques observées. Robbins (2015) et Marciniak (2009) arrivaient aux mêmes conclusions concernant l'influence du feu sur l'analyse des marques de scie produites sur de l'os de porc, à l'aide d'observations au stéréomicroscope et au SEM. Marciniak (2009) précisait qu'il était possible d'identifier la classe de la scie en fonction des caractéristiques diagnostiques, au microscope.

Le second temps de ce travail a consisté à rechercher si la macération de l'os dans l'eau chaude exerçait une influence sur la densité osseuse mesurée en Unité Hounsfield. Pour cela, des tests ont été réalisés sur des os humains et de porcs, car le porc est souvent utilisé comme

substitut à l'os humain dans les études. Pour éviter des variations qui pourraient être dues aux individus, donc pour s'assurer d'une meilleure standardisation de notre étude, les os de porcs étudiés étaient issus d'une même portée. Tous les échantillons humains utilisés étaient issus d'un même individu pour les mêmes raisons. On notera que les épiphyses de porc étaient non fusionnées, ce qui signifie qu'ils étaient encore juvéniles. Alors que notre individu humain était âgé. Ces différences de maturité auraient pu avoir un impact majeur dans l'interprétation des résultats si l'objet de notre étude était de comparer la densité osseuse entre les individus humains et animaux. Ici l'influence devrait être plus modeste, cependant, en fonction de la maturité osseuse, il pourrait y avoir une réponse différente des tissus osseux soumis à des agents extérieurs (Petrovic 2019). On notera que lors du prélèvement des os humains seules les diaphyses ont été conservées, car les épiphyses n'étaient pas étudiées dans ce travail. Cependant, cela a entraîné des difficultés dans la conception du protocole, au moment où il a fallu définir avec précision la zone d'intérêt où les mesures de densité allaient être effectuées.

Dans cette étude préliminaire, il n'a pas été retrouvé de différence significative entre les mesures de densité réalisées avant et après préparation anthropologique par macération dans de l'eau chauffée à 85°C pendant 7 jours. Précédemment, les modifications des propriétés de l'os dues à la préparation anthropologique avaient été estimées par le module d'élasticité (capacité du matériau à se déformer puis reprendre sa forme initiale, varie avec le degré de minéralisation de l'os) et de dureté obtenue à l'aide de la méthode de nano-indentation de Vickers (capacité de résister à la pénétration, moyen d'estimer le degré de minéralisation du tissu osseux), et uniquement sur l'os bovin (Petrovic 2019). Petrovic (2019) indiquait qu'il est bien connu que l'os peut être considérablement ramolli par l'ébullition, mais que l'effet exact de la température sur les propriétés osseuses n'était pas encore complètement élucidé. Il avait montré qu'une heure d'ébullition à 100°C affectait de manière significative à la fois le module d'élasticité et la dureté de l'os, dans le sens de la diminution pour des métatarses de bœuf. Il

précisait que les circonstances concernant l'exposition à la chaleur pouvaient différer considérablement (par exemple faire chauffer à basse température pendant une période plus longue versus cuisson à sec) et exerceraient une influence différente sur les propriétés osseuses.

On peut se demander s'il existe une corrélation entre le module de dureté et d'élasticité de l'os (reflétant les propriétés mécaniques de l'os) et la densité osseuse (reflétant les propriétés structurales de l'os). On notera que des études archéologiques sur les dents (Elhennawy 2017), des études vétérinaires sur les sabots de buffle (Assis 2017), des études médicales sur les plaques d'athérosclérose (Cahalane 2018) ont comparé l'évolution de la densité mesurée en unité Hounsfield et de la dureté Vickers sur ces différents matériaux. Certains ont établi une corrélation, d'autres non. Concernant l'os cortical, à ma connaissance, il n'a pas été réalisé d'étude recherchant une corrélation entre l'évolution de la densité mesurée en unité Hounsfield et de la dureté Vickers.

Les résultats préliminaires de cette étude sur l'évolution de la densité corticale osseuse après que l'os ait été plongé dans un bain chaud, nécessitent d'être complétés par davantage de mesures. Cependant à ce stade, ils suggèrent que les travaux expérimentaux étudiant les lésions produites sur la corticale osseuse pourraient avoir recours dans leur protocole à la préparation anthropologique par macération de l'os à 85°C, sans risquer d'influencer leurs résultats. Les résultats obtenus pourraient intéresser d'autres disciplines, comme l'archéologique.

Discussion générale

Nous avons vu que l'anthropologie médico-légale a une place centrale dans la prise en charge des cas de démembrements criminels, qui bien que peu fréquents, font régulièrement partie de l'actualité et doivent être traités avec une grande technicité afin d'apporter des réponses qui serviront à l'enquête. Les investigations médico-légales doivent en particulier déterminer quels outils ont été utilisés, à partir de l'observation des traces osseuses laissées par le criminel. Les scies font partie des instruments les plus utilisés par les criminels. Un des défis que l'anthropologie médico-légale doit relever, est celui de déterminer la classe particulière de la scie utilisée. Des études publiées ces dernières années dans la littérature visent à relever ce défi, et nous avons vu que des hypothèses ont pu être émises quant aux classes de scie utilisées dans des cas médico-légaux. Cependant, nous devons être conscient que les connaissances dans ce domaine sont parcellaires. L'application à des cas réels à ce jour est très prudente pour ces raisons.

La littérature scientifique démontre que le faux départ est la zone la plus informative pour estimer la classe de scie ; c'est cette entaille qui résulte du fait que la lame de la scie ait commencé à mordre dans l'os puis ait rapidement dérapé. Ce type de traces se rencontre dans les cas médico-légaux. Pour ces raisons, je me suis focalisée sur l'étude des faux départs durant ma thèse. De l'expérience des scies utilisées expérimentalement au sein de mon laboratoire, plus les dents sont grosses, plus elles ont du mal à mordre dans l'os et plus il est probable que des faux départs soient créés. Ces faux départs ne doivent pas être confondus avec un autre type de trace osseuse, le scratch qui lui résulte d'un frottement superficiel de la lame et ne laisse aucune information utile pour déterminer la classe de la scie utilisée.

Dans un premier temps, je me suis intéressée aux caractéristiques diagnostiques laissées sur l'os par plusieurs scies peu étudiées dans la littérature. Les caractéristiques diagnostiques

retrouvées au sein des faux départs sont essentiellement la largeur minimale de la lésion, la forme du profil, la forme des murs, les stries sur le fond de la lésion et la présence ou l'absence d'îlots osseux.

La scie électrique autopsique oscillante a peu de chances d'être utilisée par un criminel car elle est plutôt destinée à un usage professionnel et ne se trouve pas dans les magasins de bricolage habituels. Cependant le médecin légiste peut lui en revanche créer accidentellement des faux départs avec cette scie, au moment de prélever des échantillons osseux à analyser ultérieurement en laboratoire, en particulier lorsqu'il s'agit de zones difficiles à échantillonner en raison de leur configuration anatomique. Il faut donc être capable de les identifier, pour cela il est essentiel de connaître les caractéristiques diagnostiques des faux départs produits avec cette scie. Une seule étude retrouvée dans la littérature traitait des faux départs produits par une scie autopsique (Symes 1992), malgré le fait que les lésions produites lors de l'autopsie peuvent entraîner des difficultés d'interprétation en cas de démembrement criminel. J'ai fait ce travail expérimental initial de description au stéréomicroscope des caractéristiques diagnostiques des faux départs produits avec une scie autopsique, qui a fait l'objet d'une publication dans *International Journal of Legal Medicine*. Dans les résultats obtenus, certaines caractéristiques attendues en rapport aux données de la littérature étaient présentes (profil convexe, alternance d'aspect large/étroit des murs, stries ondulées). Mais certaines particularités étaient inattendues : la morphologie des îlots osseux identifiés dans le fond de coupe variait énormément selon la profondeur de la lésion ; îlots osseux longitudinaux à moins de 0,52 mm de profondeur, de forme ovale au-delà de 0,52 mm. Ma première expérimentation de thèse s'est donc réalisée dans le prolongement de ce travail réalisé initialement, car j'ai voulu comprendre le mécanisme à l'origine de ce changement de morphologie des îlots osseux. Grâce à l'utilisation du microscope électronique à balayage, qui permet un grossissement et une profondeur de champ importants, j'ai pu confirmer les caractéristiques déjà décrites au

stéréomicroscope et ce matériel a permis d'expliquer pourquoi il y avait un changement de morphologie spectaculaire des îlots osseux. Le MEB a clairement montré que c'était la formation de bords ovales au niveau de l'îlot osseux (en raison de l'avoyage alterné, qui conduit également à des murs alternés et des stries ondulées dans le mouvement horizontal de la lame) et de la dépression verticale entre deux îlots osseux (qui n'est visible qu'au MEB et qui peut uniquement s'expliquer par le mouvement vertical de la lame) qui conduisait à la modification des îlots osseux longitudinaux en îlots osseux ovales.

Toujours dans l'optique de confronter les données existantes de la littérature sur les faux départs avec des outils peu étudiés dans la littérature et pourtant facilement disponibles dans les magasins de bricolage tous publics, je me suis intéressée à deux scies à main qui avaient la particularité de posséder un TPI élevé. J'ai décrit les caractéristiques diagnostiques grâce au stéréomicroscope. Une des scie (TPI 32) présentait les caractéristiques attendues conformément aux données de la littérature. La deuxième scie en revanche (TPI 15), n'a pas produit les caractéristiques attendues. Elle possédait notamment un profil (motif de fond de coupe) très particulier et qui n'avait jamais été décrit auparavant. La visualisation de ce profil rend donc l'identification de cette classe de scie très facile, bien que les autres critères diagnostiques auraient pu être source de d'erreur de classification. Ce type de profil n'ayant jamais été décrit précédemment dans la littérature, j'ai voulu confirmer ces observations à l'aide du MEB et comprendre leur mécanisme de formation. Il a permis de révéler que le motif du fond de coupe avec cette scie dépendait du mouvement de fin de coupe ; avec un coup actif mettant fin au mouvement, le fond de coupe présentait une « ondulation verticale », alors qu'avec un mouvement passif, le fond de coupe présentait un motif « d'ondulations verticales avec marches latérales ». Le stéréomicroscope n'avait pas permis de différencier ces deux motifs en raison de son faible grossissement. Les ondulations verticales du fond de coupe résultent du fait que l'introduction de chaque dent force la lame à sauter pour poursuivre son mouvement. Ce

phénomène appelé saut de dent avait déjà été décrit avec un avoyage ondulé (Symes 1992), mais jamais avec un avoyage alterné. Le mécanisme exact devant l'apparition de ces marches latérales est difficile à décrire et nécessite une enquête approfondie. On peut cependant émettre l'hypothèse d'une action supplémentaire de saut de dent en mouvement passif. En synthèse, si la fin de coupe est en mouvement passif, l'identification de la classe de la scie devrait être facile, mais en cas de fin de coupe en mouvement actif il y a un risque de d'erreur de classification, car les caractéristiques diagnostiques seraient concordantes avec un avoyage ondulé, alors que dans notre cas il s'agit d'un avoyage alterné. Il faut également être vigilant car les ondulations verticales avec marches latérales, bien que non décrites auparavant, pourraient cependant se rencontrer avec d'autres cas. En conclusion, des confusions apparaissent possibles concernant les scies à TPI élevé, lorsque l'on confronte les caractéristiques diagnostiques qu'elles laissent sur l'os avec les données de la littérature.

Les scies alternatives oscillantes électriques ont la particularité de posséder les mêmes types de lames que les scies à main. Il est donc indispensable d'un point de vue expertal de pouvoir distinguer ces deux types de scies à partir des traces osseuses. Pour cette raison, j'ai décidé de comparer les faux départs produits par des lames de scie alternative oscillante électrique et des scies à main, aux caractéristiques similaires. Trois lames de scie alternative et deux scies à main ont été utilisées, et deux groupes ont été créés en fonction des similarités de lame. La largeur minimale des faux départs était toujours plus importante avec les lames de scie alternative oscillante par rapport à celles des faux départs obtenus avec une scie à main aux caractéristiques diagnostiques similaires. Les lames de scie alternative oscillante pouvaient donc être confondues avec une scie à main avec des dents plus grandes. Ce fait était lié à l'épaisseur de la lame et pas nécessairement au mouvement rapide d'aller / retour de la lame. En effet, l'épaisseur des lames de scie électrique est supérieure à celle des scies à main, notamment pour des TPI faibles (grandes dents), pour des raisons de sécurité. Pour clarifier

cette confusion potentielle, il semble intéressant d'incorporer d'autres caractéristiques diagnostiques comme le saut de dent au fond de la lésion ou les empreintes de dents que l'on peut retrouver dans le fond de la lésion, et qui permettent habituellement d'obtenir des informations sur le TPI. Cependant ces caractéristiques n'étaient pas visibles dans les échantillons analysés. La forme des profils ainsi que la forme des murs était très déroutante, avec beaucoup de variations au sein des faux départs produits par les lames de scie alternative oscillante, entraînant un risque de mauvaise classification. Les stries sur le fond du faux départ et les îlots osseux donnaient des résultats plus uniformes. On peut supposer que le mouvement rapide d'aller-retour de la lame et une petite variation du mouvement de l'opérateur (angle, force) pourraient être suffisants pour entraîner des variations notables des caractéristiques diagnostiques des faux départs. En conclusion, l'on peut souligner que les faux départs variaient considérablement dans ce travail lorsqu'ils étaient produits avec des lames de scie alternative oscillante et qu'ils pouvaient conduire à une classification erronée de la classe de la scie. De plus, aucun critère n'a été retrouvé pour différencier les lames de scie alternative oscillantes et les scies à main.

L'ensemble des résultats obtenus dans cette partie expérimentale démontrent que nous devons être prudents lors de l'estimation de la classe de la scie à partir d'un faux départ dans un cas médico-légal.

Dans les travaux expérimentaux présentés ci-dessus, le protocole utilisait de l'os préparé dans de l'eau chauffée à 85°C afin de retirer les parties molles. Les faux départs ont été réalisés après finalisation de la préparation anthropologique pour obtenir une meilleure reproductibilité des observations. Dans une seconde partie expérimentale, j'ai voulu estimer l'influence de cette préparation anthropologique sur l'os et pour cela j'ai utilisé deux protocoles. Le premier consistait à identifier si la durée de macération dans l'eau chaude exerçait une influence sur

l'analyse microscopiques des caractéristiques diagnostiques des lésions osseuses produites par les scies après préparation. Il n'a pas été retrouvé de différence significative dans l'identification des caractéristiques diagnostiques, quel que soit le temps de macération de l'os humain (5 jours, 8 jours et 12 jours). Le second temps consistait à rechercher une modification des propriétés de l'os par l'étude de la densité osseuse mesurée par tomодensitométrie avant et après préparation anthropologique. Ces mesures ont été réalisées à la fois sur de l'os humain mais également sur de l'os de porc car l'os de porc est régulièrement utilisé comme substitut à l'os humain. De plus, il s'avère que l'utilisation de l'os de porc pourrait avoir l'avantage de permettre l'utilisation d'individus provenant d'une même souche ce qui assurerait une meilleure reproductibilité des observations expérimentales. Dans l'étude préliminaire présentée ici, il n'a pas été retrouvé de différence significative entre les mesures réalisées avant et après préparation anthropologique par macération dans l'eau chauffée à 85° pendant 7 jours. A ce stade, les résultats suggèrent que les travaux expérimentaux étudiant les lésions produites sur la corticale osseuse pourraient avoir recours dans leur protocole à la préparation anthropologique par macération de l'os à 85°, sans risquer d'influencer leurs résultats.

Conclusion et perspectives

Les caractéristiques diagnostiques des faux départs produits par différents types de scie peu étudiées (scie électrique autopsique oscillante, scies à main à TPI élevé, lames de scies électriques alternatives oscillantes) ont été analysées et ont été confrontées aux données actuelles de la littérature.

L'influence de la préparation anthropologique par macération de l'os à 85°C a également été explorée à l'aide de la stéréomicroscopie (influence sur l'analyse des faux départs produits sur des os humains) et de la tomодensitométrie (recherche de modifications structurelles par l'étude de l'évolution de la densité osseuse sur des os humains et de porcs). Les résultats préliminaires suggèrent que les travaux expérimentaux étudiant les lésions produites sur la corticale osseuse pourraient avoir recours dans leur protocole à ce type de préparation sans risquer d'influencer leurs résultats.

Les résultats en stéréomicroscopie devront être complétés par l'analyse des faux départs dans les mêmes conditions de préparation anthropologique, mais en réalisant les lésions avant l'étape de macération dans l'eau chaude, cela pour s'approcher au mieux de la réalité d'un cas médico-légal.

Les résultats tomодensitométriques étudiant l'évolution de la densité corticale osseuse après que l'os ait été plongé dans un bain chaud nécessitent d'être complétés par davantage de mesures. Ces résultats rentrent dans le champ de l'étude des biomatériaux. Ils pourraient intéresser d'autres disciplines comme l'archéologie qui étudie les traces osseuses laissées par les outils mais également les modifications produites par la cuisson sur les os, afin de mieux comprendre les modes de vie dans les temps anciens (outils, cannibalisme).

Il serait intéressant de comparer la densité entre les os humains et de porcs, afin d'obtenir des arguments supplémentaires permettant de juger de la validité du modèle animal pour l'étude

expérimentale des lésions produites sur la corticale osseuse. En effet, le comportement mécanique de l'os en tant que matériau doit être fondamental dans le choix du substitut dans les études sur les marques de coupe, et sur les traumatismes de manière plus générale. Ces expérimentations devraient cependant utiliser de l'os de porc adulte.

Les travaux expérimentaux présentés ici ont été réalisés sur de l'os pour lequel les parties molles avaient été préalablement retirées. Dans le futur, les études sur les traces de scie devront comparer les lésions produites sur de l'os recouvert de parties molles et sur de l'os préparé, pour se rapprocher au maximum des conditions réelles et pour déterminer si les observations expérimentales sur os préparé peuvent être directement mises en parallèle avec les cas médico-légaux, ce qui est peu documenté à ce jour dans la littérature scientifique.

Bibliographie

Adams BJ, Rainwater CW, Yim AD, Alesbury HS. A retrospective study of intentional body dismemberment in New York city: 1996-2017. *J Forensic Sci* 2019 64(4):1012-1016.

Andahl RO. The examination of saw marks. *J Forensic Sci* 1978 18(1-2): 31-46.

Alunni-Perret V, Muller-Bola M, Laugier JP, Lupi-Pégurier L, Bertrand MF, Staccini P, Bolla M, Quatrehomme G. Scanning electron microscopy analysis of experimental bone hacking trauma. *J Forensic Sci* 2005 50(4):796-801.

Alunni V, Nogueira L, Quatrehomme G. Macroscopic and stereomicroscopic comparison of hacking trauma of bones before and after carbonization. *Int J Legal Med*. 2018 132(2):643-648. doi: 10.1007/s00414-017-1649-8.

Alsop K, Baier W, Norman D, Burnett B, Williams MA. Accurate prediction of saw blade thicknesses from false start measurements. *Forensic Sci Int*. 2021 318:110602. doi: 10.1016/j.forsciint.2020.110602. Epub 2020 Nov 18. PMID: 33279765.

Andahl RO. The examination of saw marks. *J Forensic Sci* 1978 18(1-2):31-46.

Assis BM, Silva LAF, Lima CRO, Gouveia RF, Vulcani VAS, de Sant'Ana FJF, Rabelo RE. Microstructure and Hardness of Buffalo's Hoofs. *Anat Histol Embryol*. 2017 Oct;46(5):439-445. doi: 10.1111/ahe.12288. Epub 2017 Jul 31. PMID: 28762238.

Baier W, Norman DG, Warnett JM, Payne M, Harrison NP, Hunt NCA et al. Novel application of three-dimensional technologies in a case of dismember. *Forensic Sci Int* 2017 270: 139-145.

Bailey JA, Wang Y. Statistical analysis of kerf mark measurements in bone. *Forensic Sci Med Pathol* 2011 7:53-62.

Bello S.M., Parfitt S.A., Stringer C. Quantitative micromorphological analyses of cut marks produced by ancient and modern handaxes, *J. Archaeol. Sci*. 2009 36 (9):1869-1880.

Berger JM, Pokines JT, Moore TL. Analysis of Class Characteristics of Reciprocating Saws. *J Forensic Sci.* 2018 Nov;63(6):1661-1672. doi: 10.1111/1556-4029.13759. Epub 2018 Feb 21. PMID: 29464701.

Bernardi C, Nogueira L, Alunni V, Quatrehomme G. Analysis of false start bone lesions produced by an electrical oscillating autopsy saw. *Int J Legal Med.* 2020 134(2):543-551. doi: 10.1007/s00414-019-02008-1. Epub 2019 Feb 13. PMID: 30758714.

Bilge Y, Kedici S, Alakoç YD, Ulküer KU, Ilkyaz YY. The identification of a dismembered human body: a multidisciplinary approach. *Forensic Sci Int* 2003 137:141-146.

Black S, Rutty G, Hainsworth S, Thomson G. *Criminal dismemberment: forensic and investigative analysis.* Boca Raton, FL: CRC Press, 2017.

Blackburn G., *The illustrated Encyclopedia of Woodworking Handtools, Instruments, and Devices.* New York, NY, Simon and Shuster, 1974.

Boivin G, Bala Y, Doublier A, Farlay D, Ste-Marie LG, Meunier PJ et al. The role of mineralization and organic matrix in the microhardness of bone tissue from controls and osteoporotic patients. *Bone* 2008 43 :532–8. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2008.05.024>.

Bonney H, Goodman A. Validity of the use of porcine bone in forensic cut mark studies. *J Forensic Sci* 2021 66(1):278-284. doi: 10.1111/1556-4029.14599. Epub 2020 Oct 20. PMID: 33080061.

Bonte W. Tool marks in bones and cartilage. *J Forensic Sci* 1975 20(2):315–325.

Bosch P, Alemán I, Moreno-Castilla C, Botella M. Boiled versus un-boiled, a study on neolithic and contemporary human bones. *J Archaeological Sci* 2011 38: 2561–2570.

Brion M, *Les Médecins XVe – XVIIIe siècle.* L'Académie française, 2015.

Bschor F, Smerling M, Drews H, Leichenzerstückelung nach Tötung, *Arch. Kriminol* 1970 146: 127–140.

Cahalane RM, Barrett HE, O'Brien JM, Kavanagh EG, Moloney MA, Walsh MT. Relating the mechanical properties of atherosclerotic calcification to radiographic density: A

nanoindentation approach. *Acta Biomater.* 2018 Oct 15;80:228-236. doi: 10.1016/j.actbio.2018.09.010. Epub 2018 Sep 13. PMID: 30218776.

Capuani C, Guilbeau-Frugier C, Delisle MB, Rougé D, Telmon N. Epifluorescence analysis of hacksaw marks in bone: highlighting unique individual characteristics. *Forensic Sci Int* 2014 241: 195-202.

Capuani C, Rouquette J, Payré, Moscovici J, Delisle MB, Telmon N et al. Deciphering the elusive nature of force sharp trauma using epifluorescence macroscopy: a comparison study multiplexing classical imaging approaches. *Int J Leg Med* 2013 127:169-176.

Cerutti E, Magli F, Porta D, Gibelli D, Cattaneo C. Metrical assessment of cutmarks on bone: is size important? *Leg Med* 2014 16: 208-213.

Cerutti E, Spagnoli L, Araujo N, Gibelli D, Mazzarelli D, Cattaneo C . Analysis of cut marks on bone: can light microscopy be of any help? *Am J Forensic Med Pathol* 2016 37(4): 248-254.

Clavert P, Bouchaïb C, Sommaire C, Flurin PH, Hardy P, Observe-t-on une modification de la densité osseuse du tubercule majeur après 70ans ? *Revue de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique*, 2014 100(1) ; 94-96. <https://doi.org/10.1016/j.rcot.2013.11.002>.

Cunha E, editors. *Dismemberments: perspectives in forensic anthropology and legal medicine*. San Diego, CA: Academic Press, 2018, pp. 155–63.

Currey JD. The design of mineralised hard tissues for their mechanical functions. *J Exp Biol* 1999 202 :3285–94.

Damilakis J, Maris TG, Karantanas AH. An update on the assessment of osteoporosis using radiologic techniques. *Eur Radiol* 2007;17: 1591–602.

Defleur A, Desclaux E. Impact of the last interglacial climate change on ecosystems and Neanderthals behavior at Baume Moula – Guercy, Ardèche, France. *J archaeological scie*. 2019.

Delabarde T, Cannet C, Raul JS, Géraut A, Taccoen M, Ludes B. Bone and soft tissue histology: a new approach to determine characteristics of offending instrument in sharp force injuries. *Int J Legal Med* 2017. doi : 10.1007/s00414-017-1613-7.

Delabarde T, Ludes B. Missing in Amazonian jungle: a case report of skeletal evidence for dismemberment. *J Forensic Sci* 2010 55(4) :1105-1110.

DenOtter TD, Schubert J. Hounsfield Unit, Treasure Island (FL) : StatPearls Publishing 2022.

DiNuno N, Costantinides F, Vacca M, Di Nunno C. Dismemberment: a review of the literature and description of 3 cases. *Am J Forensic Med Pathol* 2006 27(4):307-312.

Dogan KH, Demirci S, Deniz I, Erkol Z. Decapitation and dismemberment of the corpse: A matricide case. *J Forensic Sci* 2010 55(2): 542-545.

Elhennawy K, Manton DJ, Crombie F, Zaslansky P, Radlanski RJ, Jost-Brinkmann PG, Schwendicke F. Structural, mechanical and chemical evaluation of molar-incisor hypomineralization-affected enamel: A systematic review. *Arch Oral Biol.* 2017 Nov;83:272-281. doi: 10.1016/j.archoralbio.2017.08.008. Epub 2017 Aug 19. PMID: 28843745.

Evans GP, Lebow M. Regional differences in some of the physical properties of the human femur. *J Appl Physiol.* 1951 3(9):563–72. <https://doi.org/10.1152/jappl.1951.3.9.563>.

Fais P, Giraud C, Viero A, Miotto D, Bortolotti F, Tagliaro F, Montisci M, Cecchetto G. Micro computed tomography features of laryngeal fractures in a case of fatal manual strangulation, *Leg. Med.* 2016 18: 85–89.

Fenton TW, Birkby WH. Cornelison J, Afastandsafenon-bleachingmethodfor forensic skeletal preparation, *J. Forensic Sci* 2003 48: 274–276.

Freas LE. Assessment of wear-related features of the kerf wall from saw marks in bone. *J Forensic Sci* 2010 55(6):1561-1569.

Foucault. Surveiller et Punir. Naissance de la Prison, 1975.

Geberth, Vernon J. "LUST MURDER: The Psychodynamics of the Killer and the Psychosexual Aspects of the Crime. *Law and Order Magazine* 1991 39 (6.)

Gibelli D, Mazzarelli D, Porta D, Rizzi A, Cattaneo C. Detection of metal residues on bone using SEM-EDS –Part II: Sharp force injury. *Forensic Sci Int* 2012 223:91-96.

Giraud C, Giorgetti A, Martinuzzo L, Bisceglia M, Moschi S, Fais P, Weber M, Quaia E, Viel G, Cecchetto G. Intra-class and inter-class tool discrimination through micro-CT analysis of false starts on bone, *Int. J. Legal Med.* 2019 1023–1032.

Guilbeau MG. The analysis of saw marks in bone [dissertation]. University of Tennessee, Knoxville 1989.

Husch C, Berner M, Goldammer H, Lichtscheidl-Schultz I. Technical note: A novel method for gentle and non-destructive removal of flesh from bones. *Forensic Sci Int* 2021 9 (323):110778. doi: 10.1016/j.forsciint.2021.110778. Epub ahead of print. PMID: 33864993.

Jackson A, Day D. Collins complete wood worker's manual. London: Harper Collins Publisher, 2005.

Kettner M, Potente S, Schulz B, Knauff P, Schmidt P.H, Ramsthaller F. Analysis of laryngeal fractures in decomposed bodies using microfocus computed tomography (mfCT), *Forensic Sci Med. Pathol* 2014 10 (4): 607–612.

King C, Birch W. Assessment of maceration techniques used to remove soft tissue from bone in cut mark analysis. *J Forensic Sci* 2015 60: 124–135.

Komo L, Grassberger M. Experimental sharp force injuries to ribs: Multimodal morphological and geometric morphometric analyses using micro-CT, macro photography and SEM. *Forensic Sci Int* 2018 288:189-200. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.04.048. Epub 2018 May 1. PMID: 29758447.

Konopka T, Strona M, Bolechala F, Kunz J. Corpse dismemberment in the material collected by the Department of Forensic Medicine, Cracow, Poland. *Leg Med (Tokyo)* 2007 9(1):1–13.

Madea B. Dismemberment with unusual preservation of cadaver parts. *Arch Kriminol* 1994 193 (3-4): 72- 78.

Landis JR, Koch GG. The measurement of observer agreement for categorical data. *Biometrics* 1977 33(1) : 159-174.

Love JC, Derrick SM, Wiersema JM. Independent validation test microscopic saw mark analysis. Harris County Institute of Forensic Sciences. 2013. National Institute of Justice Award No. 2010-DN-BX-K235. Houston, TX.

Love JC, Derrick SM, Wiersema JM, Peters C. Microscopic saw marks analysis: An empirical approach. *J Forensic Sci* 2015 60(S1): S21-S26.

Louhelainen J, Miller D. Forensic Investigation of a Shawl Linked to the “Jack the Ripper” Murders. *J Forensic Sci* 2019 65.

Lynn KS, Fairgrieve SI. Macroscopic analysis of axe and hatchet trauma in fleshed and defleshed mammalian long bones. *J Forensic Sci* 2009a 54(4):786-792.

Madea B, Driever F. Cadaver dismember by chain saw. *Arch Kriminol* 2000 205 (3-4): 75-81.

Mairs S, Swift B, Ruddy GN. Detergent: an alternative approach to traditional bone cleaning methods for forensic practice. *A J Forensic Med Pathol* 2004 25(4):276-284.

Manitara O. Osiris La légende des dieux. 2013.

Marciniak SM. A preliminary assessment of the identification of saw marks on burned bone. *J Forensic Sci* 2009 54(4):779-785.

Martlin B, Rando C. Reflectance Transformation Imaging (RTI) for the Documentation of Saw Mark Characteristics. *J Forensic Sci* 2020 65(5):1692-1697. doi: 10.1111/1556-4029.14330. Epub 2020 Apr 21. PMID: 32315456

Mirsky EC, Einhorn TA. Bone densitometry in orthopaedic practice. *J Bone Joint Surg* 1998;80:1687–98.

Moore G. Correlation between chainsaw type and tool marks in sectioned bone [dissertation]. University of Boston, Massachusetts, 2014.

Nogueira L, Alunni V, Bernardi C, Quatrehomme G. Saw marks in bones: A study of "secondary features" of false start lesions. *Forensic Sci Int*. 2018 Sep;290:157-161. doi: 10.1016/j.forsciint.2018.06.023. Epub 2018 Jun 22. PMID: 30048881.

Nogueira L, Quatrehomme G, Rallon C, Adalian P, Alunni V. Saw marks in bones: A study of 170 experimental false start lesions. *Forensic Sci Int*. 2016 Nov;268:123-130. doi: 10.1016/j.forsciint.2016.09.018. Epub 2016 Sep 28. PMID: 27721038.

Norman DG, Watson DG, Burnett B, Fenne PM, Williams MA. The cutting edge - Micro-CT for quantitative toolmark analysis of sharp force trauma to bone. *Forensic Sci Int* 2018 283:156-172.

Öhman C, Zwierzak I, Baleani M, Viceconti M. Human bone hardness seems to depend on tissue type but not on anatomical site in the long bones of an old subject. *Proc Inst Mech Eng H* 2013 227(2):200–6. <https://doi.org/10.1177/0954411912459424>.

Olbrycht J. Ein Fall von krimineller Leichenzerstückelung, Beitr. Gerichtl Med 1932 12: 17–54.

Owsley DW, Mann RW, Chapman RE, Moore E, Cox WA. Positive identification in a case of intentional extreme fragmentation. *J Forensic Sci* 1993 38(4) :985-96.

Pelletti G, Cecchetto G, Viero A, Fais P, Weber P, Miotto D et al. Accuracy, precision and inter-rater reliability of micro CT analysis of false start bones. A preliminary validation study. *Leg Med* 2017b 29: 38-43.

Pelletti G, Viel G, Fais P, Viero A, Visentin S, Miotto D, Montisci M, Cecchetto G, Giraud C. Micro-computed tomography of false starts produced on bone by different hand-saws. *Leg Med* 2017a 26: 1-5.

Petrovic BB, Kojić S, Perić TO, Šipovac M, Lazarević J, Stefanović S, Stojanović G. Surface characterization of the raw and cooked bovine cortical metatarsal bone. *Acta Bioeng Biomech*. 2019;21(1):13-21. PMID: 31197288.

Porta D, Amadasi A, Cappella A, Mazzarelli D, Magli F, Gibelli D, Rizzi A, Picozzi M, Gentilomo A, Cattaneo C. Dismemberment and disarticulation: A forensic anthropological approach. *J Forensic Legal Med* 2016 38: 50-57.

Pounder DJ, Sim LJ. Virtual casting of stab wounds in cartilage using micro-computed tomography. *Am J Forensic Med Pathol* 2011 32 (2): 97–99.

Püschel K, Koops E. Dismemberment and mutilation (2). Arch Kriminol 1987 180 (3-4): 88-100.

Quatrehomme G, Alluni V, Martrille L, Beauthier JP, Approche médico-légale des traumatismes osseux, dans Traité de médecine légale – 3^{ème} édition, Jean-Pol Beauthier, editeur : de boeck supérieur, 2022.

Quatrehomme G. Traité d'Anthropologie médico-légale. Louvain-la-Neuve : De Boeck Supérieur, 2015.

Quatrehomme G. A strange case of dismemberment. In Brickley MB et Ferllini R, Forensic Anthropology: Cases studies from Europe. Springfield: Charles C. Thomas Publisher, Ltd, 2007, pp. 99-119.

Rainwater CW. Three modes of dismemberment: disarticulation around the joints, transection of bone via chopping, and transection of bone via sawing. In: Passalacqua NV, Rainwater CW, editors. Skeletal trauma analysis: case studies in context. West Sussex: Wiley Blackwell, 2015, pp. 222–45.

Rajs I, Lundström M, Broberg M, Lidberg L, Lindquist O. Criminal mutilation of the human body in Sweden – A thirty-year medico-legal and forensic psychiatric study. J Forensic Sci 1998 43(3):563-580.

Reichs KJ. Postmortem dismemberment: Recovery, analysis and interpretation. In Reichs KJ, Forensic Osteology, 2nd ed. Springfield: Charles C. Thomas Pub, 1998, pp. 353-388.

Reuhl J, Bratzke H. Death caused by a chain saw-homicide, suicide or accident? A case report with a literature review (with 11 illustrations). Forensic Sci Int 1999 105:45-49.

Rho JY, Hobatho MC, Aschman RB. Relation of mechanical properties to density and CT numbers in human bone. Med Eng Phys 1995;17:347–55.

Robbins SC, Fairgrieve SI, Oost TS. Interpreting the effects of burning on pre-incineration saw marks in bone. J Forensic Sci 2015 60 (S1): S182-S187.

Ross AH, Cunha E. Perspectives in Forensic Anthropology and Legal Medicine. London, Elsevier/Academic Press, 2019.

Rutty GN, Brough A, Biggs MJP, Robinson C, Lawes SDA, Hainsworth SV. The role of micro-computed tomography in forensic investigations. *Forensic Sci Int* 2013 225: 60-66.

Saville PA, Hainsworth, Rutty GN. Cutting crime: the analysis of the “uniqueness” of saw marks on bone. *Int J Legal Med* 2007 131: 349-357.

Simonsen KP, Rasmussen AR, Mathisen P, Petersen H, Borup F. A fast preparation of skeletal materials using enzyme maceration, *J Forensic Sci* 2011 56 (2): 480–484.

Solari A, Olivera D, Gordillo I, Bosh P, Fetter G, Lara VH, Novello O, Cook bones ? Method and practice for identifying bones treated at low temperature, *International Journal of Osteoarcheology* 2013 25: 426–440. <https://doi.org/10.1002/oa.2311>

Steadman DW, DiAntonio LL, Wilson JJ, Sheridan K.E, Tammariello SP. The effects of chemical and heat maceration techniques on the recovery of nuclear and mitochondrial DNA from bone. *J Forensic Sci* 2006 51: 11–17.

Symes SA. Morphology of saw marks in human bone: identification of class characteristics [dissertation]. University of Tennessee., Knoxville, 1992.

Symes SA, Berryman HE, Smith OC. Saw marks in bone: introduction and examination of residual kerf contour. In Reichs KJ, ed. *Forensic Osteology*, 2nd ed. Springfield: Charles C. Thomas, 1998, pp. 389-409.

Thali MJ, Braun M, Brueschweiler W, Dirnhofer R. “Morphological imprint”: determination of the injury-causing weapon from the wound morphology using forensic 3D/CAD-supported photogrammetry, *Forensic Sci Int* 2003 132 (3): 177–181, doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0379-0738\(03\)00021-5](http://dx.doi.org/10.1016/S0379-0738(03)00021-5).

Triaca A, Mahon TJ, Myburgh J. A comparison of different maceration techniques on burnt remains. *J Forensic Sci*. 2022 67(2):676-682. doi: 10.1111/1556-4029.14939. Epub 2021 Nov 7. PMID: 34747030.

Uhre ML, Eriksen AM, Simonsen KP, Rasmussen AR, Hjort BB, Lynnerup N. Enzymatic maceration of bone: a gentler technique than boiling. *Med Sci Law* 2015 55: 90–96.

Waltenberger L, Schutkowski H. Effects of heat on cut mark characteristics. *Forensic Sci Int* 2017 271:49–58. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.12.018>.

Wang XJ, Chen XB, Hodgson PD, Wen CE. Elastic modulus and hardness of cortical and trabecular bovine bone measured by nanoindentation. *Trans Nonferrous Met Soc* 2006 16:744–748.

Weaver JK. The microscopic hardness of bone. *J Bone Joint Surg Am* 1966 48(2):273–88.

Wilke-Schalhorst N, Schröder AS, Püschel K, Edler C. Criminal corpse dismemberment in Hamburg, Germany from 1959 to 2016. *Forensic Sci Int*. 2019 300:145-150. doi: 10.1016/j.forsciint.2019.04.038. Epub 2019 May 8. PMID: 31108375.

Wu WW, Zhu Y, Chen W, Li S, Yin B, Wang J, et al. Bone hardness of different anatomical regions of human radius and its impact on the pullout strength of screws. *Orthop Surg* 2019 11(2):270–6. <https://doi.org/10.1111/os.12436>.

Annexe 1

Densités osseuses obtenues avant préparation des fémurs de porc

1	2	3	4	5	6
1627,2	1533,8	1458	1512	1616,7	1541,5
1633,4	1666,3	1505,5	1560,2	1616,7	1467,3
1677,6	1639,1	1424,2	1664,6	1681,7	1495,7
1627,2	1587,1	1428,1	1513	1661,1	1499,6
1634,4	1673	1509,6	1609,5	1631	1536,5
1588	1642,2	1506,2	1612,5	1639,7	1504
1556,6	1587,1	1461	1630,5	1699,4	1628,2
1673,7	1650,6	1505,5	1625,5	1670,7	1622,2
1627,2	1602,3	1531,5	1515,5	1683,6	1618,6
1621	1572,3	1474	1560,2	1672,7	1596

Densités osseuses obtenues avant préparation des humérus de porc

7	8	9	10	11	12
1566	1602,1	1594,1	1611,6	1651	1512,5
1531	1589,6	1617,8	1557,8	1616,5	1485,2
1566	1594,8	1616,1	1558,2	1538,7	1589,5
1638,5	1633,6	1682,2	1558,1	1616,5	1583,8
1653,8	1663,5	1709,4	1508	1651	1629,2
1638,5	1636,6	1644,7	1611,6	1616,5	1521,3
1653,1	1551,3	1682,2	1585,3	1598	1555,6
1566	1562,8	1692,3	1497,8	1638	1562
1616,8	1663,5	1668,8	1575,6	1598	1583
1585,8	1698,4	1602,8	1558,2	1622,5	1513,7

Densités osseuses obtenues après préparation des fémurs de porc

1	2	3	4	5	6
1684	1637,1	1503,2	1668,5	1687,8	1584
1716,5	1671,7	1503,2	1606,2	1679,8	1481,2
1698	1504	1487,4	1575,7	1650,9	1492,8
1630,7	1523,7	1357,3	1628,3	1663,6	1510,5
1588,2	1717,1	1454,7	1658,6	1674,6	1469,4
1630,8	1653,2	1523,5	1682,7	1660,5	1607,6
1792,1	1615,7	1487,4	1586,5	1688,2	1601
1650,2	1533,1	1542,7	1547,8	1665	1506
1685,6	1632,4	1452	1624,8	1674,2	1543,2
1647,8	1527,4	1505,7	1741	1675,6	1643,8

Densités osseuses obtenues après préparation des humérus de porc

7	8	9	10	11	12
1605,2	1619,3	1643,4	1592,5	1664,1	1599,2
1535,6	1665,5	1704,2	1526,2	1612,3	1579,5
1590	1582,6	1699,4	1578,9	1568	1561,6
1625,3	1594,6	1680,1	1568,5	1589,7	1595
1614,6	1606,5	1676,6	1629,3	1619	1561
1574,2	1623,3	1666	1727,5	1678,7	1632,1
1529,1	1686,3	1688,6	1616,4	1592	1597,2
1604,4	1593,8	1659	1567	1623	1493
1667,8	1568,4	1669,5	1596	1630,7	1519,3
1614,9	1679,2	1534,8	1555,1	1610,2	1591,6

Annexe 2

Densités osseuses obtenues avant préparation des fémurs humains

1	2
1371,3	1376,6
1337,6	1278,7
1237,3	1361,5
1308,5	1370,5
1231,3	1385
1473	1403,5
1231,8	1351,7
1308,5	1362,1
1231,3	1389
1237,3	1333,3

Densités osseuses obtenues avant préparation des humérus humains

3	4
1499,6	1483
1469,5	1432
1486,5	1453
1553,3	1432
1513,5	1499
1516,1	1483
1499,6	1472,8
1438	1418,3
1521,5	1432
1438	1471,5

Densités osseuses obtenues après préparation des fémurs humains

1	2
1298,7	1380,4
1331,7	1415,6
1284,3	1375
1209,3	1425,5
1268,4	1383
1321,3	1459,2
1434,4	1320,1
1339	1387,1
1284,3	1313,1
1209,3	1365,5

Densités osseuses obtenues après préparation des humérus humains

3	4
1423	1415,5
1544,6	1473,6
1669,2	1473,6
1586,4	1447,5
1485,6	1427,2
1544,6	1478,7
1423	1400,2
1544,6	1266,5
1579	1435
1518	1498,7

