



HAL
open science

Étude criminologique des morsures humaines : méthodes d'analyses tridimensionnelles des traces de morsure

Louise Ribere

► **To cite this version:**

Louise Ribere. Étude criminologique des morsures humaines : méthodes d'analyses tridimensionnelles des traces de morsure. Sciences du Vivant [q-bio]. 2022. dumas-03577124

HAL Id: dumas-03577124

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03577124>

Submitted on 16 Feb 2022

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.

U.F.R. D'ODONTOLOGIE

Année 2022

Thèse n°6

THESE POUR L'OBTENTION DU

**DIPLOME D'ETAT de DOCTEUR EN CHIRURGIE
DENTAIRE**

Présentée et soutenue publiquement

Par RIBERE Louise

Née le 29/05/1995 à REIMS

Le 20/01/2022

**Étude criminologique des morsures humaines : Méthodes d'analyses
tridimensionnelles des traces de morsure.**

Sous la direction de : Christophe BOU

Membres du jury :

Mme BOILEAU Marie-José
M. BOU Christophe
M. COUTANT Jean-Christophe
Mme. GOURGES Jane
M. BENALI Larbi

Président
Directeur
Assesseur
Rapporteur
Invité

Professeur des Universités
Maître de Conférences des Universités
Maître de Conférences des Universités
Assistante Hospitalo-Universitaire
Médecin Légiste

UNIVERSITE DE BORDEAUX

MAJ
01/11/2020

Président M. TUNON DE LARA Manuel
Directeur de Collège des Sciences de la Santé M. PELLEGRIN Jean-Luc

COLLEGE DES SCIENCES DE LA SANTE UNITE DE FORMATION ET DE RECHERCHE DES SCIENCES ODONTOLOGIQUES

Directrice Mme BERTRAND Caroline 58-01
Directeur Adjoint à la Pédagogie Mr DELBOS Yves 56-01
Directeur Adjoint – Chargé de la Recherche M. CATROS Sylvain 57-01
Directeur Adjoint – Chargé des Relations Internationales M. SEDARAT Cyril 57-01

ENSEIGNANTS DE L'UFR

PROFESSEURS DES UNIVERSITES

Mme	Caroline	BERTRAND	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Marie-José	BOILEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M	Sylvain	CATROS	Chirurgie orale	57-01
M	Raphaël	DEVILLARD	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Véronique	DUPUIS	Prothèse dentaire	58-01
M.	Bruno	ELLA NGUEMA	Sciences anatomiques et physiologiques - Biomatériaux	58-01
M.	Jean-Christophe	FRICAIN	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01

MAITRES DE CONFERENCES DES UNIVERSITES

Mme	Elise	ARRIVÉ	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Audrey	AUSSEL	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Cécile	BADET	Biologie Orale	57-01
M.	Etienne	BARDINET	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Michel	BARTALA	Prothèse dentaire	58-01
M.	Cédric	BAZERT	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Christophe	BOU	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Sylvie	BRUNET	Chirurgie buccale – Pathologie et thérapeutique	57-01
M.	Jacques	COLAT PARROS	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M.	Jean-Christophe	COUTANT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
M.	François	DARQUE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	François	DE BRONDEAU	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Yves	DELBOS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Emmanuel	D'INCAU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	FENELON	Chirurgie Orale	57-01
Mme	Elsa	GAROT	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Dominique	GILLET	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Olivia	KEROUREDAN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Jean-François	LASSERRE	Prothèse dentaire	58-01
M.	Yves	LAUVERJAT	Parodontologie	57-01
Mme	Odile	LAVIOLE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Javotte	NANCY	Odontologie pédiatrique	56-01

M.	Adrien	NAVEAU	Prothèse dentaire	58-01
M.	Jean-François	PELI	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
M.	Philippe	POISSON	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	Patrick	ROUJAS	Odontologie pédiatrique	56-01
M.	Johan	SAMOT	Biologie Orale	57-01
Mme	Maud	SAMPEUR	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Cyril	SEDARAT	Parodontologie	57-01
Mme	Noélie	THEBAUD	Biologie Orale	57-01
M.	Eric	VACHEY	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01

AUTRES ENSEIGNANTS

M.	Cédric	FALLA	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M.	François	ROUZÉ L'ALZIT	Prothèse dentaire	58-01

ASSISTANTS

M.	Bastien	BERCAULT	Chirurgie Orale	57-01
M.	Baptiste	BERGES	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Mathilde	BOUDEAU	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
Mme	Virginie	CHUY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
M	Pierre-Hadrien	DECAUP	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Laura	DONNET	Biologie Orale	57-01
Mme	Julia	ESTIVALS	Odontologie pédiatrique	56-01
Mr	Pierre-André	GUILLAUD	Parodontologie	57-01
Mme	Jane	GOURGUES	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mr	Louis	HUAULT	Sciences anatomiques et physiologiques	58-01
Mme	Mathilde	JACQUEMONT	Parodontologie	57-01
Mme	Clémence	JAECK	Prothèse dentaire	58-01
Mr	Aymeric	JOUBERT DU CELLIER	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mr	Jean-Baptiste	IRIBARREN	Dentisterie restauratrice et endodontie	58-01
Mme	Claudine	KHOURY	Prévention épidémiologie – Economie de la santé – Odontologie légale	56-02
Mme	Camille	LACAULE	Orthopédie dento-faciale	56-01
M.	Antoine	LAFITTE	Orthopédie dento-faciale	56-01
Mme	Léa	MASSE	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Aude	MENARD	Prothèse dentaire	58-01
M	Florian	PITEU	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Rawen	SMIRANI	Parodontologie	57-01
Mme	Florianne	VILLAT	Dentisterie restauratrice et endodontie	5801
M.	Clément	VACHEY	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01
M	Paul	VITIELLO	Prothèse dentaire	58-01
Mme	Sophia	ZIANE	Odontologie conservatrice – Endodontie	58-01

A notre Président de thèse

Madame le Professeur Marie-José BOILEAU
Professeur des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Orthopédie dento-faciale 56-01

À vous qui nous avez fait l'honneur d'accepter la présidence de cette thèse, nous nous souviendrons de la qualité de votre enseignement et de la qualité de votre travail.

Nous vous témoignons notre profond respect et nous vous adressons nos remerciements les plus sincères.

A notre Directeur de thèse

Monsieur le docteur Christophe BOU
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Prévention épidémiologie – Économie de la santé – Odontologie légale 56-02

À vous qui nous avez fait l'honneur de diriger cette thèse.

Je vous remercie très sincèrement d'en avoir accepté la direction et de m'avoir proposé ce sujet, qui je l'espère vous aura autant satisfait que moi. Merci pour vos années d'enseignements et votre gentillesse.

A notre Assesseur

Monsieur le docteur Christophe COUTANT
Maître de Conférences des Universités – Praticien Hospitalier
Sous-section Sciences anatomiques et physiologiques 58-01

Je vous remercie d'avoir accepté de faire partie de ce jury de thèse.

Je vous remercie aussi pour vos années d'enseignement à l'hôpital Xavier Arnoz et à la faculté, vos conseils et pour le partage de votre expérience.

A notre rapporteur

Madame le docteur Jane GOURGUES

Assistante Hospitalo-Universitaire – Praticien Hospitalier

Sous-section Prévention épidémiologie – Économie de la santé – Odontologie légale 56-02

A vous qui nous avez fait l'honneur d'être membre du jury.

Je vous remercie pour votre participation à l'évaluation de ce travail, vos conseils avisés, votre bonne humeur et votre persévérance lors des relectures de ma thèse. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde sympathie.

A notre invité

Monsieur le docteur Larbi BENALI

Médecin légiste

A vous qui nous avez fait l'honneur d'être membre du jury.

Je vous remercie pour votre participation à l'évaluation de ce travail.

Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde sympathie.

À ma famille, à mes amis.

À mes parents, merci pour votre amour, votre présence et votre soutien tout au long de ma vie. Vous avez toujours tout mis en œuvre pour me rendre la vie simple et heureuse, merci pour les valeurs que vous m'avez inculquées, vous m'avez poussée à donner le meilleur de moi-même, à réaliser mes rêves et pour cela, je ne vous remercierai jamais assez. Je vous aime.

À mes petites sœurs, mes deux petits clowns, je suis très fière de vous et vous aime énormément. Merci de m'apporter de la joie et de l'amour, nos histoires, nos rires, nos souvenirs sont éternels.

À mes grands-parents, mes cousins, oncles et tantes, merci pour tous les souvenirs que nous partageons ensemble et j'attends avec impatience d'en créer de nouveaux.

À mon papi chéri, tu me manques, j'aurai aimé t'avoir près de moi aujourd'hui, je pense fort à toi.

À Christophe, à Sophie, merci pour votre gentillesse, votre générosité et votre soutien quotidien.

À Léna, merci pour l'amour que tu me donnes au quotidien. Merci pour toutes ces belles années près de toi, tu as réussi à me motiver, m'encourager, tu es toujours là quand j'ai besoin et ce, depuis plus de sept ans. Vivons nos rêves ensemble, « parcourons le monde », je t'aime.

À ma belle-famille, un grand merci pour votre gentillesse et votre accueil toujours chaleureux quand je viens vous voir.

À ma binôme, Josépha, merci pour tous les souvenirs joyeux et parfois stressants partagés à l'hôpital. Je suis ravie d'avoir passé avec toi ces deux années à Xavier Arnozan, je n'aurais pas pu espérer trouver une meilleure partenaire et amie.

À tous les amis rencontrés durant mes études, Clara, Pierre, Stéphane, Claudia, Thibaud, Céline, Matthieu, Gauthier, Maxime, Julie, Emmanuelle et tous ceux que j'oublie de citer, j'ai passé de merveilleux moments avec vous. Merci à vous tous d'avoir rendu ces années mémorables.

À toutes mes amies, Charlotte, Sarah, Sara, Chloé, Jeanne, Anne-Hélène, Camille, merci d'être dans ma vie depuis de nombreuses années, le temps et la distance n'ont pas altérés nos amitiés et j'en suis très fière.

Et aussi un grand merci à tous les enseignants qui m'ont suivi durant mes années à Xavier Arnozan, pour vos conseils et votre patience.

INTRODUCTION	9
1. GÉNÉRALITÉ SUR LES MORSURES.....	11
1.1. ODONTOLOGIE MÉDICO-LÉGALE ET MORSURES	11
1.1.1. Définitions	11
1.1.2. Historique.....	11
1.1.3. Médecine légale.....	12
1.2. ANATOMIE DE LA MORSURE	14
1.2.1. Anatomie cutanée.....	14
1.2.1.1. Caractéristiques cutanées laissées par les dents.....	15
1.2.1.1.1. Les incisives	15
1.2.1.1.2. Les canines	16
1.2.1.1.3. Les prémolaires.....	16
1.2.1.1.4. Cas particulier : Morsures d'enfants	16
1.2.1.1.5. Morsures animales	17
1.2.1.2. Fréquences localisations et sévérité.....	18
1.2.1.2.1. Fréquence et localisation	18
1.2.1.2.2. Classification des morsures en fonction de leur Sévérité.....	19
1.2.2. Anatomopathologie d'une morsure	21
1.3. MÉTHODES D'INVESTIGATIONS.....	22
1.3.1. Sur la victime	22
1.3.1.1. Recueil des preuves.....	22
1.3.1.1.1. Preuves physiques	22
1.3.1.1.2. Preuves biologiques.....	24
1.3.1.1.3. Les traces de morsures comme profilage psychologiques	25
1.3.1.2. Conservation des preuves	26
1.3.1.2.1. Photographies.....	26
1.3.1.3. Conservation des preuves	30
1.3.1.3.1. La prise d'empreintes	30
1.3.1.3.2. Prélèvements tissulaires	31
1.3.2. Sur le suspect	31
1.3.2.1. Recueil des preuves physiques et biologiques.....	31
1.3.2.2. Conservation des preuves	32
1.3.2.2.1. Photographies.....	32
1.3.2.2.2. Empreintes	32
1.3.3. Recueil et traitement des données	34
2. EXPÉRIMENTATION CLINIQUE.....	36
2.1. OBJECTIF	36
2.2. PROTOCOLE CLINIQUE D'ACQUISITION ET DE COMPARAISON D'OBJETS 3D.....	36
2.3. MÉTHODE ET MATÉRIEL	37
2.3.1. Réalisation des morsures.....	37
2.3.2. Acquisition et enregistrement.....	38
2.3.2.1. Photogrammétrie	38
2.3.2.2. Caméra Tridimensionnelle	41

2.3.2.3. Scanner 3Shape	42
2.3.3. <i>Étape de transformation</i>	43
2.3.3.1. Recoupe des modèles	43
2.3.3.2. Coloration	43
2.3.4. <i>Étape de comparaison</i>	44
2.4. RÉSULTATS.....	46
2.4.1. <i>Photographie bidimensionnelle</i>	47
2.4.2. <i>Photogrammétrie</i>	50
2.4.2.1. Peau de cochon.....	50
2.4.2.2. Peau Humaine.....	51
2.4.3. <i>Caméra Fuel 3D</i>	54
2.4.4. <i>Scanner 3Shape</i>	56
2.5. DISCUSSIONS.....	59
2.5.1. <i>Réalisation des morsures</i>	59
2.5.1.1. Le mordeur.....	59
2.5.1.2. Substrat	60
2.5.1.2.1. Peau de cochon	60
2.5.1.2.2. Peau Humaine.....	61
2.5.2. <i>Enregistrement</i>	61
2.5.2.1. <i>Photographie 2D</i>	62
2.5.2.2. <i>Photogrammétrie</i>	62
2.5.2.3. <i>Caméra Fuel 3D</i>	62
2.5.2.4. <i>Scanner 3Shape</i>	62
2.5.3. <i>Transformation en objet 3D et comparaison des données</i>	63
2.5.3.1. <i>Logiciels utilisés pour la création de modèles 3D</i>	63
2.5.3.1.1. <i>3D Zéphyr</i>	63
2.5.3.1.2. <i>MétaShape</i>	63
2.5.3.2. <i>Logiciels utilisés pour le traitement des images 3D</i>	63
2.5.3.2.1. <i>MeshLab</i>	63
2.5.3.2.2. <i>CloudCompare</i>	64
2.5.4. <i>Résultats et méthodes utilisées</i>	64
2.5.4.1. <i>Photographie bidimensionnelle</i>	65
2.5.4.2. <i>Photogrammétrie</i>	65
2.5.4.3. <i>Caméra Fuel 3D</i>	67
2.5.4.4. <i>Caméra 3 Shape</i>	68
2.6. <i>Perspectives</i>	69
CONCLUSION	70
ANNEXES	73
TABLE DES ILLUSTRATIONS	78
BIBLIOGRAPHIE	80

Introduction [13], [22], [26], [38]

L'odontologie médico-légale est une branche des sciences médico-légales s'intéressant à l'étude des dents et des tissus environnants dans un contexte judiciaire. Que ce soit dans le domaine de la thanatologie dans le cadre de l'identification de personnes décédées, ou celui du dommage corporel dans le cadre de la victimologie, le recueil des indices dentaires relève d'une grande importance.

L'identification odontologique représente une méthodologie d'identification pertinente en partie liée à la résistance physico-chimique de l'organe dentaire. Que ce soit dans le cadre d'une identification comparative lorsque nous sommes en présence d'un corps altéré avec présomption d'identité, ou alors d'une identification estimative en l'absence de présomption d'identité, tous les éléments morphologiques mais aussi structures anatomiques dentaires peuvent servir dans le cadre d'une mission judiciaire sur réquisition d'un magistrat.

Au-delà d'un simple processus d'identification de personne, le système dentaire peut être utilisé au cours d'actes de violences de type maltraitance, d'agressions sexuelles ou d'homicides, voire parfois de défense pour la victime. Il en résulte la finalisation d'une ou de plusieurs traces de morsure sur la victime, qui après analyse serviront pour confondre un éventuel agresseur.

Chaque personne a une denture qui lui est propre et unique, tout comme les empreintes digitales. Ainsi, les traces de morsures permettent de documenter la suspicion, voire les faits de violence domestique, d'abus et de les confronter avec les caractéristiques de la dentition d'un suspect pour confirmer ou bien réfuter des faits rapportés dans une procédure judiciaire. Il est donc important pour les chirurgiens-dentistes experts et les médecins légistes de connaître les méthodes d'identification, de collecte et de conservation de ces preuves.

De nos jours en France, l'analyse des traces de morsures reste trop peu utilisée : ces traces n'étant peu, ou pas correctement enregistrées et répertoriées lors de leur découverte, elles sont difficilement exploitables.

L'étude des morsures repose sur la comparaison entre les caractéristiques de la dentition d'un suspect et les marques de dents retrouvées sur la victime et enregistrées la plupart du temps par une prise photographique. Cependant, l'interprétation de ces traces, en se basant sur la photographie bidimensionnelle, présente de nombreux inconvénients qui peuvent biaiser les résultats, ne permettant pas d'identifier un éventuel suspect.

De nouvelles méthodes de recueil et d'analyse ont vu le jour, utilisant des scanners surfaciques et le principe de la photogrammétrie tridimensionnelle.

Ces techniques permettent d'enregistrer avec précision en trois dimensions la dentition du suspect ainsi que les marques de morsures retrouvées sur la victime, puis de réaliser une analyse comparative de concordance entre ces éléments afin de confondre un éventuel suspect.

La finalité de ce travail est d'évaluer expérimentalement la pertinence d'une analyse tridimensionnelle comparativement à l'analyse bidimensionnelle classique et ainsi établir un protocole d'enregistrement et d'analyse simple des traces de morsures.

Nous avons décidé, dans le cadre de cette expérimentation d'utiliser comme support de la peau humaine (auto-morsure) ainsi que de la peau de porc. Trois techniques d'enregistrement tridimensionnels du recueil des données ont été appliquées pour ces morsures : la photogrammétrie, l'enregistrement par caméra optique utilisée en dentisterie et une acquisition scanner surfacique 3D.

Les modèles virtuels obtenus des dentitions de 3 témoins et des différentes traces de morsures ont été comparés visuellement et géométriquement. Une analyse bidimensionnelle a aussi été réalisée. Les résultats des différentes expérimentations ont ensuite été analysés et comparés.

Nous allons dans un premier temps aborder l'aspect médico-légal des morsures, leurs caractéristiques anatomiques et les différentes méthodes d'investigation existantes afin de les identifier et de conserver les preuves.

Nous détaillerons dans un second temps notre expérimentation clinique, ses objectifs, le protocole méthodologique utilisé ainsi que le matériel et les méthodes employées.

A l'issue les résultats et les difficultés rencontrées seront argumentées dans le cadre d'une discussion.

1. Généralité sur les morsures

1.1. Odontologie médico-légale et morsures

1.1.1. Définitions [13]

Le mot « morsure », vient du latin « *morsum, mordere* » qui signifie « action de mordre ». [9]

Une morsure est une trace d'origine humaine ou animale laissée par des dents dans un substrat. Le substrat peut être cutané, alimentaire ou bien une substance compressible.

La plupart des morsures animales ou humaines, impliquent un contact direct entre la peau et les dents.

Elles peuvent ainsi causer des infections, des destructions tissulaires voir même la transmission de maladies.

La définition médico-légale de la morsure est la suivante : « *C'est une blessure qui par son modèle permet d'établir une représentation des dents sous leur forme d'origine.* »

On identifie plusieurs types de morsures : les morsures d'agression ou de défense. Quelques rares cas d'auto-morsures peuvent être rapportés (chez les personnes souffrant de retard psychiatrique, de troubles mentaux ou de crises d'épilepsie).

1.1.2. Historique [2], [13], [22], [26], [35], [38]

Au fil des siècles, l'odontologie médico-légale fut initialement utilisée de nombreuses fois afin de permettre l'identité de personnes décédées avec présomption d'identité, mais dans un état de dégradation avancé ne permettant plus une identification visuelle. Une autre facette de l'odontologie légale concerne l'identification de meurtriers en série, ou sur de nombreuses victimes d'agressions à caractère sexuel des traces biologiques ont été relevées (ADN de la salive, ou traces de morsures), comme ce fut le cas avec Lee Harvey Oswald et Guy George par exemple.

En 1692, aux États-Unis, lors du jugement du procès des « sorcières de Salem », le révérend George Burroughs fut condamné à mort pour avoir incité des jeunes femmes à la pratique de la sorcellerie. Ses victimes présentaient des traces de morsures sur leurs bras. Lors du procès la bouche du révérend fut examinée et comparée aux morsures retrouvées sur plusieurs jeunes filles. Il fut établi que les empreintes correspondaient à sa dentition.

Le premier tueur en série condamné grâce à des fichiers dentaires en Amérique du Nord fut Wayne Clifford Boden, aussi nommé le « violeur vampire » qui fit 5 victimes à Montréal dans les années 70. A l'époque, l'expertise odonto-légale dans les laboratoires était très peu répandue. Plusieurs victimes furent retrouvées mortes, avec sur les seins, des traces de morsures. L'orthodontiste Gordon Swann, alors approché pour l'enquête, contacta le FBI et avec l'aide d'Edgar Hoover et de Scotland Yard ils comparèrent les moulages dentaires du suspect avec les traces retrouvées au niveau des seins des victimes. Boden fut alors déclaré coupable et condamné.

L'affaire criminelle qui a introduit l'odontologie légale au monde entier est l'affaire de Ted Bundy. Coupable d'au moins 30 meurtres, il fut condamné grâce à ses empreintes dentaires.

Cependant, l'utilité d'une trace de morsure pour incriminer un suspect a pu, dans plusieurs affaires, être remise en question.

En 1972, Richard Milone est accusé du meurtre d'une jeune fille, la victime présente des traces de morsures post mortem au niveau de la cuisse droite. Milone est reconnu coupable et condamné de 75 ans à 150 ans de prison. Lors de son procès les experts en odontologie sont en désaccord. 11 experts sont interrogés et 6 seulement affirment que la morsure a été infligée par Milone. 14 années plus tard, en 1986, le dossier est rouvert. L'expert en charge du dossier, le Dr Levine affirme que Milone n'est pas à l'origine de la morsure, et que les avancées technologiques peuvent le prouver. Au même moment, un tueur en série bien connu de la police, Richard Macek devient le suspect (après avoir confessé le meurtre à sa psychiatre). Le problème est que Richard Macek s'est fait extraire toutes les dents afin d'éliminer les preuves l'incriminant dans les marques de morsures sur plusieurs victimes. Richard Milone est libéré après 20 ans passés en prison et Richard Macek est finalement déclaré coupable.

1.1.3. Médecine légale [13], [43], [45]

La violence représente un problème majeur dans de très nombreux pays, et les taux de violences et d'homicides restent élevés en France et concernent aussi bien les enfants que les adultes et les personnes âgées.

Pour rappel, et selon les rapports de l'Insee [17]–[19], [29], [31] en France :

- Dans la population adulte (18 ans - 75 ans) : Plus d'un million de personnes ont été victimes de violences en 2018 et on recense plus de 900 victimes d'homicides en 2019. En moyenne, entre 2011 et 2018, plus de 150 000 personnes ont été victimes d'agression sexuelle chaque année.

- Dans la population mineure (< 18 ans) : on dénombre 131 victimes de maltraitance en 2016 et le nombre de morts violentes d'enfants en milieu familial s'élève en 2016 à 68.

La maltraitance physique chez l'enfant ou l'adulte peut prendre différentes formes : brûlure, privation de nourriture, coups, ou morsures par exemple.

En France, le nombre annuel de cas de morsures humaines n'est malheureusement pas répertorié.

Insécurité et délinquance en France : Nombre de faits constatés en 2019 et taux d'évolution annuelle

	Nombre de faits constatés (cumul annuel)	Variation (A/A-1) (en %)		
		2019	2018	2017
Homicides (y compris coups et blessures volontaires suivis de mort)	970	8,501	-0,223	0,448
Coups et blessures volontaires (sur personnes de 15 ans ou plus)	260 500	8,434	7,787	3,745
Violences sexuelles	54 100	12,414	18,929	10,674
- Viols	22 900	19,196	16,793	11,996
- Autres agressions sexuelles (y compris harcèlement sexuel)	31 200	7,91	20,391	9,787

Champ : France métropolitaine

Note : Les indicateurs figurant dans ce tableau sont des cumuls annuels des données mensuelles produites pour les notes de conjoncture du SSMSI. Par conséquent, les requalifications de faits postérieurs au mois de comptabilisation ne sont pas prises en compte ici sauf pour les destructions et dégradations volontaires.

Source : interieur.gouv.fr - SSMSI, Base des crimes et délits enregistrés par la police et la gendarmerie, données provisoires.

Figure 1 : Tableau représentant le nombre de faits de violence constatés en 2019 et le taux d'évolution par rapport à 2018 et 2017 en France [19]

Lors d'agressions sexuelles, d'homicides ou de violence, les agresseurs mordent souvent leurs victimes, la reconnaissance d'une morsure est donc très utile dans les suites judiciaires qui en découlent.

Recueillir et identifier le profil de la dentition du suspect peut aboutir à une possible implication de ce dernier dans l'agression. De plus, la présence d'une morsure dans un crime présumé est significative :

- Dans le cas de maltraitance infantile contestée, où des doutes peuvent subsister, quant-à l'implication volontaire d'une tierce personne, la présence d'une marque de morsure permet de montrer la volonté de blesser, et traduit aussi la volonté du suspect à exprimer sa supériorité et son autorité sur l'autre, conforter sa possession de l'autre.

Les morsures présentent des caractéristiques uniques et ce sont actuellement les seules blessures laissant des marques physiques qui ont le potentiel d'identifier (ou d'exclure) un auteur spécifique.

C'est pourquoi la connaissance de la morphologie et conformation d'une trace de morsure sont importantes, dans la première phase d'analyse pour ensuite émettre une éventuelle compatibilité avec un suspect.

Nous allons donc, dans un premier temps aborder les caractéristiques essentielles des morsures.

1.2. Anatomie de la morsure

1.2.1. Anatomie cutanée [13], [43], [45], [48]

Chez l'Homme, la formule dentaire comprend sur chaque quadrant : 2 incisives, 1 canine, 2 prémolaires et 2 ou 3 molaires.

Ainsi on retrouve sur chaque arcade, de forme parabolique, 16 dents maxillaires et mandibulaires. Ce sont généralement les 6 dents antérieures de chaque arcade qui participent à la trace de morsure et occasionnellement les premières prémolaires, plus rarement les premières molaires.

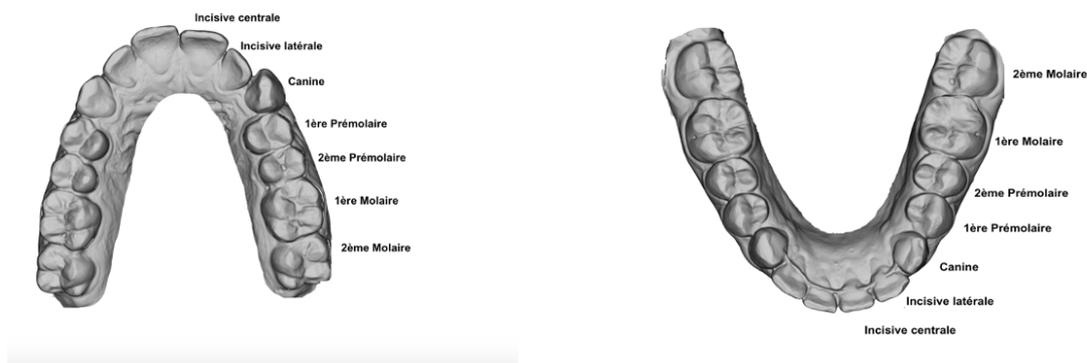


Figure 2: Modèles dentaires maxillaire (à gauche) mandibulaire (à droite) vue occlusal [39]

Lors de la morsure, les surfaces occlusales des dents postérieures, et les bords libres des dents antérieures, entrent en contact avec la peau selon différents degrés de force. Face à la pression des dents, un estampage reproduisant un motif (ressemblant à une image en miroir) est enregistré sur la peau.

Selon de nombreux auteurs, chaque individu a une dentition qui lui est propre, tout comme les empreintes digitales. Les surfaces travaillantes des dents seraient en effet suffisamment distinctes pour différencier deux dentitions de deux individus différents, mais cela dépend aussi du substrat. Ce principe reste cependant contesté : en effet d'autres auteurs pensent ce sont les caractéristiques dentaires qui vont valider l'unicité : c'est-à-dire la présence d'un diastème, d'une abrasion, d'une fracture ou d'une version par exemple.

1.2.1.1. Caractéristiques cutanées laissées par les dents

Une trace de morsure sur la peau humaine apparaît généralement circulaire, ovale et arrondi.

Elle est composée de deux arcs en forme de U, dont la largeur évolue entre 3,5 et 4cm se faisant face et séparées l'une de l'autre au niveau de leur base par un espace sain.

Chaque arcade comprend un alignement de contusions, abrasions et/ou lacérations qui reproduisent approximativement la taille, la forme, la disposition des dents humaines.

Chez l'adulte l'arcade maxillaire est plus large que le mandibulaire et la distance linéaire inter-cuspidienne entre les canines est d'environ 32,3-33,6mm +/- 2,5mm au maxillaire et 25mm +/- 1,85mm à la mandibule.

De plus, il existe un léger dimorphisme sexuel au niveau de la longueur de l'arcade (distance de canine à canine) entre l'homme et la femme d'environ 1,6mm au maxillaire et de 1mm à la mandibule.

Des différences de taille sont aussi observables en fonction de l'âge et aussi des origines ethniques mais ces paramètres ne peuvent être prédits en analysant une marque de morsure.

La mesure entre l'arcade supérieure et inférieure dépend du degré d'ouverture de la mandibule et de la localisation de la morsure.

Le diamètre d'ouverture maximal est d'environ 42-45 mm mais peut dépasser 70 mm pour certains individus.

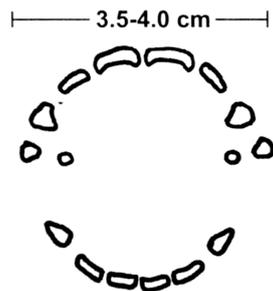


Figure 3 : Schéma représentant les indentations retrouvée lors d'une morsure Humaine, avec le diamètre de 3.5 à 4 cm [48]

1.2.1.1.1. Les incisives

Situées au niveau du centre de chaque arcade elles laissent sur la peau une ligne de traces rectangulaires (4 par arcade) correspondant au bord libre des incisives.

Les incisives centrales supérieures laissent des marques rectangulaires d'environ 8-9mm.

Les incisives latérales sont plus étroites, d'environ 6-7mm, cependant, parfois, elles n'atteignent pas le plan d'occlusion et peuvent laisser des marques moins importantes, voire inexistantes

Les traces laissées par les incisives mandibulaires font approximativement toutes la même taille, environ 5,5mm-6mm.

1.2.1.1.2. Les canines

Les canines, longues et plus ou moins pointues, laissent souvent des marques traces circulaires, en forme de diamant ou triangulaires au niveau des bords d'arcade.

1.2.1.1.3. Les prémolaires

Lorsqu'une prémolaire marque la peau, ce qui est plutôt rare, cela produit une marque ponctiforme de cuspide alignée sur l'arcade (cuspides vestibulaires). La forme de la marque retrouvée dépendra aussi des caractéristiques individuelles des dents : une prémolaire abrasée laissera une marque triangulaire à pointe opposée.

1.2.1.1.4. Cas particulier : Morsures d'enfants

En dessous de 6 ans, les morsures sont plus petites, plus rondes et on retrouve des espaces inter dentaires importants.

Les incisives centrales maxillaires mesurent environ 6,5mm, les latérales 5,3mm, les incisives mandibulaires 4,5mm.

La distance inter-canine est plus petite que chez les adultes.

Entre 3 et 6 ans la distance inter canine est de 28 à 29 mm au maxillaire et environ 22,6mm à la mandibule (soit respectivement 4,4 et 2,5 mm inférieures à celles des adultes).

Entre 7 et 11 ans, les enfants ont une denture mixte et les espaces inter-dentaires se ferment lors de l'éruption des dents définitives. Les marques deviennent alors plus larges et rapprochées.



Figure 4 : Photographie d'une morsure réalisée par un enfant sur peau Humaine [13]

1.2.1.1.5. Morsures animales [5], [13], [21], [32], [43], [48]

De nombreux animaux peuvent être à l'origine de morsures fatales ou non pour l'Homme. Les morsures d'animaux provenant de chiens, de chats et de rongeurs sont beaucoup plus courantes que les morsures humaines et entraînent une déchirure plutôt qu'une compression des tissus. Elles peuvent aussi être à l'origine de nombreuses maladies plus ou moins mortelles.

Dans le cas d'attaques non mortelles les victimes peuvent témoigner et identifier l'animal responsable. Il est difficile d'identifier et d'interpréter des morsures animales sur le corps d'une personne décédée et plus particulièrement si le corps est en état de décomposition. La prédation post-mortem d'animaux est difficile à différencier de tout un tas de diverses blessures.

Les canines, les prémolaires et les molaires chez les canidés et félins de grande taille peuvent produire des lésions qui peuvent être interprétées à tort comme une blessure par arme blanche.

Les morsures entraînent généralement des pertes de tissus très importantes, et les marques de griffes et l'avulsion des tissus posent des problèmes d'interprétation.

Dans le cadre de cette thèse nous n'aborderons pas la problématique des morsures animales.



Figure 5 : Photographie des dents bi-maxillaires d'un chien (à gauche), Mâchoire maxillaire de Puma et marque de morsure (à droite) [13]

1.2.1.2. Fréquences localisations et sévérité

1.2.1.2.1. Fréquence et localisation [13], [33], [34], [45]

La localisation de la trace d'une morsure est essentielle pour essayer de caractériser la nature et le type de l'agression.

En effet la fréquence des morsures et leurs localisations seront différentielles en fonction de la nature du type d'agression. Lorsque qu'une agression de personne présente un caractère sexuel, les traces de morsures seront localisées sur des parties du corps en corrélation avec la nature de l'agression (les seins, la face, le cou, le pubis, les OGE...).

En revanche, dans le cas de morsures liées à des actes de maltraitance en particulier infantile, les traces de morsures au niveau du visage, membres et du dos sont fréquentes.

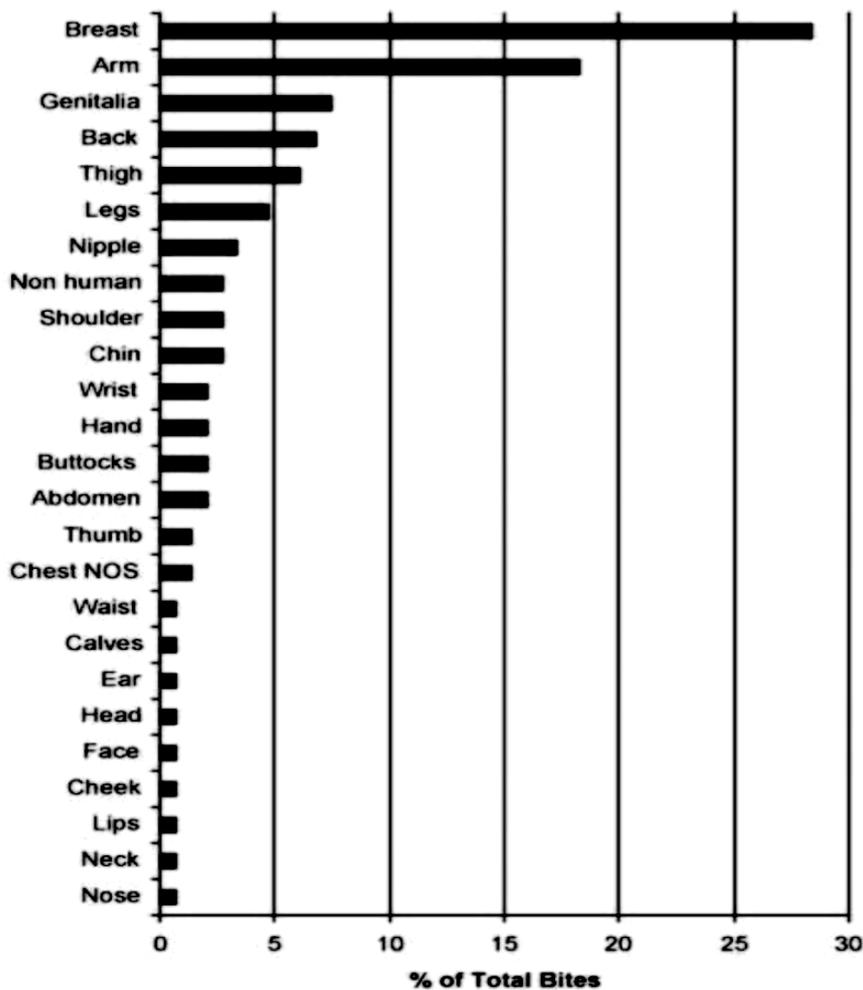


Figure 6: distribution anatomique de 148 morsures Humaines aux USA [34].

1.2.1.2.2. Classification des morsures en fonction de leur Sévérité [33], [34]

Trois facteurs principaux influencent la sévérité de la blessure créée par une morsure :

La force avec laquelle la blessure est infligée, la localisation anatomique de la morsure et le temps qui s'est écoulé entre la morsure et sa découverte.

Iain A. Pretty (en 2007) a élaboré une échelle associant un index visuel, afin d'uniformiser le recueil des informations et faciliter la communication entre les différents professionnels susceptibles d'intervenir lors de l'analyse des traces de morsures.

Ainsi il sera possible de déterminer la sévérité de la morsure et établir l'étiologie humaine ou animale des traces de morsures identifiées et par voie de conséquence établir le niveau de preuve.

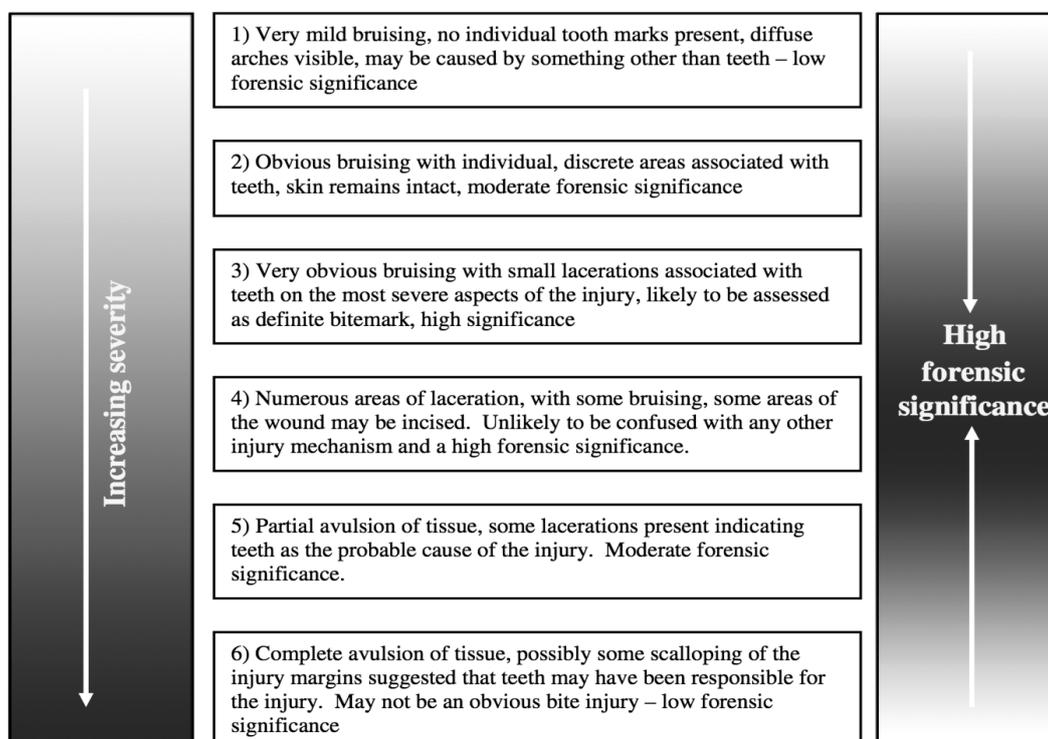


Figure 7 : Échelle de sévérité des marques de morsures [33].

Il existe donc six classes :

- **Classe 1** : Il n'existe pas de traces de dents bien individualisées, juste une marque diffuse en forme d'arcade. Marque qui pourrait être causée par autre chose que des dents. Le niveau de preuve pour ce type de blessure est faible.
- **Classe 2** : On note la présence d'un hématome visible, les traces de dents sont discrètes mais la peau est intacte. Le niveau de preuve pour ce type de blessure est modéré.

- **Classe 3** : L'hématome est très évident et est associé à de petites lacérations causées par les dents lors de la morsure. Ce type de morsure est à haut niveau de preuve.
- **Classe 4** : De nombreuses zones de lacérations apparaissent, associant quelques hématomes et parfois des incisions. Il est peu probable de confondre la trace présente avec une autre blessure que la morsure. Le niveau de preuve est très élevé.
- **Classe 5** : La morsure a généré une dilacération partielle des tissus, associant parfois des lacérations indiquant que les dents seraient à l'origine de la blessure. Le niveau de preuve est modéré.
- **Classe 6** : La blessure présente une exérèse tissulaire totale, des dentelures sont présentes en périphérie de la blessure et peuvent suggérer que des dents soient à l'origine de cette trace. Il n'est pas évident d'identifier cette blessure comme une morsure, le niveau de preuve est faible. Dans ce cas les morsures ne sont pas forcément d'origine humaine.



1. Blessure modérée

2. Hématome, traces de dents discrètes

3. Hématome évident, petites lacérations



4. Lacérations, incisions, hématomes

5. Avulsion tissulaire partielle

6. Avulsion tissulaire totale

Figure 8 : Échelle visuelle de la sévérité des marques de morsures [33] .

Cas particulier : Morsure dans des substrats

Les aliments et objets compressibles enregistrent une marque de morsure de la même manière qu'un matériau d'empreinte. La précision de l'enregistrement dépend des propriétés du matériau en question et de leur tendance à se déformer, se déshydrater et se décomposer. Les aliments qui peuvent produire de très bons enregistrements sont le fromage, les chewing-gums, le chocolat. Les fruits et légumes, le beurre, les viandes permettent également d'enregistrer des marques exploitables mais avec des risques de distorsion plus élevés.

1.2.2. Anatomopathologie d'une morsure [13]

Une morsure est visible car au niveau des tissus plusieurs phénomènes se produisent :

- L'érosion / abrasion superficielle de l'épithélium induite par le contact direct des dents sur le tissu cutané.
- Un saignement sous cutané donnant l'image d'une contusion, lié à la pression exercée des dents sur la peau.
- Une possible lacération sous forme de déchirure si la pression de la morsure est plus forte.

D'autres facteurs peuvent influencer la visualisation et l'interprétation de la trace de morsure. l'ABFO [3] a identifié les paramètres suivants :

- Les caractéristiques diverses de la peau Humaine : le type, la finesse, la pigmentation ??, la nature des tissus, la viscoélasticité et l'anisotropie (c'est à dire l'orientation des lignes de tensions de la peau.).
- Les caractéristiques finales de la blessure : contusion, abrasion, lacération, incision ou arrachement/déchirement.
- La dynamique de la morsure : Les mouvements de la victime ou du suspect lors de la morsure, la force appliquée, les changements de position pendant et après la morsure.
- L'âge et le sexe de la victime : Les propriétés biomécaniques de la peau changent avec l'âge et sont différentes selon le dimorphisme sexuel.
- L'état de santé ATCD médicaux de la victime : La présence de maladie systémique ou de médication peut affecter la cicatrisation de la peau.

1.3. Méthodes d'investigation [6], [13], [21]

Est-ce une morsure humaine ? La morsure a-t-elle été infligée par un adulte ou un enfant ? La morsure est-elle auto-infligée ? Était-ce un acte offensif ou défensif ? La morsure est-elle ante ou post-mortem ? Les morsures ont-elles été faites dans la même unité de temps ou laissent-elles présager un abus sur le long terme ? Tant de questions auxquelles l'expert essaie de répondre.

Il est admis que chaque individu a un alignement dentaire unique et que les caractéristiques des dents d'un sujet lorsqu'elles forment une trace de morsure peuvent permettre d'identifier l'individu responsable et exclure les autres : c'est le principe de l'unicité dentaire.

L'expert en odontologie devra définir dans un premier temps si la blessure est une morsure, récupérer les preuves sur le corps de la victime et sur le suspect et ensuite les analyser dans le but d'identifier un suspect.

Il existe plusieurs étapes pour collecter les preuves au niveau de traces de morsures. Ces étapes sont les suivantes :

- 1) Reconnaissance et évaluation de la morsure
- 2) Écouvillonnage du site de la blessure
- 3) Photographies de la ou des morsures
- 4) Mesures et dessins
- 5) Prise d'empreinte des traces en relief
- 6) Préservation de la peau
- 7) Photographies de suivi
- 8) Autres techniques d'analyses

1.3.1. Sur la victime

1.3.1.1. Recueil des preuves

1.3.1.1.1. Preuves physiques [3], [6], [16], [21], [45]

Tout d'abord il faut poser le diagnostic différentiel de la morsure avec d'autres blessures car certaines peuvent reproduire l'apparence semi-circulaire classique d'une morsure (traces laissées par des défibrillateurs cardiaques par exemple)

Une morsure présente au minimum quatre contusions rectangulaires adjacentes en forme d'arc ; ce sont les caractéristiques brutes, qui permettent l'identification générale de l'objet.

Il convient aussi de repérer les caractéristiques de classe ainsi que les caractéristiques individuelles sur les traces de morsures.

- Les caractéristiques de classe : ce sont par exemple le nombre, la forme et l'arrangement des dents. Elles permettent d'identifier le type de morsure. Les caractéristiques de classe permettent donc de différencier une morsure animale (de chien par exemple) d'une morsure humaine d'adulte ou d'enfant : un chien possède 12 incisives, un Humain en possède 8, un adulte possède 32 dents, un enfant en dentition temporaire seulement 20.
- Les caractéristiques individuelles : ce sont les aspects, motifs qui laissent supposer une variation individuelle et sont divisées en deux catégories :
 - Les caractéristiques développementales : ce sont les crêtes marginales proéminentes, des cuspidés supplémentaires, des cuspidés talons, des microdonties et d'autres anomalies génétiques de forme des dents
 - Les caractéristiques acquises : ce sont les fractures, restaurations, usures de dents.

Ces caractéristiques individuelles représentent les indices qui vont permettre une identification du suspect.

En ce qui concerne la réalisation de morsures post-mortem : les marques laissées après la mort n'entraînent pas de réponse inflammatoire et donc la visualisation des blessures peut être plus difficile (dans ce cas il est intéressant de s'aider de l'histologie et la transillumination).

Ces marques apparaissent jaunes, translucides.

En synthèse, selon l'American Board of Forensic Odontology (A.B.F.O) [3] une blessure est une morsure lorsque :

- Le motif montre des caractéristiques de classe de dentition humaine.
- Les détails permettent d'exclure d'autres types de blessures.
- La blessure est curviligne, circulaire ou ovale, présentant deux arcs opposés séparés ou non par un espace. Parfois un seul arc peut être visible.
- Présence de marques d'abrasion, de contusions, de lacérations spécifiques aux dents.
- Une contusion centrale peut être présente.
- Les marques représentent la taille, forme, disposition des surfaces de contact des dents humaines.
- Certaines marques faites par les dents peuvent être identifiées par des caractéristiques de classe.

Il faudra par la suite documenter les informations récoltées :

1. Description générale : Numéro du cas - Nom de l'examineur - Age, sexe et race de la victime
2. Localisation(s) de(s) la trace(s) : Localisation anatomique, Contours et surface, Caractéristiques des tissus, Description de l'objet ou du substrat (si ce n'est pas la peau humaine).
3. Caractéristiques de la blessure : Taille (Analyse métrique des caractéristiques), Forme, Étendue, Nature (Localisation des marques d'abrasion, contusion, lacération, avulsion), Couleur, Présence d'indentations, d'incisions, d'autres détails.
4. Description du motif : Orientation des arcade, Localisation des lignes centrale et médianes, Repérage les marques de dents spécifiques (morphologie anatomique du bord incisif, des surfaces occlusales), Localisation des zones sans marques (dues à des dents manquantes, fracturées, éruptées, malformées), Localisation des caractéristiques indiquant la présence de rotations dentaires, translations, anomalies.

1.3.1.1.2. Preuves biologiques [6], [13], [16], [43]–[45], [48]

Lorsqu'une morsure est réalisée, de la salive est déposée sur la peau de la victime.

Cette salive contiendra des cellules épithéliales buccales et linguales, des leucocytes, des bactéries, des débris alimentaires.

Tout d'abord il est nécessaire de détecter la présence d'éventuelles traces de salive sur la victime. Pour cela il existe plusieurs méthodes.

- La présence de l'amylase, enzyme salivaire qui lorsqu'elle est présente sur une blessure peut orienter les techniciens vers le diagnostic d'une marque de morsure. L'emplacement des traces de salive est alors détecté par la méthode décrite par Sax et al. qui utilisent le complexe Amelopectine - Rouge de Procion pour détecter l'amylase salivaire.
- L'utilisation d'une source de lumière alternative (type CrimeScope) permet de mettre en valeur d'éventuelles traces de salive. Cette technique est maintenant très souvent utilisée par la police scientifique pour localiser les tâches de liquides corporels sur les lieux des crimes, les traces de salive déposées sur la peau, peuvent être alors identifiées et analysées.

Une fois la présence de salive révélée, des prélèvements sont réalisés sur les tissus humains et aussi sur les vêtements pour être analysés.

Plusieurs techniques permettent d'identifier un suspect à partir d'un prélèvement salivaire.

- L'utilisation des antigènes des groupes sanguins : Selon D. Sweet, 80% de la population humaine sécrète des antigènes solubles sans l'eau (les agglutinines) dans leurs fluides corporels (salive, sperme, larmes.). Ces antigènes peuvent être utilisés pour déterminer le groupe sanguin ABH de la personne qui les a sécrétés.
- L'utilisation de l'ADN génomique : Dans la salive on retrouve des cellules épithéliales buccales et linguales qui se détachent de la muqueuse lors de la mastication, mais on trouve aussi des globules blancs (leucocytes) et des bactéries. L'analyse de l'ADN nucléaire (génomique) de ces cellules à l'aide de techniques d'amplification basées sur la PCR est la plus largement utilisée de nos jours.

Ainsi il sera possible de définir le profil génétique du mordeur à partir de la salive prélevée.

Le principal avantage de cette technique est qu'elle permet l'analyse d'ADN retrouvé en très petite quantité ou celui d'un ADN très ancien et partiellement dégradé en 24 à 48 heures seulement.

1.3.1.1.3. Les traces de morsures comme profilage psychologiques [6], [13], [42], [49], [50]

Le profilage criminel utilise les marques de morsures pour déterminer le profil psychologique de l'agresseur.

Lors de l'analyse des cas d'homicides répertoriant des traces de morsures humaines, les enquêteurs tiennent compte du nombre et de l'emplacement des morsures ainsi que le moment où elles ont été infligées (anté ou post-mortem).

Quelles sont les motivations de l'agresseur lorsqu'il inflige une morsure ?

Selon Walter RA, il existe trois « types » de morsures :

- La morsure impulsive, ou de la colère, elle résulte souvent de la frustration et de l'incompétence dans la gestion efficace des situations de conflit, elle traduit une personnalité instable.
- La morsure sadique satisfait le besoin de pouvoir, de domination, de contrôle et d'omniscience. Par cet acte l'agresseur montre son emprise, la possession et le contrôle qu'il détient sur sa victime.
- La morsure égo-cannibale est une tentative de satisfaire les demandes de l'ego en annihilant, consommant et absorbant les essences de vie de la victime. Cela reflète un besoin d'amplification de l'égo.

Ces deux dernières morsures sont souvent décrites par les psychologues de l'enfance, qui expliquent qu'avant deux ans l'enfant mord pour exprimer une frustration ou un désir de domination. Lors du développement de la partie frontale du cerveau, ces réflexes disparaissent normalement et de nouvelles aptitudes sont développées pour faire face au stress et à la colère.

Cependant, à l'heure actuelle, il ne semble pas y avoir de réponse satisfaisante malgré le fait qu'il existe des exemples au sein du système de justice pénale où le comportement du mordeur est débattu ; en effet, la recherche dans ce domaine reste limitée, et des travaux supplémentaires sont nécessaires pour déterminer s'il est possible de déterminer un profil psychologique à partir de trace de morsures.

1.3.1.2. Conservation des preuves

1.3.1.2.1. Photographies [13], [16], [43], [48]

La photographie (bidimensionnelle ou tridimensionnelle) est le meilleur moyen d'enregistrer et de conserver les preuves de morsure dans le dossier. Elle est fondamentale sachant que les marques laissées sur la peau se modifient avec le temps que ce soit sur une personne vivante ou décédée. Les photographies permettent ainsi une conservation des informations dans le temps.

L'homme ne peut voir la lumière en dehors du spectre visible par l'œil, c'est pourquoi des techniques de photographie utilisant la lumière UV et IR ont été développées. Cela est utile pour l'analyse des blessures telles que les morsures, blessures par balle et coup de feu par exemple.

Ces techniques permettent de différencier les tissus endommagés des tissus sains.

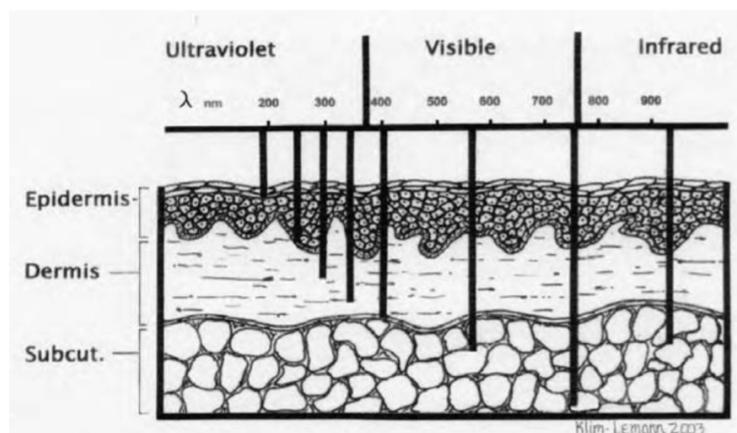


Figure 9 : Schéma représentant la pénétration des différentes longueurs d'ondes selon les couches de la peau [13].

Quand un spectre lumineux atteint la peau 4 réactions sont produites : une réflexion, absorption, diffusion et une émission de fluorescence. En modifiant la longueur d'onde de la lumière incidente, ces effets peuvent-être exploités révélant ainsi quantités de détails sur les tissus lésés ; de plus, les rayons n'ont pas la même capacité de pénétration selon leur longue d'onde.

- Photographie en lumière visible

La lumière visible par l'œil humain se situe entre 400 et 700 manomètres.

La photographie en lumière visible permet d'enregistrer la morsure comme notre œil la perçoit et ainsi de conserver l'état de la blessure avant l'intervention des spécialistes.

La photographie est précieuse pour documenter les traces de morsures. L'utilisation du numérique est plus adaptée, il est en effet possible de visualiser les clichés, de les trier, les supprimer, recommencer et les stocker.

Les photographies doivent être réalisées à une distance de 40 cm environ sous macrophotographie et à 90° par rapport au plan de la morsure. Il est nécessaire d'utiliser un trépied et une réglette ABFO numéro 2 (validée par l'American Board of Forensic Odontology) afin de réduire les distorsions et fournir une référence pour mesurer. Différents clichés sous plusieurs plans doivent être réalisés.

Aujourd'hui, grâce au numérique, il n'est plus nécessaire de réaliser des photographies additionnelles en noir et blanc (B&W). Il suffit seulement de réaliser un traitement des images obtenues (modification du contraste, de la luminosité et de la saturation).

Les images modifiées en B&W sont nécessaires car l'œil a la capacité de discerner des détails différents entre les formats couleurs et B&W. (Parce que la rétine de l'œil a plus de bâtonnets (qui différencient le noir et le blanc) que les cônes (qui différencient la couleur), la suppression de la couleur peut parfois améliorer les détails).

Les détails d'une marque de morsure vont s'améliorer à mesure que l'inflammation diminue et que la morsure change de couleur avec le temps.

Il est donc nécessaire de répéter les clichés à intervalle réguliers (toutes les 24heures).

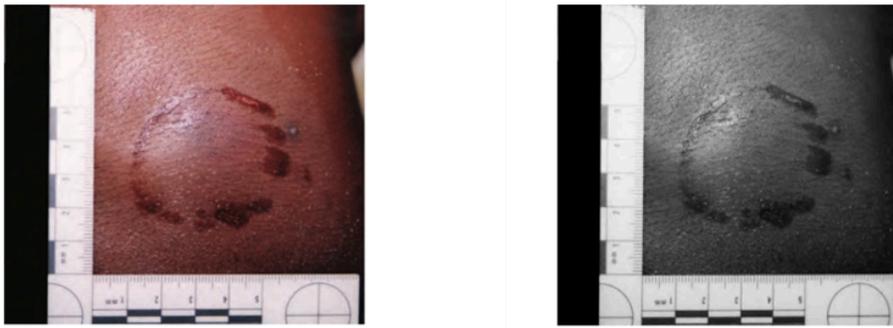


Figure 10 : Photographie d'une trace de morsure en couleur (à gauche) et en noir et blanc (à droite) [13] .

- Photographie infra-rouge

La lumière IR se situe entre 700 et 900 nanomètres.

Les photographies infra-rouges sont indiquées lors d'atteintes du derme et de l'hypoderme.

En effet, les longueurs d'ondes IR pénètrent le plan cutané profond, jusqu'à 3mm sous la peau et sont absorbées au niveau des zones d'ecchymoses. (Ces zones apparaissent donc noires sur les photos). Elle permet de localiser les saignements sous-cutanés.

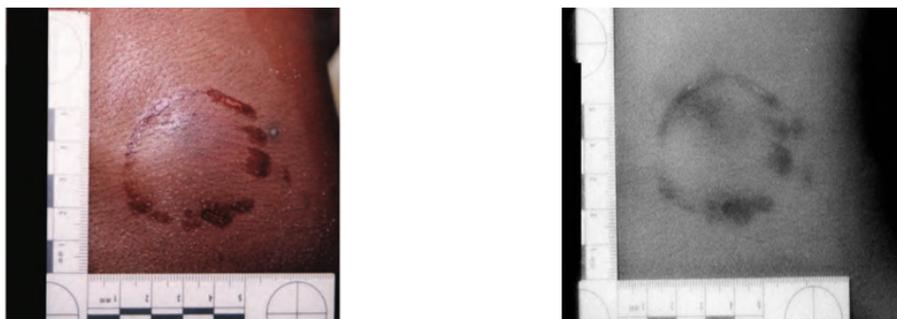


Figure 11 : Photographie d'une trace de morsure en couleur (à gauche) et en infra-rouge (à droite)[13] .

- Photographie ultra-violette

La longueur d'onde de lumière UV se situe en dessous de 400 nanomètres.

Les photographies ultra-violettes sont indiquées lorsqu'il y a des atteintes de l'épiderme (ecchymoses et abrasions superficielles) ou qu'une marque de morsure déjà estompée est découverte. Cette lumière permet dans le cas d'une morsure de différencier les tissus sains des tissus endommagés.

Lors de la guérison d'une morsure, les produits sanguins comme l'hémoglobine et la mélanine migrent vers la périphérie de la blessure, en surface de la peau et dans l'épiderme.

Les rayons UV ne pénètrent pas les couches profondes de la peau et sont pour beaucoup réfléchis.

Lors de la photographie, la réflexion de ces rayons améliore la netteté de l'image.

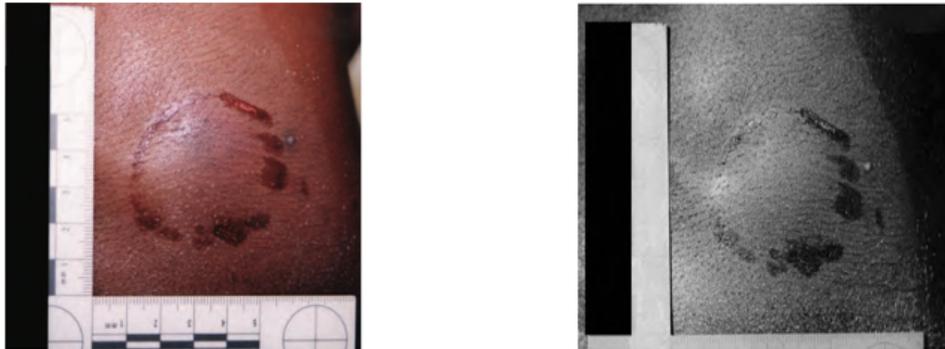


Figure 12 : Photographie d'une trace de morsure en couleur (à gauche) et en ultra-violet (à droite)[13] .

- Photographie A.L.I

L'Alternative Light Imaging ou ALI utilise une lumière médico-légale monochromatique à 450 nm.

Cette technique permet de capturer les rayons de fluorescence afin d'accentuer les différences entre les tissus sains et endommagés et permet de distinguer les ecchymoses de marques de morsures sur la peau. C'est une technique qui permet d'améliorer la visibilité des blessures.

Le principe de fonctionnement est le suivant : Certains composants de la peau comme le collagène, la kératine ou la graisse sous-cutanée sont bioluminescents et transmettent ainsi la lumière alors que d'autres comme la bilirubine, l'hémoglobine, la mélanine l'absorbent.

Un épiderme intact, sain, est fortement bioluminescent. Lorsqu'une personne est blessée ou présente une marque de morsure, les zones lésées contiennent un fort têt de sang, d'hémoglobine, de mélanine. Ainsi la zone absorbe la lumière et apparaît sombre.

C'est cette différence d'absorption de la lumière qui est utilisée pour contraster et augmenter les détails d'une photographie d'une marque de morsure.



Figure 13 : Photographie d'une trace de morsure en couleur (à gauche) et A.L.I (à droite)[13] .

Pour conclure sur les règles en photographie :

Ainsi la photographie est fondamentale pour la conservation des preuves et doit répondre à certains critères :

- Utilisation d'un angle de 90° lors de la réalisation des clichés afin de diminuer les distorsions.
- Plusieurs clichés dans plusieurs plans doivent être réalisés.
- La prise de photographie avec et sans règle ABFO n°2 (sur le même plan que la morsure) est primordiale.
- Des photos couleurs et noir et blanc doivent être réalisées.
- Prise de photographies avec et sans Flash.
- Les techniques IR et UV peuvent être utilisées pour documenter des tatouages, des égratignures, des blessures par balle, par coup de couteaux, des traces de ligatures et de nombreuses autres blessures. La technique ALI est utilisée pour l'examen d'ecchymoses associés à d'éventuels abus, ou des agressions.

1.3.1.3. Conservation des preuves

1.3.1.3.1. La prise d'empreintes [3], [13], [21], [45], [48]

Une empreinte de la blessure peut être réalisée pour enregistrer les indentations et autres marques laissées lors de la morsure.

Le matériau le plus précis pour la réalisation d'empreinte est le polyvinylsiloxane (silicone). Il est possible d'utiliser également du polyéther.

L'empreinte est ensuite coulée au plâtre. Il est préférable de réaliser des duplicatas des modèles en plâtre afin d'en conserver certains pour des analyses ultérieures si besoin.

Il faudra documenter le type de matériaux utilisés, le numéro de lot, la date d'expiration selon les recommandations de l'ABFO.

Aujourd'hui l'utilisation de scanner optique ou laser afin de réaliser des empreintes numériques tridimensionnelles est de plus en plus répandue parmi les chirurgiens-dentistes.

Cette méthode peut aussi être employée afin d'enregistrer en trois dimensions et en numérique la blessure retrouvée sur une victime ou le modèle en plâtre de la blessure. Ce qui permettra ensuite une analyse tridimensionnelle des marques de morsures et une comparaison avec les dentitions de potentiels suspects.

1.3.1.3.2. Prélèvements tissulaires [13], [48]

Le prélèvement de la lésion et sa fixation permettent une analyse macroscopique et histologique.

Cela peut être utile lorsqu'un suspect est interpellé plusieurs mois ou années après le crime.

Il est nécessaire de réaliser des photographies du prélèvement avant et après fixation. Cette technique permet l'étude des tissus par transillumination et par l'histologie.

1.3.2. Sur le suspect

1.3.2.1. Recueil des preuves physiques et biologiques [3], [13], [45], [48]

Lorsqu'il existe un suspect, il est nécessaire que le procureur délivre un accord pour l'examen de ses dents ou que celui-ci signe un consentement éclairé. Il est important de recueillir plusieurs informations :

- Examen Exobuccal :
 - L'état des articulations temporo-mandibulaires (déviation), la présence d'asymétrie, de dysharmonie occlusale (classe d'Angle, recouvrement et surplomb) et la valeur de l'ouverture buccale.
 - La fonctionnalité des muscles masticateurs, la taille et la fonctionnalité de la langue.
- Examen Endobuccal :
 - Dentaire :
 - Dents présentes : mobilité, fracture, restaurations, caries
 - Dents absentes
 - Parodontal :
 - Type de parodonte
 - Maladie parodontale : poches, inflammation, tarte

De plus, des écouvillons buccaux doivent être prélevés : la technique de prélèvement dépend de la préférence du laboratoire. Ils seront ensuite analysés et comparés aux prélèvements retrouvés sur la victime.

1.3.2.2. Conservation des preuves [3], [13], [45], [48]

1.3.2.2.1. Photographies

Il est nécessaire de réaliser des photographies du visage, de face et de profil.

Ainsi, selon les recommandations de l'ABFO [3], il est nécessaire de réaliser :

- Photographies extra-orales
- Photographies complètes de la face
- Photographies de profil 3/4 droit et gauche
- Photographies de profil
- Photographies intra-orales (si besoin avec des écarteurs et des miroirs)
 - Vue antérieure, dents en occlusion
 - Vue antérieure, demi-ouverture
 - Vue antérieure, mandibule en propulsion
 - Vue antérieure, ouverture buccale maximale (avec et sans l'échelle de référence)
 - Vues latérales
 - Vue occlusale de chaque arcade.
 - Images des surfaces d'un mordu en cire (avec et sans références)

Il est recommandé d'utiliser une échelle de référence ou mire millimétrée pour prendre des mesures à partir des photographies.



Figure 14 : Photographie de la bouche d'un suspect : en occlusion (en haut à droite), en ouverture maximale (en haut à gauche), Arcade maxillaire vue occlusale (en bas à gauche) et arcade mandibulaire vue occlusale (en bas à droite)[13].

1.3.2.2.2. Empreintes

Des empreintes de l'ensemble des dents doivent être réalisées afin d'enregistrer les caractéristiques précises des dents du suspect.

Selon l'ABFO les empreintes conventionnelles et numériques sont toutes les deux acceptables.

- Empreintes conventionnelles

Il est recommandé d'utiliser des matériaux précis comme le polysiloxane de vinyl ou du polyéther. Selon R. Dorion, il est préférable de réaliser 3 modèles de chaque arcade. Les premiers sont conservés comme référence et les autres servent aux mesures et aux comparaisons. Des macro-photographies des modèles du suspect sont réalisés en utilisant la règle ABFO numéro 2. Les images sont ensuite comparées aux images de morsure. Une cire d'occlusion permet d'enregistrer la relation centrée du suspect puis sera photographiée après son enregistrement afin de vérifier qu'aucune distorsion ne s'est produite lors de la réalisation des photographies.

Les modèles en plâtre peuvent ensuite être scannés en trois dimensions afin de réaliser une analyse et une comparaison tridimensionnelle avec une trace de morsure.

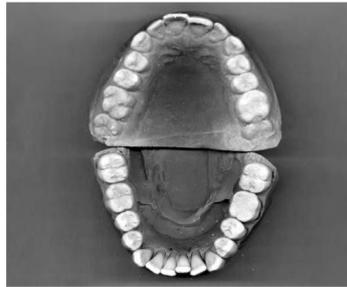


Figure 15 : Photographie de moulages dentaires bi-maxillaires en plâtre [13].

- Empreintes numériques

L'utilisation des techniques de scanner optique ou de scanner laser permet de réaliser des empreintes de la bouche du suspect. Les fichiers numériques peuvent être analysés directement, il est aussi possible de créer des moulages physiques pour la conservation de preuves et afin de procéder à une analyse manuelle. L'occlusion peut être directement enregistrée grâce aux scanners.



Figure 16 : Empreintes numériques des arcades maxillaire (à gauche) et mandibulaire (à droite) réalisées [39]

1.3.3. Recueil et traitement des données [2], [3], [13], [20], [25], [27], [34], [35], [47]

L'identification d'un suspect est basée sur l'individualité de sa dentition. La comparaison entre le modèle dentaire d'un suspect et la trace de morsure retrouvée se fait dent par dent, arcade par arcade et se repose sur la taille, la forme et l'alignement des dents.

Par définition la comparaison est un examen de deux ou plusieurs éléments « afin d'examiner leurs ressemblances ou leurs différences » [11].

La comparaison d'une marque de morsure à la dentition d'un suspect peut être réalisée par plusieurs méthodes utilisant la superposition d'overlays (calques qui reproduisent le contour des limites occlusales des dents du suspect) aux traces retrouvées sur la victime.

Elle permet également de déterminer si une personne peut être éliminée d'un groupe de suspects. Ainsi comme nous avons vu précédemment le recueil des éléments permettant la comparaison des dents du suspect aux traces retrouvées sur une victime peut se faire par la photographie (bidimensionnelle) ou par l'utilisation de scanners.

Historiquement les comparaisons des « bitemarks » étaient réalisées à partir de techniques de générations d'overlays dessinés à la main, en cires, de photocopies, de numérisations ou plus récemment générés par ordinateur (génération d'overlay sur des logiciels type Adobe Photoshop). Ces overlays étaient alors superposés aux photographies des marques de morsures et une analyse uniquement visuelle était réalisée.

Ces méthodes 2D ont néanmoins de nombreuses limites :

- La possible erreur humaine, c'est le biais de l'observateur, lors de l'enregistrement de la manipulation ou de l'interprétation des données pendant la génération de superposition.
- La perte des informations tridimensionnelles (comme la profondeur des indentations).
- La possible création de distorsions lors de la documentation photographique.

Mais que sont les distorsions, d'où proviennent t'elles et comment les éviter ?

Une distorsion est « la déformation d'une image due à une courbure de miroir » mais aussi « un état de torsion qui déforme la peau » [12].

Dans notre domaine d'étude les distorsions apparaissent lors de la réalisation de la morsure sur une surface élastique (la peau par exemple) ou lors de la documentation photographique de la morsure.

- Lorsqu'elles dépendent du phénomène de morsure, ces distorsions sont dynamiques (elles dépendent de l'action et du mouvement de la mâchoire du suspect) et tissulaires (dépendent des caractéristiques des tissus mordus) et sont nommées distorsions primaires.

- Lorsqu'elles sont dépendantes du temps (étapes de cicatrisation et d'inflammation), de la posture de la victime et de l'angle utilisé lors de réalisation de photographies (photographies 2D pour une blessure en 3D), elles sont nommées distorsions secondaires.

Les distorsions dues à la déformation de la peau ne peuvent être évitées. Il est nécessaire cependant de les prendre en compte et de rester vigilant lors des analyses.

Les distorsions dues à l'enregistrement photographique de la trace de morsure peuvent être évitées par l'utilisation de nouvelles méthodes d'enregistrement, en conservant les informations tridimensionnelles de la peau.

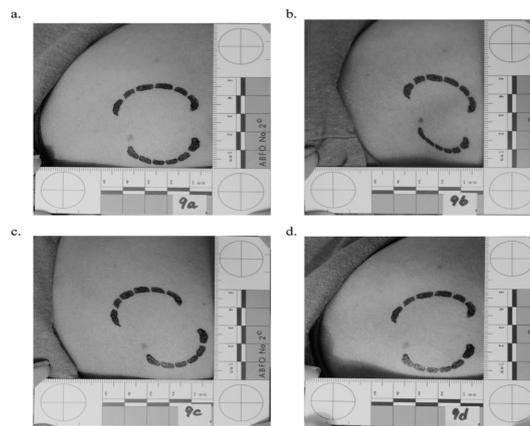


Fig. 2. Sample photographs: (a) position A, (b) position B, (c) position C, and (d) position D.

Figure 17 : Effets de l'élasticité de la peau sur la distorsion des marques de morsure [25] .

Des techniques tridimensionnelles appliquées à la dentisterie, notamment pour l'enregistrement et la réalisation de prothèses dentaires, sont depuis quelques années utilisées dans le domaine de l'odontologie légale afin de réduire les distorsions et la perte d'informations cruciales pour l'investigation.

Ainsi, les techniques actuellement utilisées en France d'enregistrement bidimensionnel des traces de morsures présentent de nombreux défauts et de nouvelles méthodes tridimensionnelles ont vu le jour : la photogrammétrie tridimensionnelle ou l'utilisation de différents types de scanner tridimensionnels. C'est pourquoi nous avons décidé de nous pencher sur ces nouvelles méthodes pour évaluer leur efficacité mais aussi leur reproductibilité.

L'objectif de notre thèse est donc d'évaluer expérimentalement la pertinence d'une analyse tridimensionnelle de traces de morsure par rapport à l'analyse bidimensionnelle, afin de limiter les biais liés à l'observateur lors de l'enregistrement et l'analyse, la perte des informations tridimensionnelles mais aussi limiter le plus possible les distorsions lors de l'enregistrement, distorsions qui peuvent conduire à une déformation de la trace enregistrée et analysée.

De plus, nous souhaitons établir un protocole d'enregistrement et d'analyse simple et reproductible sur le terrain.

2. Expérimentation clinique

2.1. Objectif

Le scanner 3D étant peu utilisé par la police scientifique faute de mise à disposition, il nous a semblé intéressant, pour cette étude, d'évaluer la reproductibilité et la fiabilité de la photogrammétrie tridimensionnelle comparativement à celle de la photographie bidimensionnelle ainsi que l'utilisation de la caméra 3D et d'un scanner 3D portable, le Scanify de la société Fuel3D. Notre but est aussi d'établir un protocole qui puisse être appliqué sur le terrain lors de la découverte d'une trace de morsure. [4], [25].

2.2. Protocole clinique d'acquisition et de comparaison d'objets 3D

Ainsi, comme l'ont conclu de nombreux auteurs, la cire ou les autres substrats alimentaires ne reproduisent pas la complexité de la peau humaine ; des études ont montré que la peau de porc était le matériau d'enregistrement qui s'en rapprochait le plus. Cependant ce substrat facilement retrouvé dans le commerce n'autorise pas la reproduction des réactions inflammatoires qui surviennent lors d'une morsure sur une personne vivante ainsi que les déformations dues au comportement viscoélastique de la peau humaine.

Nous avons donc décidé, pour notre expérimentation d'utiliser dans un test de morsure, à la fois un morceau de peau de porc ainsi que la peau du bras de la rédactrice de ce travail afin que l'on puisse comparer ces deux substrats lors de l'analyse.

Trois techniques d'enregistrement tridimensionnelles ont été évaluées pour ces morsures : Tout d'abord la photogrammétrie qui s'appuie sur la prise de nombreuses photos à différents points de vue de l'objet à reconstruire en 3D, une caméra optique utilisée en dentisterie (3 Shape) et enfin une caméra 3D (Fuel3D) présentée comme un scanner de surface mais utilisant plutôt le principe de stéréophotogrammétrie.

Des empreintes de la dentition du mordeur et de celle de deux autres volontaires ont été réalisées.

Les fichiers photographiques ont été transférés dans un logiciel de transformation (3D Zéphyr) pour créer un modèle numérique tridimensionnel virtuel comparable au modèle tridimensionnel obtenu directement grâce aux caméras et scanner 3D.

Les fichiers, obtenus des traces de morsures sur la peau ainsi que ceux de la dentition du volontaire, ont ensuite été comparés visuellement et géométriquement dans un logiciel.

Substrats utilisés	Méthode d'enregistrement de la trace de morsure	Méthodes d'acquisitions des modèles des dentitions des suspects	Méthodes de traitement et comparaison des données
Peau de porc post-mortem	Photographie 2D	Empreinte en plâtre - coulées - numérisation des modèles en 3D	MeshLab
Peau humaine	Photogrammétrie	Empreintes numériques 3D	Cloudcompare
	Enregistrement caméra Fuel 3D		
	Enregistrement caméra 3Shape		

Figure 18 : Tableau récapitulatif des différents substrats et des méthodes d'enregistrement, d'acquisition et de comparaison utilisées lors de notre expérimentation [39]

2.3. Méthode et matériel

2.3.1. Réalisation des morsures

Pour réaliser une morsure sur la peau de porc et faire une comparaison objective avec la peau humaine il était indispensable de reproduire la morphologie d'un bras humain. Pour cela, il fut nécessaire d'utiliser une surface conique dure (comme un manche en bois), reproduisant grossièrement la surface osseuse, recouverte d'une surface molle, dépressible, (textile), simulant les épaisseurs de muscles et de graisse, sous la couche de peau.

Des morsures ont été réalisées sur la peau de cochon et sur le bras Humain. L'objectif de cette expérience n'étant pas d'obtenir des morsures sévères avec un haut niveau de preuve, mais de pouvoir appliquer notre protocole sur des morsures superficielles, à niveau de preuve faible à modéré.

Ainsi les morsures effectuées par le volontaire étaient pour la plupart de sévérité de classe 2 (selon l'échelle de PRETTY) [33] : elles présentaient un hématome visible, des traces de dents discrètes associées mais la peau était intacte.



Figure 19 : Morsure réalisée sur la peau de porc (à gauche), Morsure réalisée sur le bras du volontaire (à droite) [39]

2.3.2. Acquisition et enregistrement

Plusieurs techniques d'acquisition ont été utilisées : la photogrammétrie, la photogrammétrie associée au Mesh Coloring (colorisation du maillage), l'enregistrement de la trace de morsure à l'aide d'une caméra 3D (Fuel 3D) et d'une caméra pour empreinte optique dentaire (3 Shape).

2.3.2.1. Photogrammétrie [15], [46]

La photographie tridimensionnelle est une technique à mi-chemin entre la photographie 2D conventionnelle et l'utilisation d'un scanner 3D. Plusieurs dizaines de clichés d'un objet sont réalisés et permettent une reconstitution de l'objet en trois dimensions.

Afin d'obtenir des images de qualité optimale de nombreux paramètres sont à respecter.

En ce qui concerne les réglages de l'appareil photographique :

- L'appareil ne doit en aucun cas être réglé en mode automatique, en effet les paramètres entre chaque image doivent être constants, pour cela il est donc nécessaire d'utiliser un mode manuel.
- La sensibilité ISO doit être la plus faible afin d'obtenir des images de meilleure qualité.
- Pour limiter le flou il est important de stabiliser l'appareil en utilisant un trépied.
- L'utilisation du flash pour la photogrammétrie n'est pas conseillée car la lumière lors de l'enregistrement doit être constante et uniforme.
- Il est recommandé d'utiliser une focale fixe plutôt que des zooms afin que la calibration de l'objet lors de la transformation par l'ordinateur soit meilleure.
- Lorsque l'objet à enregistrer est lisse et présente peu de texture (ce qui est le cas de la peau) le logiciel a du mal à détecter des points homologues afin d'associer des images, pour cela il est donc nécessaire de placer des repères autour de la blessure pour faciliter l'alignement.
- Plus il y a de photographies réalisées, plus les risques de distorsions seront réduits.
- En ce qui concerne le protocole d'acquisition :

Il est important que la proportion commune entre deux images de l'objet soit grande, recouvrement de 40% au moins afin d'avoir de nombreux points clés, communs entre deux photographies. Cela permet au logiciel de réaliser un bon alignement.

Plus l'objet est lisse, moins il y a de détails et donc plus le recouvrement entre chaque image doit être important.

Les photographies se font tout autour de l'objet. Il peut être intéressant de réaliser une acquisition circulaire en variant la hauteur et l'inclinaison afin de n'oublier aucun angle. Des photographies additionnelles au niveau des détails importants doivent être réalisées pour plus de précision.



Figure 20 : Différentes positions de l'appareil photo (représentées par les triangles bleus) lors de l'enregistrement, ayant permis la reconstitution 3D par photogrammétrie d'un bras humain. [39]

Lorsque le modèle à photographier est peu texturé il est préférable plutôt que d'ajouter des points de repères d'utiliser des "plots", des épingles ou des objets tridimensionnels qui faciliteront le traitement par le logiciel de transformation 3D.



Figure 21 : Photographie d'une trace de morsure réalisée sur bras humain à l'aide de plots et d'une mire [39]

Nous avons choisi de réaliser une centaine de clichés de la blessure afin de garantir l'enregistrement des multiples détails.

Nous avons respecté le protocole d'acquisition mentionné plus haut afin de limiter les distorsions.

Une fois les photographies réalisées, elles ont été importées dans un logiciel de transformation 3D. Le logiciel utilisé, 3D Zephyr, a permis l'élaboration d'un modèle tridimensionnel numérique par alignement des photographies en créant tout d'abord un nuage de points puis un réseau de triangle ou mesh entre ces points et pour finir définir la texture de l'objet.

Le modèle virtuel a été exporté au format STL afin de conserver un maximum d'informations. Tous les fichiers à comparer ont été convertis au même format.

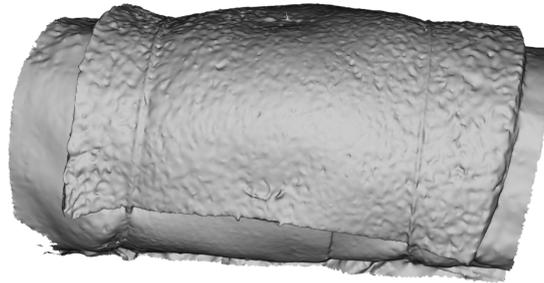


Figure 22 : Modèle tridimensionnel de la peau de cochon sur son support acquis par photogrammétrie simple [39]

Cas particulier : « Mesh coloring »

C'est un procédé qui consiste à appliquer une image plane bidimensionnelle (une photographie) sur la surface d'un modèle en volume tridimensionnel issu de la photogrammétrie.

Par la photogrammétrie nous avons donc obtenu la morphologie d'un bras en trois dimensions et donc la courbure réelle de la trace de morsure. L'application d'une photographie supplémentaire de la trace sur le modèle permet d'augmenter la précision au niveau des détails des indentations.

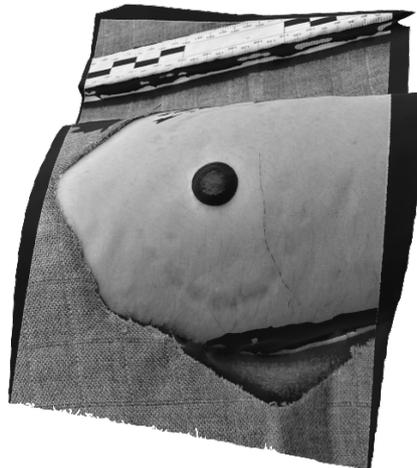


Figure 23 : Modèle tridimensionnel d'un bras humain avec morsure acquis par photogrammétrie et application d'une photographie supplémentaire selon la technique « Mesh coloring » [39]

Nous avons utilisé cette technique principalement car la photogrammétrie nécessite une quantité très importante de clichés pour élaborer un modèle 3D.

Notre but était d'évaluer si une petite quantité d'images suffisait à créer un modèle 3D du bras et si l'application d'une photographie supplémentaire de la morsure permettait une reproduction assez précise de la trace en 3 dimensions.

C'est une technique à mi-chemin entre la photogrammétrie et l'analyse bidimensionnelle simple.

Contrairement à l'UV-mapping, qui consiste en la création ou la modification de la texture d'un objet 3D grâce à des photos, le « Mesh coloring » nous a permis de colorer directement le maillage de notre objet tridimensionnel afin de simplifier notre protocole de comparaison et d'alignement avec les modèles dentaires des suspects sur le logiciel Cloud Compare.

2.3.2.2. Caméra Tridimensionnelle [41]



Figure 24 : Caméra Fuel 3D [41] .

C'est un scanner portable 3D qui associe deux caméras stéréo et de l'imagerie photogrammétrique. La caméra Fuel 3D utilise la stéréophotographie : elle se base sur l'interprétation par notre cerveau de ce que voient l'œil droit et l'œil gauche, et qui nous permet d'apprécier les reliefs, les distances et les profondeurs, et ainsi la tridimensionnalité des objets que nous voyons.

L'acquisition très rapide permet d'obtenir des images en trois dimensions.

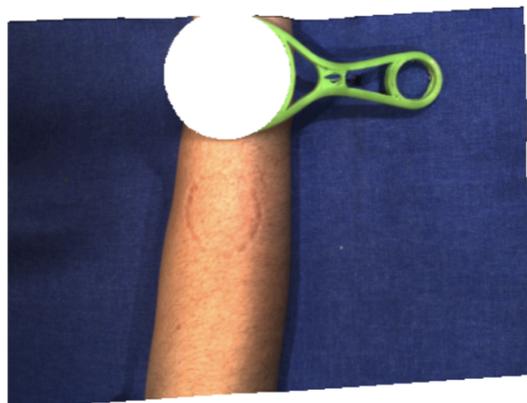


Figure 25 : Modèle tridimensionnel d'un bras humain avec morsure acquis par caméra Fuel 3D [39]

2.3.2.3. Scanner 3Shape [23]

La caméra TRIOS de 3Shape permet un scannage en flux continu (ou full motion) et enregistre les données en continue sous forme de vidéo.

Cette caméra s'appuie sur les changements de hauteur de l'objet ; lors de l'enregistrement la machine calcule la position de points spécifiques dans l'espace et produit un modèle 3D de l'objet. L'acquisition est visible en direct grâce au logiciel.



Figure 26: Caméra TRIOS de 3Shape [1].

Nous avons réalisé des modèles tridimensionnels des morsures grâce à cette caméra.

Le principal problème que nous avons rencontré était que les traces ne présentaient pas suffisamment de variation de hauteur pour que la caméra puisse les scanner, il a donc été nécessaire de positionner des repères volumétriques tout autour (comme présent sur les figures ci-dessous) des zones de morsures pour permettre à la caméra optique un enregistrement précis et fiable. Les fichiers ont ensuite été sauvegardés au format STL.

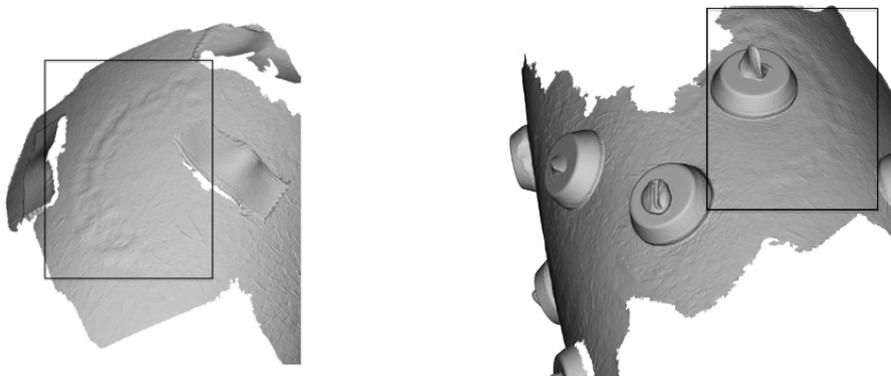


Figure 27 : Modèle 3D de trace de morsure mandibulaire sur bras Humain acquis par scanner 3Shape avec sparadrap (à gauche),
Modèle 3D de trace de morsure maxillaire sur bras Humain acquis par scanner 3Shape avec plots tridimensionnels (à droite) [39]

2.3.3. Étapes de transformation

Les protocoles des logiciels sont disponibles en Annexe.

2.3.3.1. Recadrage des modèles

Sur les modèles 3D des dents, seules les 6 premières dents maxillaires et mandibulaires (incisives et canines) ont été conservées afin de faciliter l'analyse. Dans le logiciel Meshlab, qui est un logiciel de traitement des maillages 3D, nous avons donc réalisé des recadrages de nos modèles. Le palais et les muqueuses ont aussi été découpés ; les mêmes recadrages ont été réalisés sur tous les modèles de nos suspects.

Sur chaque trace de morsure des recadrages ont aussi été réalisés afin d'obtenir deux fichiers séparés : Une morsure mandibulaire et une morsure maxillaire.

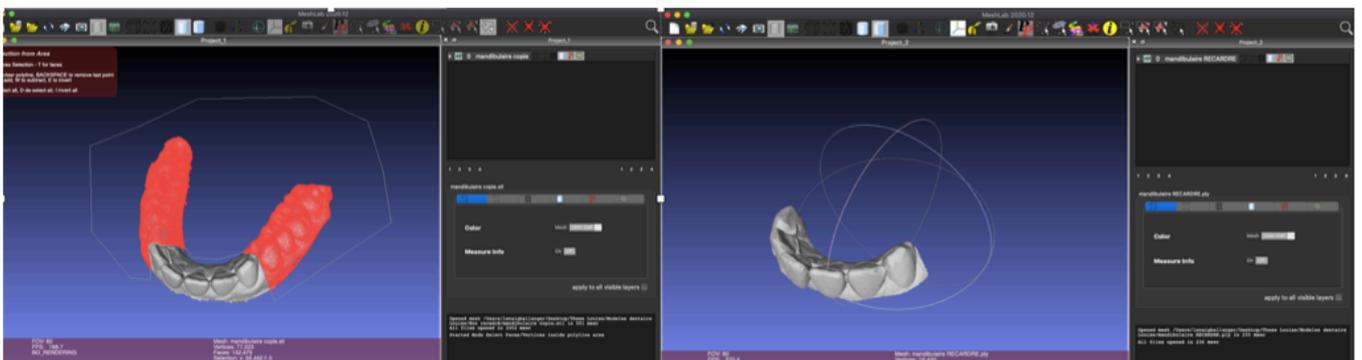


Figure 28 : Modèle tridimensionnel de dents mandibulaire avant (à gauche) et après (à droite) recoupe dans le logiciel MeshLab [39]

2.3.3.2. Coloration

Lors de l'alignement des modèles, l'observateur doit sélectionner des points communs entre les deux objets afin que le logiciel les fasse correspondre.

Pour faciliter cette étape, nous avons, en amont, réalisé une coloration des objets selon leurs variations topologiques (c'est à dire leur profondeur). Pour cela nous avons utilisé le logiciel MeshLab.

Cette étape permet d'observer au niveau de la blessure la profondeur des indentations et au niveau des modèles dentaires les faces les plus saillantes des dents étant responsables des marques laissées sur la peau. Une comparaison visuelle peut déjà être effectuée à ce niveau.

Elle permet dans le cas où les indentations sont enregistrées par la caméra mais peu marquées, de pouvoir tout de même procéder à un alignement précis.

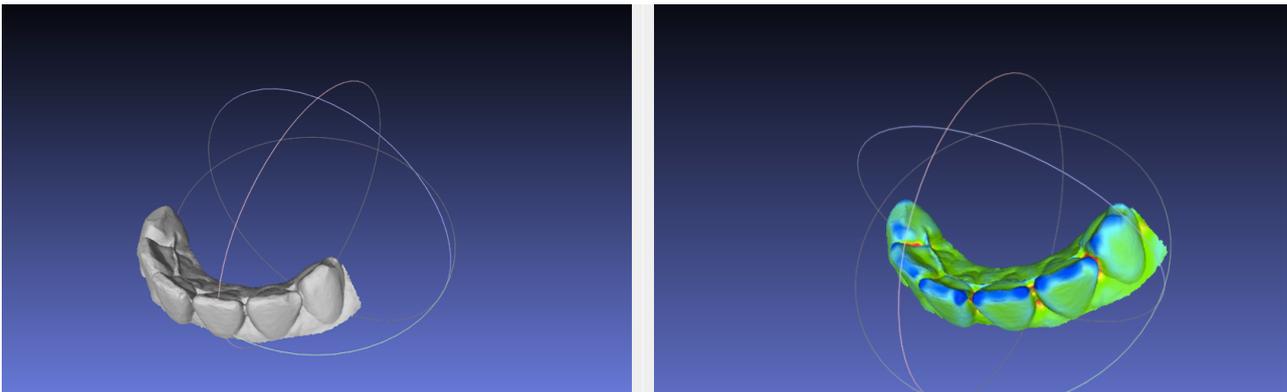


Figure 29 : (En Haut) Modèle tridimensionnel d'une trace de morsure avant (à gauche) et après (à droite) coloration dans MeshLab,
(En bas) Modèle tridimensionnel d'un modèle dentaire mandibulaire avant (à gauche) et après (à droite) coloration dans MeshLab [39]

2.3.4. Étape de comparaison [7], [14]

Le logiciel Cloudcompare a été utilisé pour réaliser l'alignement de la dentition sur la trace de morsure. C'est un logiciel de traitement des points 3D qui permet de comparer deux mailles en calculant la distance entre les points. Une échelle colorimétrique illustre ces différences.

Dans notre cas, une comparaison des distances entre les points d'une trace de morsure et des dents de chaque suspect a été réalisée.

Pour procéder à l'alignement il fallait sélectionner au moins trois points de repère communs sur chaque modèle. Une fois ces points sélectionnés, les objets ont été alignés par le logiciel *Cloudcompare*.

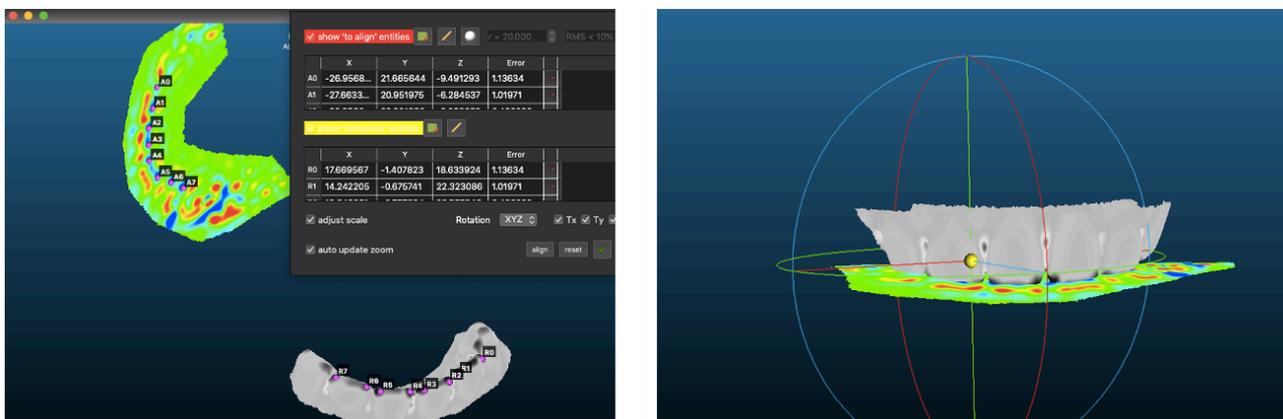


Figure 30 : (A gauche) Sélection des points sur le modèle dentaire et la trace de morsure pour alignement dans le logiciel, Cloudcompare, (A droite) Modèle dentaire et trace de morsure après alignement dans Cloudcompare. [39]

Une fois l'alignement effectué, la rotation et/ou translation d'un objet par rapport à l'autre peut être réalisée.

Lorsque le modèle dentaire est mobilisé tout en étant aligné avec la trace de morsure il est alors possible de reproduire la pénétration des dents dans la peau et d'évaluer visuellement la correspondance ou non des deux objets.

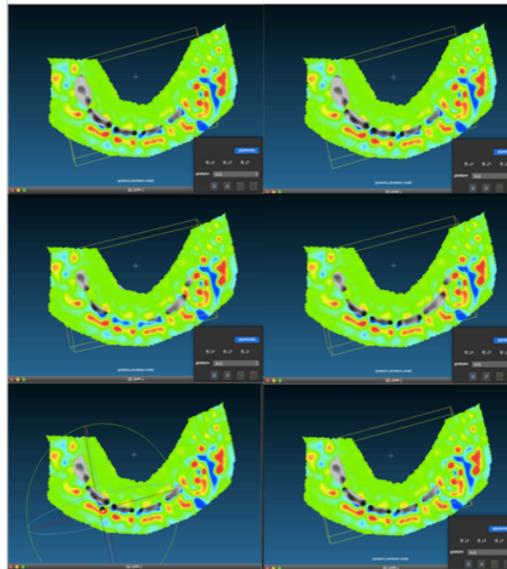


Figure 31 : Translation du modèle dentaire par rapport au modèle de morsure dans Cloudcompare après alignement entre les deux objets [39]

Cloudcompare peut calculer la distance la plus proche, la plus éloignée et la distance moyenne entre les deux objets et obtenir un écart type de ces distances.

Cela se traduit par la création d'overlays de couleurs.

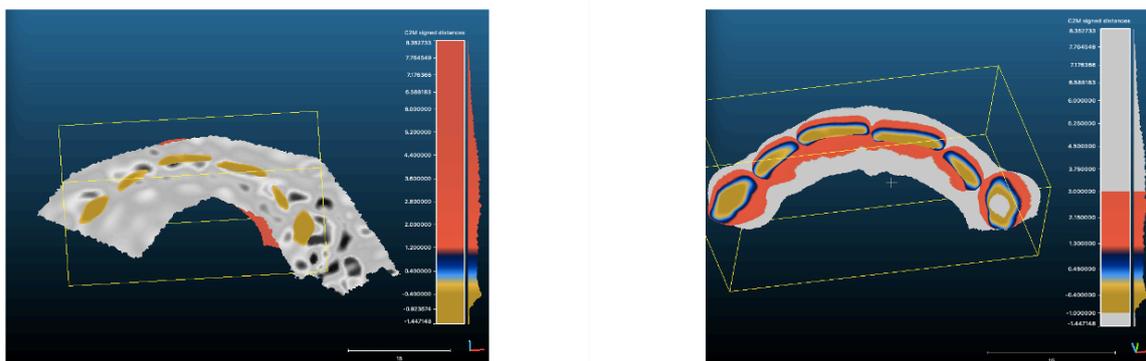


Figure 32 : Alignement d'un modèle dentaire et d'une trace de morsure et coloration des dents selon les distances entre les deux objets (à gauche) et modèle dentaire coloré selon l'échelle de distance entre le modèle dentaire et la trace de morsure (à droite) [39]

Sur cette carte, les écarts de distance entre les objets les plus petits sont affichés en bleu et jaune et les plus importants en orange.

L'objectif est donc de réaliser l'alignement entre la trace de morsure retrouvée et les modèles dentaires des différents suspects et de comparer les différents résultats visuellement et objectivement grâce aux distances données par le logiciel.

2.4. Résultats

Selon le tableau Américain d'odontologie légale (ABFO) [3], trois conclusions sont possibles à la fin d'une analyse de comparaison d'une trace de morsure :

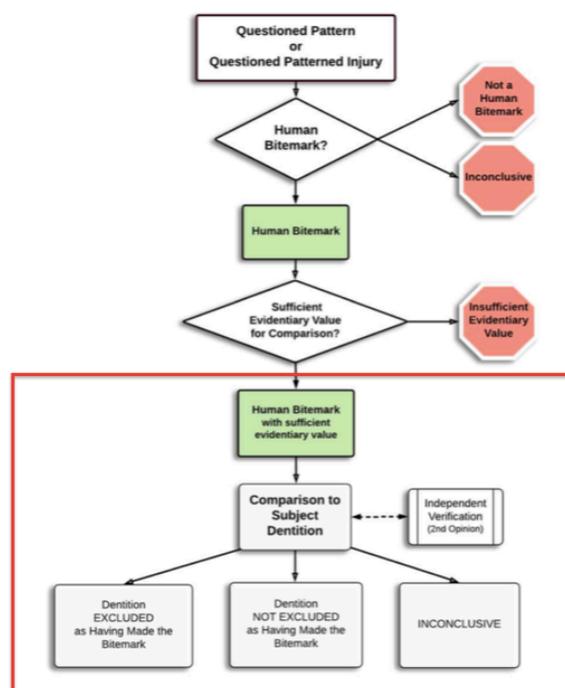


Figure 33 : Arbre décisionnel des normes et directives pour l'évaluation des marques de morsures selon A.B.F.O [3].

1. Exclusion : les écarts entre la marque de morsure et la dentition du suspect ne concordent pas, le suspect n'a pas pu réaliser cette marque.
2. Non concluante : Les détails et preuves ne sont pas suffisants pour conclure qu'il existe un lien entre la dentition du suspect et la blessure.
3. Mordeur possible : les dents du suspect pourraient avoir créées une marque comme celle retrouvée sur la victime mais il en serait de même pour d'autres mordeurs.

Lors de notre expérimentation, nous avons donc comparé les modèles maxillaires et mandibulaires de nos 3 suspects aux différentes traces de morsures.

	Suspect n°1	Suspect n°2	Suspect n°3
Maxillaire			
Mandibulaire			

Figure 34 : Tableau des modèles dentaires bi-maxillaires des 3 suspects utilisés pour notre expérimentation [39]

2.4.1. Photographie bidimensionnelle

C'est la méthode la plus communément utilisée aujourd'hui.

Les images de la blessure ainsi que des photos des modèles dentaires du suspect sont importés dans un logiciel graphique type « Adobe Photoshop » ou autres.

La réglette ABFO intégrée aux photographies des dents et des modèles permet aux clichés d'être ajustés à la même échelle.

Après importation des photographies des dentitions du suspect, il est nécessaire d'élaborer des calques (ou overlays) en deux-dimensions des faces occlusales des dents qui entrent en contact avec la peau lors de la morsure, afin de les comparer aux indentations retrouvées sur la victime.

Grâce au logiciel, des calques qui reproduisent le contour des dents suspectées d'avoir laissées une trace sont produits.

Nous avons utilisé des photographies en deux dimensions (en vue occlusale) des moulages dentaires tridimensionnels et une photographie de trace de morsure réalisée lors de notre expérimentation.

Chaque calque est par la suite superposé aux images de la blessure. La comparaison est seulement visuelle.

Au niveau maxillaire :



Figure 35 : Trace de morsure réalisé par des dents maxillaires sur un bras Humain [39]

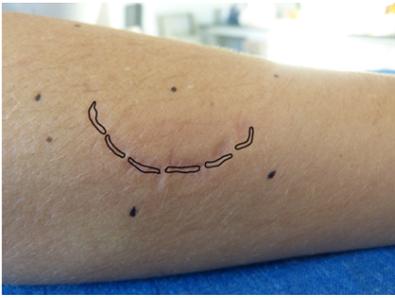
Suspect n°1	Suspect n°2	Suspect n°3
		

Figure 36 : Traces de morsures réalisées par des dents maxillaires sur un bras Humain avec superposition des overlays maxillaires pour chaque suspect [39]

Suspect 1 et 2 : Il existe une potentielle correspondance entre les dentitions et les indentations. Les overlays du suspect n°1 correspondent parfaitement aux indentations retrouvées sur le bras, pour le suspect n°2 on observe une correspondance parfaite secteur 1 et une correspondance un peu moins bonne, mais tout de même acceptable, secteur 2.

Ainsi ces deux suspects ont probablement pu être à l'origine de la morsure. Il est possible d'affirmer que le suspect 3 n'est pas à l'origine de la trace de morsure du fait de la non-concordance entre ses dents et les indentations présentes sur le bras ; en effet les faces occlusales des dents secteur 2, en malpositions, ne se superposent pas aux indentations.

Au niveau mandibulaire :



Figure 37 : Trace de morsure réalisées par des dents mandibulaires sur un bras Humain [39]

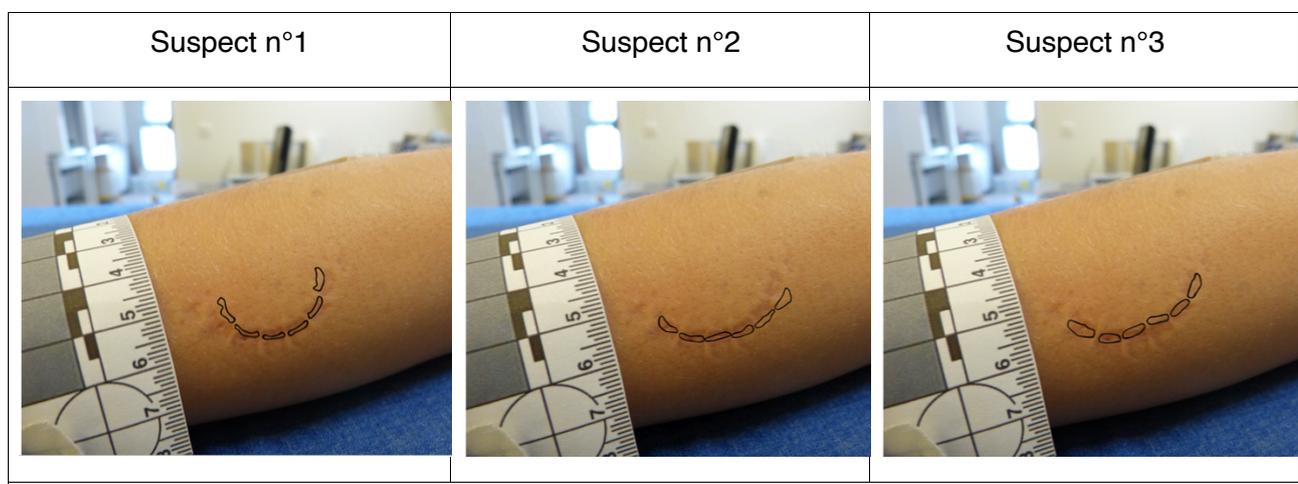


Figure 38 : Trace de morsure réalisées par des dents mandibulaires sur un bras Humain avec superposition des overlays mandibulaires pour chaque suspect [39]

Nous pouvons observer pour le suspect n°1 une correspondance au niveau de la forme et la taille des indentations sur le bras avec les faces occlusales des incisives des dents du suspect.

Cependant, la superposition des overlays à la trace de morsure n'est pas totale, il existe un décalage au niveau des incisives latérales et des canines : à cause de la distorsion survenue lors de l'enregistrement de l'image et lors du processus de morsure des tissus, il est nécessaire de déplacer le calque sur la trace de morsure afin d'obtenir une correspondance totale au niveau des canines. Il en est de même pour le suspect n°2.

La forme de l'arcade paraît correspondre à celle des traces.

Il est possible d'exclure le suspect n°3 du fait du mauvais alignement de ses dents mandibulaires. Il n'y a en effet pas de correspondance entre les overlays des incisives mandibulaires et des indentations réalisées par les dents mandibulaires sur le bras.

L'étude des images 2D et la comparaison à la dentition d'un suspect se révèle correcte mais peu précise, dépendant en grande partie de l'observateur, la courbure du bras crée dans ce cas une distorsion supplémentaire et il est difficile au niveau mandibulaire d'obtenir une correspondance totale. Il a tout de même été possible d'exclure le suspect n°3 mais les deux derniers suspects sont difficiles à départager.

Cette analyse est fiable dans le cas où les suspects présentent de nombreuses variations de forme ou d'alignement de leurs dents, comme pour notre 3ème suspect.

2.4.2. Photogrammétrie

2.4.2.1. Peau de cochon

Les résultats de la reconstruction 3D par photogrammétrie, de la morsure maxillaire sur peau de cochon, n'ont pas pu être exploités ; la trace de morsure étant trop superficielle.

En ce qui concerne les résultats mandibulaires :

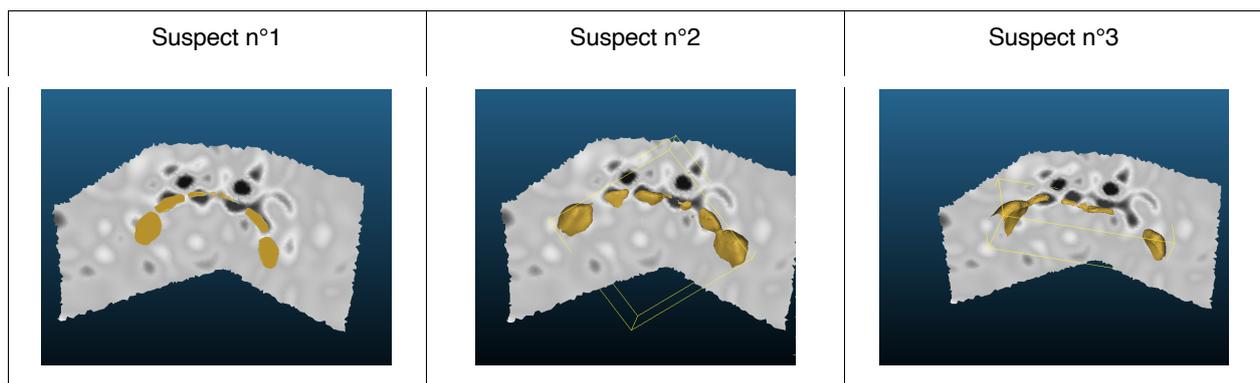


Figure 39 : Aligment des dents mandibulaires des suspects avec la trace de morsure réalisée sur la peau de porc et enregistrée par photogrammétrie [39]

Lors de l'analyse visuelle, on observe une possible concordance entre la position des incisives et les indentations pour le suspect n°1 et pour le suspect n°2.

Et il est possible d'exclure le suspect n°3 : effectivement la malposition des dents de ce suspect ne permet pas un alignement de ses faces occlusales aux indentations présentes sur la peau.

Lors de l'analyse de l'alignement grâce au logiciel Cloudcompare : la moyenne de Gauss, de la distribution des distances entre la trace de morsure et les dents du suspect, indique qu'il pourrait exister une possible correspondance entre la trace de morsure et le suspect n°1. Rien ne permet cependant d'exclure les suspects n°2 et n°3. Les valeurs des écarts types obtenus tendent à confirmer les résultats des courbes de Gauss, le suspect n°1 ayant l'écart type le plus précis.

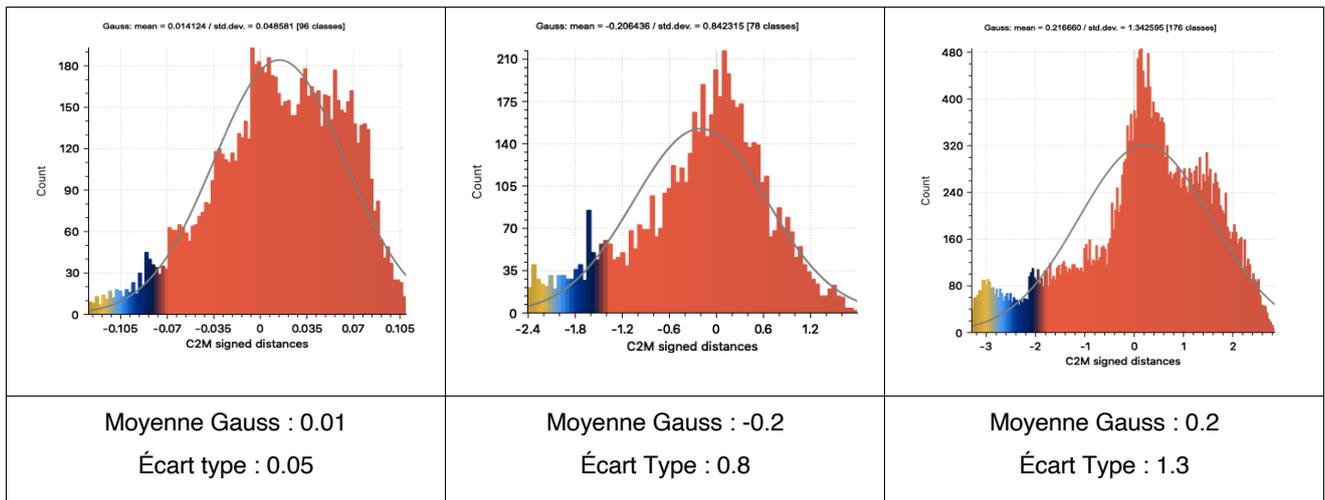


Figure 40 : Histogramme des distances (calculées entre la marque de morsure sur peau de porc et les dents mandibulaires après alignement) en fonction du nombre de points et ce pour chaque suspect [39]

Il est donc possible de conclure que le suspect n°1 est possiblement à l'origine de la trace de morsure selon les résultats des analyses visuelles et géométriques, les résultats de l'analyse pour le suspect n°2 sont non concluants et le suspect n°3 est exclu de la liste des suspects.

L'exploitation de la trace de morsure maxillaire aurait, dans ce cas, pu permettre une sélection plus précise de nos suspects ; l'analyse bi-maxillaire étant très importante pour disculper ou incriminer les individus potentiellement responsables d'une trace de morsure.

2.4.2.2. Peau Humaine

En ce qui concerne l'alignement entre les dents maxillaires de nos 3 suspects et les indentations retrouvées sur la peau de la victime présumée et enregistrée par photogrammétrie :

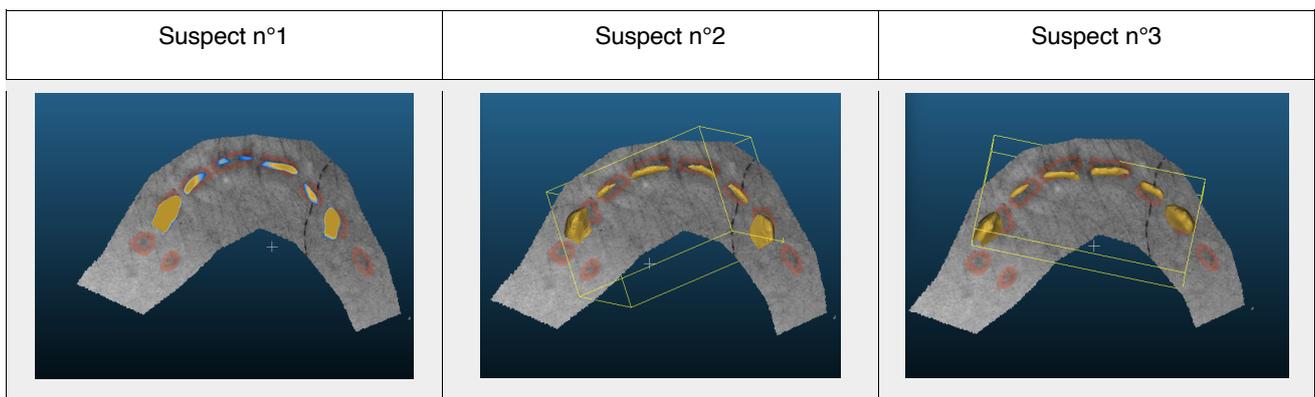


Figure 41 : Alignement des dents maxillaires des suspects avec la trace de morsure réalisée sur la peau Humaine et enregistrée par photogrammétrie « Mesh Coloring» [39]

Au niveau visuel, on observe une correspondance entre les dents maxillaires du suspect n°1 et les indentations présentes sur la peau. Il est moins probable que les suspects n°2 et 3 aient pu réaliser les traces, du fait du léger décalage présent entre leurs dents et les indentations, mais ils ne peuvent pas être exclus.

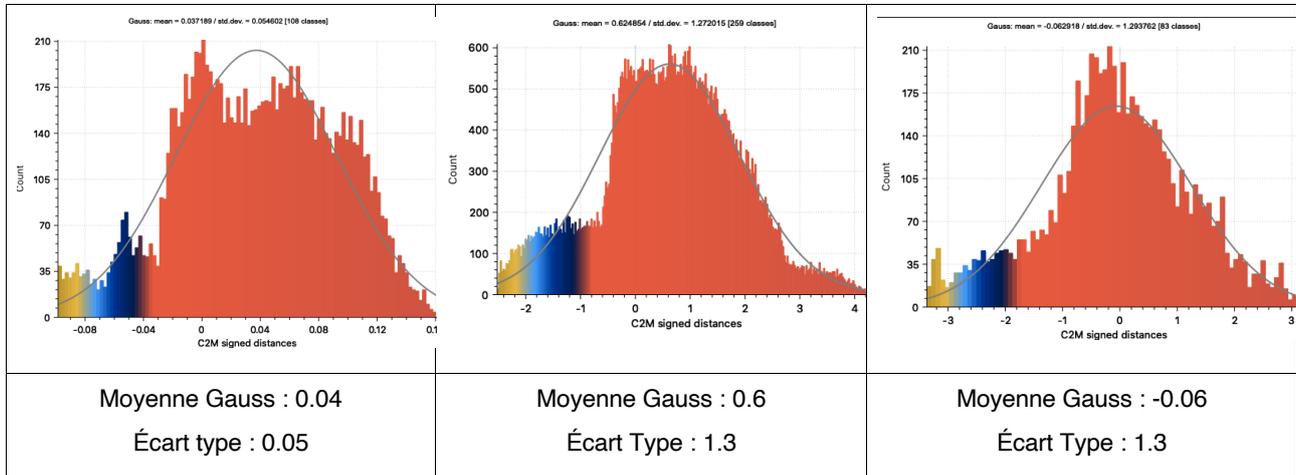


Figure 42 : Histogramme des distances (calculées entre la marque de morsure sur bras Humain et les dents maxillaires après alignement) en fonction du nombre de points et pour chaque suspect [39]

Après analyse des moyennes des courbes de Gauss de nos 3 suspects on peut conclure à une possible implication du suspect n°1 pour lequel la précision de l'alignement est élevée. L'écart-type confirme notre conclusion. Les analyses géométriques pour les suspect n°2 et 3 ne sont pas concluantes.

Les histogrammes ne permettent pas d'exclure un suspect en particulier, les valeurs données par les histogrammes ont donc tendance à confirmer notre analyse : on note une grande différence entre les intervalles de valeurs retrouvées chez le suspect 1 et celles retrouvées chez les suspects 2 et 3. En ce qui concerne les traces mandibulaires :

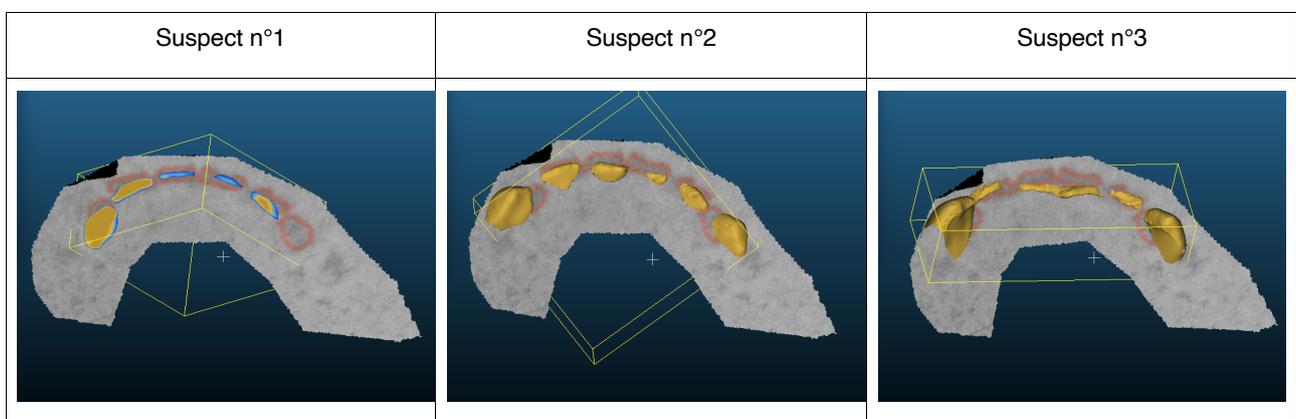


Figure 43 : Alignement des dents mandibulaires des suspects avec la trace de morsure réalisée sur la peau Humaine et enregistrée par photogrammétrie « Mesh Coloring» [39]

Après l'analyse visuelle, le suspect n°1 est possiblement à l'origine de la trace de morsure. Les indentations et les dents du suspect n°3 ne correspondent pas, il est possible de l'exclure.

Le décalage existant entre les dents et les indentations du suspect n°2 ne permettent pas d'exclure celui-ci ; en effet, la distorsion de la peau peut amener à un léger décalage entre les indentations et les faces occlusales des dents, cependant, la correspondance ne semble pas optimale.

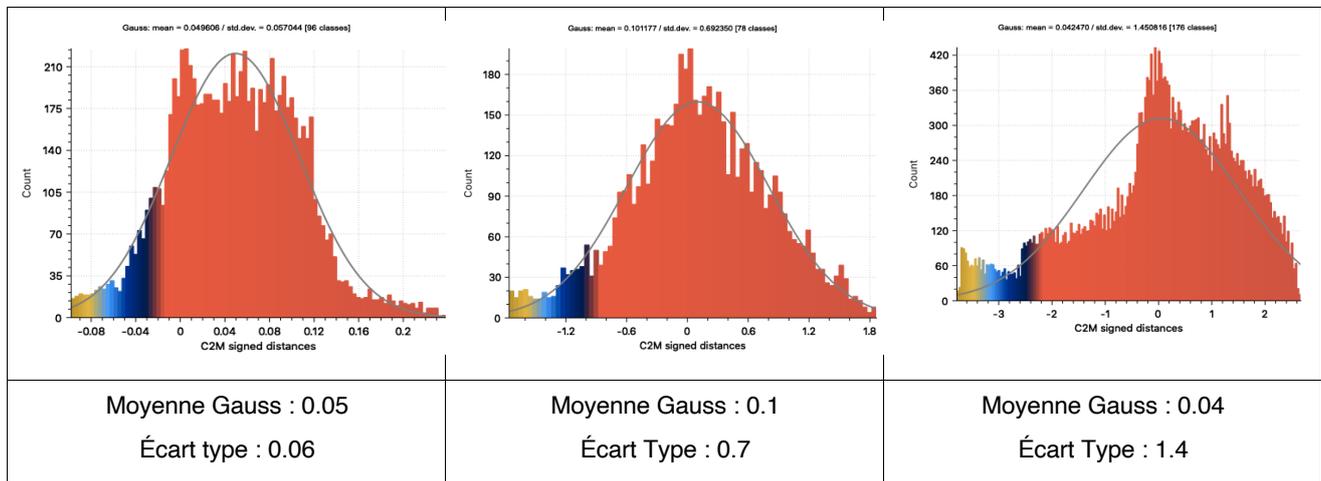


Figure 44 : Histogramme des distances (calculées entre la marque de morsure sur bras Humain et les dents mandibulaires après alignement) en fonction du nombre de points et pour chaque suspect [39]

Les valeurs de la moyenne de Gauss ainsi que des écart-types vont dans le sens de notre analyse, plaçant le suspect n°1 comme le mordeur le plus probable au niveau mandibulaire.

Au vu de la différence entre les valeurs de la moyenne et de l'écart type des suspects et l'analyse visuelle après l'alignement il est possible de conclure à une possible implication du suspect n°1, une exclusion du suspect n°3 et en ce qui concerne le suspect n°2 il ne peut être ni inclue ni exclu de la liste des potentiels suspects.

2.4.3. Caméra Fuel 3D

Concernant l'analyse de la trace maxillaire retrouvée et enregistrée par la caméra Fuel 3D :

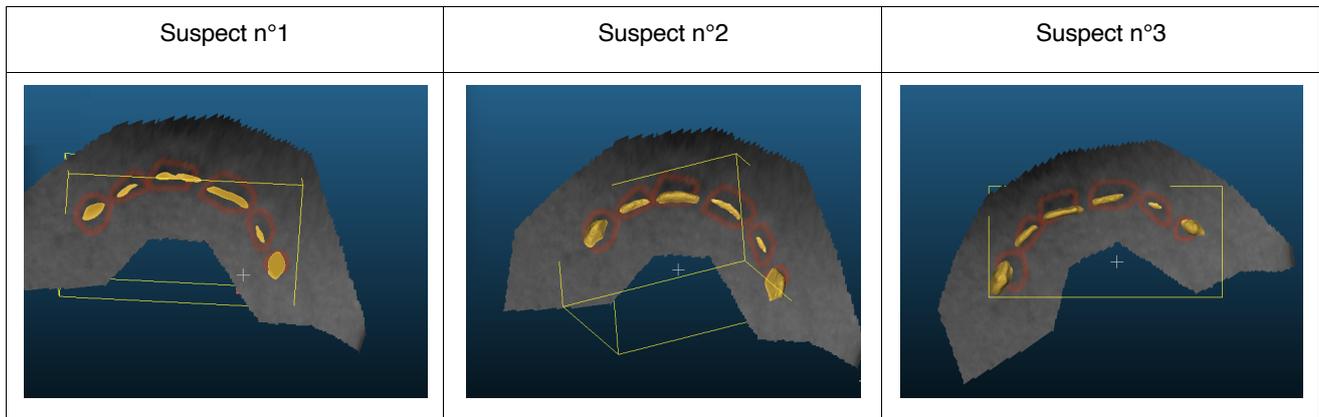


Figure 45 : Alignement des dents maxillaires des suspects avec la trace de morsure réalisée sur la peau Humaine et enregistrée par la caméra Fuel 3D [39]

Il est difficile d'exclure un suspect visuellement dans ce cas, il apparait que les dentitions pourraient toutes être à l'origine de la trace de morsure au niveau maxillaire avec une préférence tout de même pour les suspect n°1 et 2. Les indentations étant peu marquées et les traces diffuses, la précision de l'analyse et de la correspondance entre les dents maxillaires et les indentations est très faible.

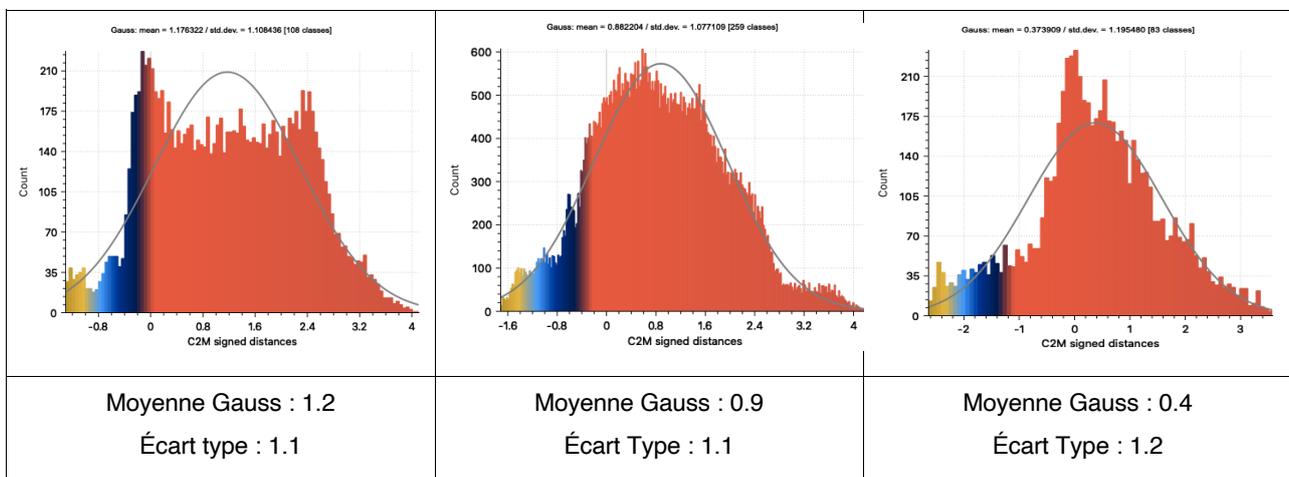


Figure 46 : Histogramme des distances (calculées entre la marque de morsure sur bras Humain et les dents maxillaires après alignement) en fonction du nombre de points et pour chaque suspect [39]

L'histogramme des distances ne nous permet pas d'exclure une dentition en particulier : La moyenne de Gauss nous indique que l'individu n°3 pourrait possiblement être à l'origine de la trace de morsure et les valeurs des écart-types ne permettent pas de conclure qu'il existe ou non une concordance entre les dents d'un suspect et la trace maxillaire enregistrée par la caméra Fuel3D.

Au niveau mandibulaire :

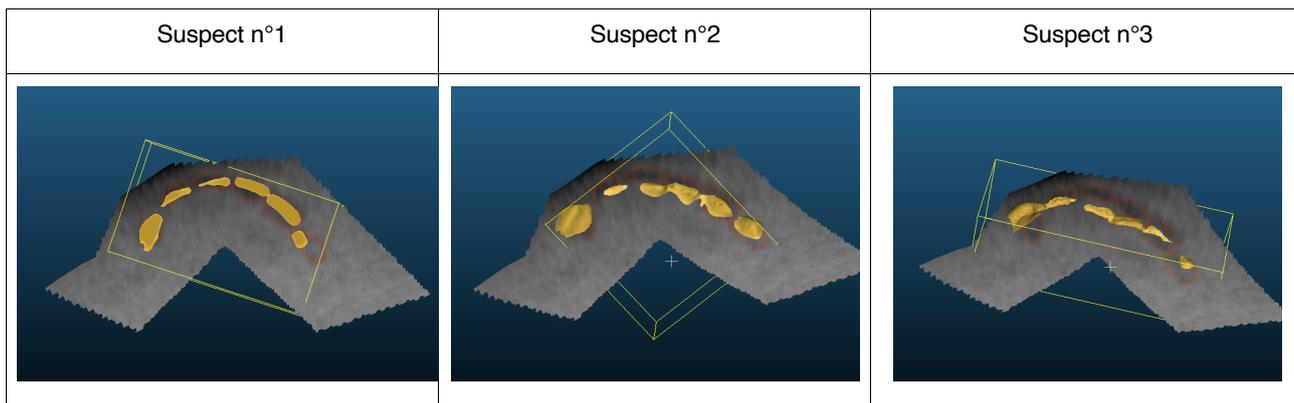


Figure 47 : Alignement des dents mandibulaires des suspects avec la trace de morsure réalisée sur la peau Humaine et enregistrée par la caméra Fuel 3D [39]

Visuellement : on observe une correspondance entre les traces retrouvées et les dents du suspect n°1. Le suspect n°3 peut être exclu, en effet il n'y a aucune correspondance entre les indentations et les faces occlusales des dents du suspect. Dans ce cas la malposition des dents nous permet d'exclure l'individu n°3 comme suspect.

En ce qui concerne le suspect n°2, il est peut aussi être exclu : malgré la correspondance des canines au niveau des indentations, la forme de l'arcade ne correspond pas à la forme de la trace de morsure, les faces occlusales des incisives ne se superposent pas aux indentations retrouvées.

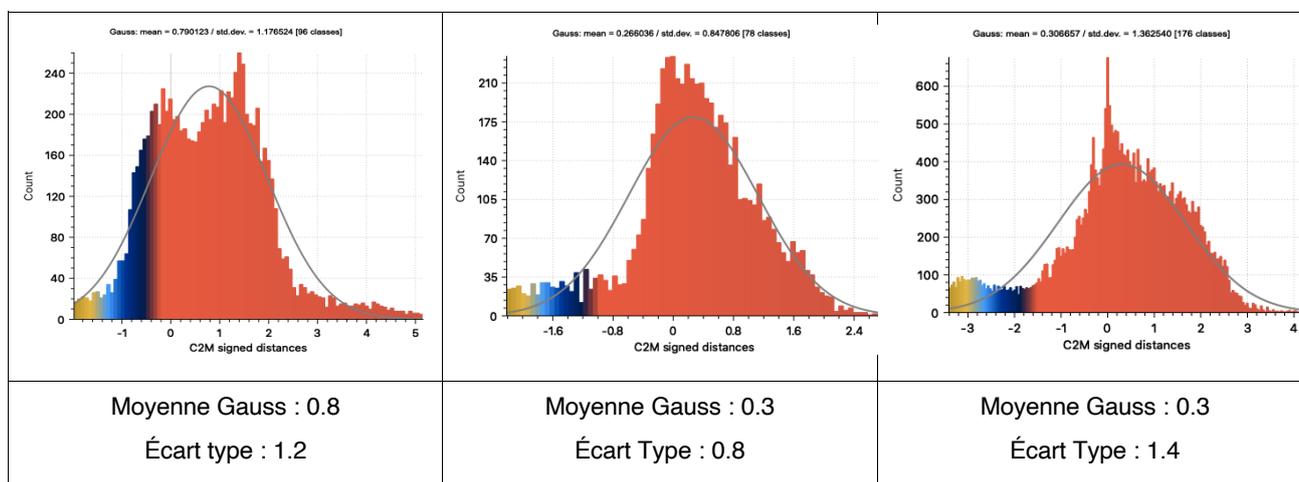


Figure 48 : Histogramme des distances (calculées entre la marque de morsure sur bras Humain et les dents mandibulaires après alignement) en fonction du nombre de points et pour chaque suspect [39]

Les moyennes de Gauss ainsi que les écart-types indiquent que le suspect n°2 est possiblement à l'auteur de la trace de morsure mandibulaire.

Après regroupement des résultats de la morsure maxillaire et mandibulaire aucune conclusion quant à la possible implication d'un suspect ne peut être émise.

Les suspects n°2 et 3 ont été exclus lors de l'analyse visuelle.

Cependant, les résultats doivent être abordés avec précaution car les indentations enregistrées par la caméra sont peu marquées, les traces sont diffuses, il est difficile de délimiter la forme des indentations. On observe également une déformation importante des traces de morsures dû à l'utilisation de la caméra Fuel 3D : les traces de morsure paraissent étirées.

Ici, l'alignement peut se faire seulement grâce à la modification préalable du contraste de la blessure et la mise en valeur des indentations. L'analyse est donc principalement visuelle.

2.4.4. Scanner 3Shape

Au niveau maxillaire :

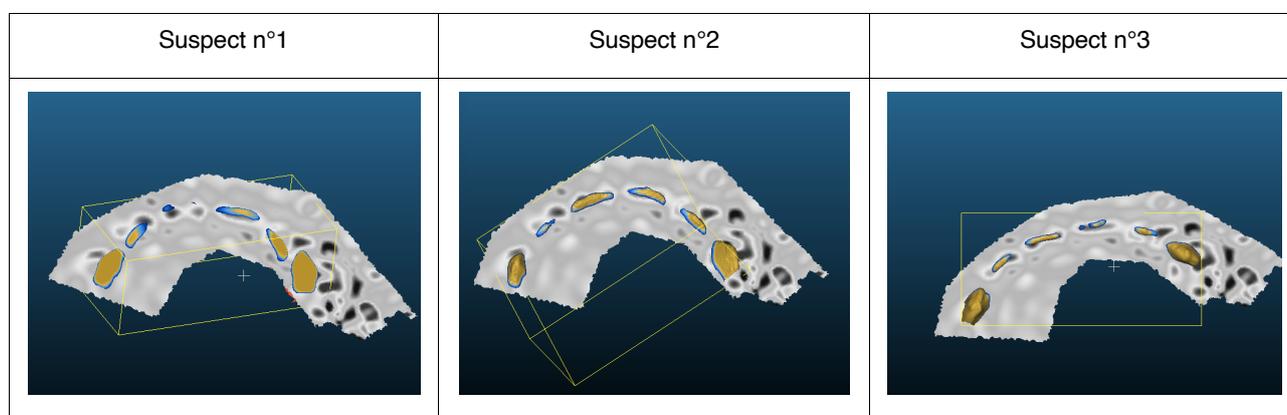


Figure 49 : Alignement des dents maxillaires des suspects avec la trace de morsure réalisée sur peau Humaine, enregistrée par scanner 3Shape [39]

Lors de l'analyse visuelle on observe une concordance de la position des dents et des indentations pour les 3 suspects. La concordance semble plus précise pour le suspect n°3.

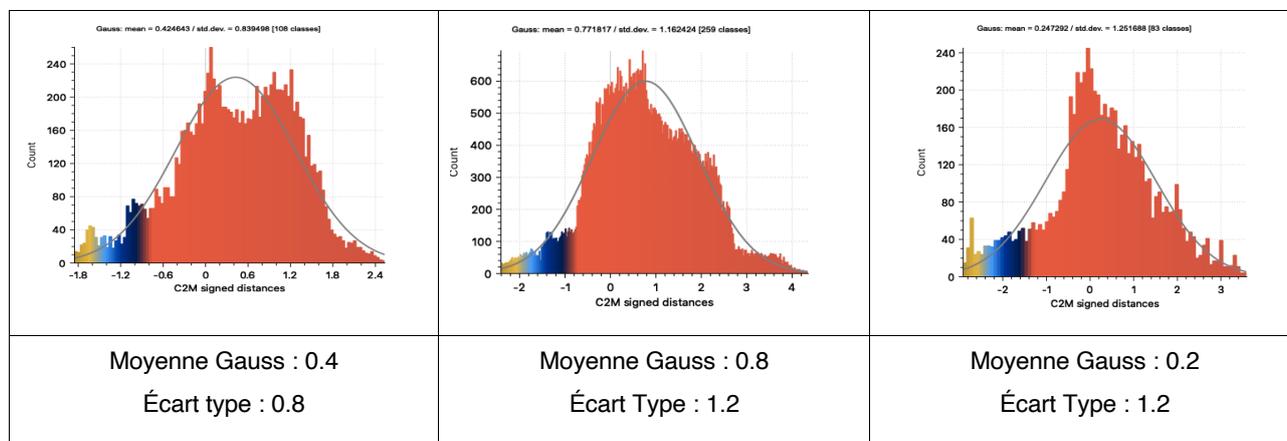


Figure 50 : Histogramme des distances (calculées entre la marque de morsure sur bras Humain et les dents maxillaires après alignement) en fonction du nombre de points et pour chaque suspect [39]

Pour l'arcade maxillaire, la moyenne de Gauss la plus précise est celle du suspect n°3 mais l'écart type le plus précis est celui du suspect n°1. L'intervalle (donné par la moyenne et l'écart-type) de la répartition des valeurs est le plus faible, donc le plus précis pour le l'individu n°1 le plaçant ainsi comme le suspect le plus probable des trois.

En ce qui concerne les résultats de la comparaison des arcades mandibulaires :

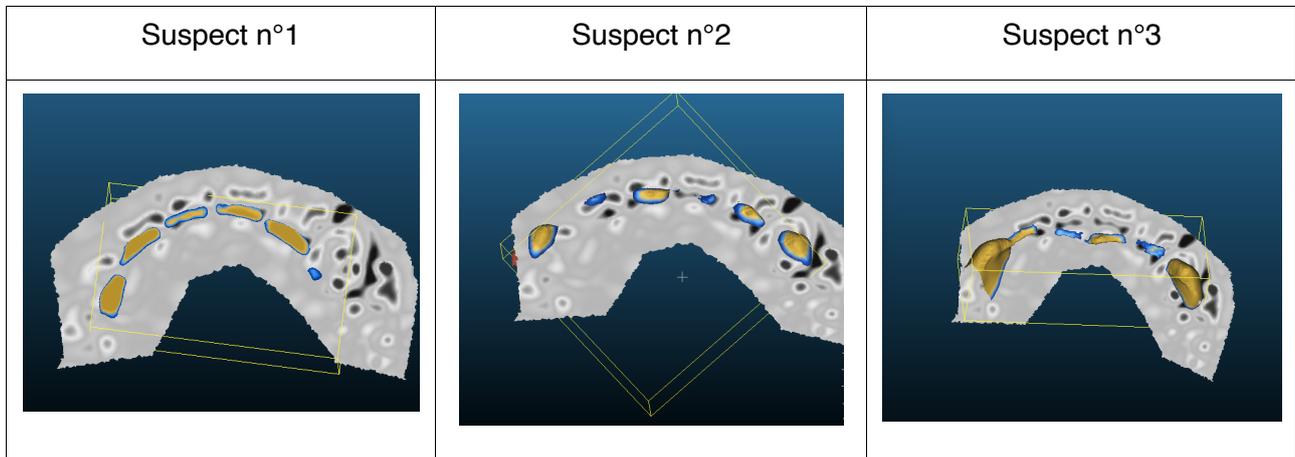


Figure 51 : Alignement des dents mandibulaires des suspects avec la trace de morsure réalisée sur peau Humaine, enregistrée par scanner 3Shape [39]

On observe une très bonne correspondance de la position des dents et des indentations pour le suspect n°1 visuellement. Il est possible d'exclure le suspect n°3, car les dents mandibulaires ne se superposent pas aux indentations retrouvées sur la peau.

Le suspect n°2 peut aussi être exclu pour les mêmes raisons.

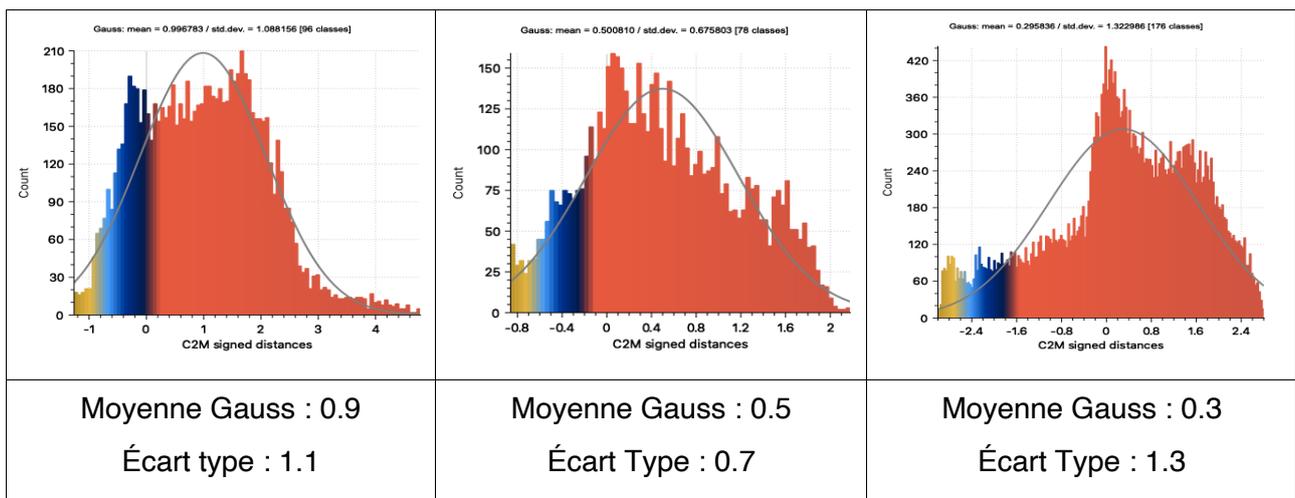


Figure 52 : Histogramme des distances (calculées entre la marque de morsure sur bras Humain et les dents mandibulaires après alignement) en fonction du nombre de points et pour chaque suspect [39]

Les analyses des distances entre les dents et la trace de morsure ne permettent pas d'exclure un suspect en particulier. La différence entre les moyennes de Gauss présente le suspect n°1 comme plus probable mais après inclusion des valeurs des écart-types, il peut être conclu que le suspect n°2 pourrait être l'auteur de la trace de morsure.

Après analyse bi-maxillaire et regroupement des résultats aucune conclusion quant à la possible implication d'un suspect ne peut être faite.

Les suspects n°2 et 3 ont été exclus lors de l'analyse visuelle.

Conclusion des résultats :

Dans ce tableau récapitulatif nous avons choisi de présenter les conclusions (visuelles, numériques et finales) pour chaque expérience et chaque suspect.

Méthode Utilisée	Analyse	Suspect n°1		Suspect n°2		Suspect n°3	
		Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire
Photographie bidimensionnelle	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Possible	Exclue	Exclue
	FINALE	Possible		Possible		Exclue	
Photogrammétrie	Visuelle		Possible		Possible		Exclue
	CloudCompare		Possible		Non concluant		Non concluant
	FINALE	Possible		Non concluant		Exclue	
Photogrammétrie « Mesh Coloring »	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Exclue
	CloudCompare	Possible	Possible	Non concluant	Non concluant	Non concluant	Non concluant
	FINALE	Possible		Non concluant		Exclue	
Caméra Fuel 3D	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Exclue	Possible	Exclue
	CloudCompare	Non concluant	Non concluant	Non concluant	Possible	Possible	Non concluant
	FINALE	Non concluant		Exclue		Exclue	
Caméra 3Shape	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Exclue	Possible	Exclue
	CloudCompare	Possible	Non concluant	Non concluant	Possible	Non concluant	Non concluant
	FINALE	Non concluant		Exclue		Exclue	

Tableau récapitulatif des résultats des comparaisons entre les différents suspects et les différentes traces de morsures selon la méthode d'enregistrement utilisée

	Précision maximale	Précision moyenne	Faible précision	
Intervalle de précision de Gauss	[-0,6 ; 0,6]	[-1,2 ; 1,2]	[-1,8 ; 1,8]	[-2,4 ; 2,4]

Echelle de couleur selon les valeurs obtenues

Figure 53 : Tableau récapitulatif des résultats des comparaisons des traces de morsures (selon la méthode d'enregistrement) avec les différents suspects et échelle de couleur traduisant la précision de l'analyse grâce au logiciel Cloudcompare. [39]

Ce tableau récapitule les résultats obtenus lors de nos expérimentations pour chaque méthode d'étude et chaque suspect :

Concernant les conclusions numériques, obtenues à partir de Cloudcompare, un indice colorimétrique représentant la précision des résultats obtenus a été utilisé : un intervalle a été calculé pour chaque suspect à partir de la moyenne de Gauss et de l'écart-type ; ainsi, une couleur selon l'intervalle obtenu, a été attribuée à chaque résultat.

Lors de la comparaison des données numériques pour les 3 individus, le suspect ayant les résultats les plus précis (et donc l'intervalle de précision le plus faible) a été déclaré possiblement coupable, pour les deux autres, aucune conclusion n'a pu être faite.

L'indice colorimétrique a été intégré au tableau seulement afin de comparer la précision de l'analyse numérique obtenue pour chaque méthode.

Il n'est cependant pas possible d'exclure un individu de la liste des suspects sur la simple analyse numérique.

L'analyse finale s'est donc faite en prenant en compte les indices visuels et numériques.

2.5. Discussions

Nous avons réalisé une recherche dans la littérature afin d'identifier les études portant sur l'analyse des traces de morsures humaines utilisant la technologie tridimensionnelle.

Notre objectif était de regrouper et comparer les problèmes que les différents auteurs et nous même avons pu rencontrer dans le but d'améliorer les protocoles d'acquisition, d'enregistrement et d'analyse des traces de morsures.

2.5.1. Réalisation des morsures

2.5.1.1. Le mordeur

Lors de notre travail, nous n'avons inclus seulement que 3 suspects. Il serait nécessaire d'inclure plus d'individus pour plus de précision afin de limiter au maximum les biais.

Fournier & al. et Savall & al. [14][15], ont aussi soulevé ce problème : les expérimentations devraient inclure plus de participants avec des caractéristiques dentaires moins marquées. De plus, d'après Blackwell & al., Bush & al. et Fournier & al [7], [8], [14], [15], lorsque les volontaires sont jeunes et donc ayant pour la plupart reçu un traitement orthodontique, l'unicité des dentitions des participants diminue fortement, augmentant ainsi la difficulté de l'analyse.

Nos trois suspects présentaient des caractéristiques dentaires différentes :

Le suspect n°3 était facilement identifiable, étant donné l'alignement atypique de ses dents mandibulaires. Les suspects n°1 et 2 bien qu'ayant des caractéristiques dentaires similaires pouvaient être différenciés par la forme et la taille de leur arcade (très étroite pour le suspect n°1).

Le postulat de l'unicité dentaire, accepté en dentisterie médico-légale, admet que chaque personne a un arrangement dentaire unique et que les caractéristiques des dents d'un sujet quand elles forment une trace de morsure, peuvent permettre d'identifier l'individu responsable et exclure les autres. L'utilisation des traces de morsures comme preuve afin d'identifier un potentiel suspect repose sur l'acceptation de ce postulat. Or, de nombreux auteurs contestent cette théorie remettant en cause la validité des morsures comme moyen d'identification d'un suspect.

Selon Blackwell & al. [7], l'utilisation des traces de morsures ne doit pas être une solution finale pour l'inculpation d'un suspect, ils concluent que beaucoup de marques similaires peuvent être produites par des dentitions différentes malgré le principe d'unicité de ces dentitions.

D'autres auteurs, Bush & al., Savall & al. et Fournier & al. [8], [14], [15], s'interrogent aussi sur la validité de ce postulat.

2.5.1.2. Substrat

De nombreux auteurs, Blackwell & al., Naether & al., Martin-de-las-heras & al., Przysłańska & al., Savall & al. et Fournier & al. [7], [14], [15], [28], [30], [36], ont conclu que les substrats utilisés dans leurs études (cire dentaire pour la plupart mais aussi chocolat, fromage, fruits), sont plus déformables que la peau humaine. Il serait donc intéressant selon eux de trouver un substrat reproduisant les caractéristiques de déformation de la peau.

Nous avons donc choisi pour notre travail d'utiliser deux substrats différents.

2.5.1.2.1. Peau de cochon

Après notre expérimentation, bien que proche en composition de la peau Humaine, nous avons conclu que la peau de cochon présentait une surface grasse comparable à de la cire.

La trace obtenue lors de la morsure ne ressemblait pas à la trace obtenue sur la peau Humaine : l'enregistrement des dents était faible à cause du manque de dépressibilité de la peau malgré le dispositif mis en place. Les traces de morsure ne créent donc pas de profondes indentations et il n'y a aucun processus d'inflammation qui permet de rendre les traces de dents plus visibles.

Ce substrat se rapproche plus de la cire que de la peau humaine.

Ce n'est donc pas le substrat d'étude le plus approprié, pour reproduire la complexité de la peau Humaine.

2.5.1.2.2. Peau Humaine

Notre principal problème fut que les morsures superficielles réalisées sur la peau Humaine évoluaient très rapidement. Les modifications du tissu cutané suite à la morsure survenaient lors de l'enregistrement photographique modifiant la forme de la blessure entre les différents clichés. En moins d'une heure la trace était atténuée et lors de l'enregistrement des dernières photographies elle n'était presque plus visible.

C'est pourquoi la technique « Mesh Coloring » avec une diminution de la quantité de photographies nous a permis une réduction du temps de latence entre la première et la dernière photo et une amélioration de la qualité de la morsure.

Cependant, il est important de savoir qu'en condition réelle, une morsure n'est analysée que plusieurs heures, voire plusieurs jours après avoir été infligée, le temps étant un facteur très important pour l'analyse d'une trace qui se dissipe au fil des jours.

De plus, nous avons travaillé sur des cas de morsures auto-infligées étant ainsi moins sévères et moins nettes qu'en cas d'agression et évoluant donc plus rapidement, la pression exercée par les dents dans notre expérimentation reste assez faible afin de limiter la douleur chez le volontaire. Cela rend l'analyse plus compliquée, les traces étant plus diffuses, moins marquées et donc moins précises.

La peau Humaine du bras du volontaire reste cependant un très bon substrat pour l'expérimentation des traces de morsures. Bien que les morsures ne soient, dans notre cas, pas sévères et que les indentations soient éphémères à cause du processus de cicatrisation de la peau, il n'existe pas de moyen plus réaliste pour étudier des traces de morsures de nos jours.

2.5.2. Enregistrement

Il est intéressant de noter que lors de notre recherche électronique d'études portant sur l'analyse des traces de morsures humaines à l'aide de la technologie tridimensionnelle, seulement 9 articles correspondaient à nos critères de recherche. Il existe donc un gros manque d'études sur ces nouvelles méthodes d'enregistrement des traces de morsures.

2.5.2.1. Photographie 2D

C'est une technique d'enregistrement simple mais longue, fastidieuse et non précise.

Selon tous les auteurs, Blackwell & al, Bush & al., Naether & al., Martin-de-las-heras & al., Przysłańska & al., Savall & al. et Fournier & al. [7], [8], [14], [15], [28], [30], [36], les méthodes de documentation et d'analyse 3D sont non invasives, non destructives et il existe peu de distorsions lors de l'enregistrement 3D comparativement à la méthode traditionnelle 2D. Tous s'accordent pour dire que les méthodes d'enregistrement bidimensionnelles ne sont pas fiables et entraînent un grand nombre d'erreurs humaines liées à la photographie mais aussi à l'analyse comparative seulement visuelle.

De plus, les caractéristiques 3D des blessures et des dents ne sont pas conservées, augmentant le nombre de correspondance entre les dentitions, diminuant ainsi la précision de l'analyse comparative comme l'ont décrit Martin-de-las-heras & al. [28].

2.5.2.2. Photogrammétrie

Le protocole d'enregistrement photogrammétrique est long et fastidieux, une quantité d'images très importante doit être enregistrée.

Il est nécessaire de respecter un protocole rigoureux avec utilisation d'une mire afin de permettre au logiciel un repositionnement correct des photographies.

Il est intéressant de noter l'orientation des traces maxillaires et mandibulaires à l'aide de repère avant acquisition car l'analyse de l'orientation des arcades est parfois compliquée sur les modèles 3D, cela évite une perte de temps.

2.5.2.3. Caméra Fuel 3D

La caméra Fuel 3D permet une acquisition simple et rapide d'un objet 3D. Cependant les images présentent une déformation assez importante. De plus, la notion de profondeur est très peu exploitée par cette caméra et l'interprétation par le logiciel de comparaison de la distance entre la dentition du suspect et la trace de morsure donc moins bonne.

La qualité des indentations au niveau du site de morsure est faible, sont floues, diffuses et difficiles à exploiter.

2.5.2.4. Scanner 3Shape

Lors de l'enregistrement à l'aide de la caméra 3shape, comme expliqué précédemment, l'absence de repère volumétrique ne permettait pas un enregistrement correct des images.

Cependant, après mise en place de repères tridimensionnels, les images enregistrées sont de bonne qualité et la profondeur des indentations est perceptible sur les modèles obtenus.

2.5.3. Transformation en objet 3D et comparaison des données

Pour réaliser un modèle tridimensionnel, le logiciel a besoin de points de repères (volumétriques) afin de repositionner correctement les différentes images.

Lors de l'étape de photogrammétrie nous avons connu de nombreuses difficultés :

- Tout d'abord à cause de notre protocole d'enregistrement que nous avons dû faire évoluer, nous avons eu de nombreux manques au niveau de l'objet reconstitué : une quantité trop faible de photographies (inférieures à 80) ne permettait pas d'obtenir une reconstitution exploitable de la trace de morsure pour une utilisation classique de la photogrammétrie.
- Ensuite, la lumière, la pilosité du bras et probablement les distorsions survenues lors de la morsure et de l'enregistrement ont créé une texture de surface inexploitable sur les modèles 3D.
- L'utilisation d'une règle ou de plots n'a pas permis la disparition totale de l'état de surface semblable à une peau d'orange. Nous pouvons l'observer aussi bien sur la reconstitution du bras humain que sur la reconstitution de la peau de cochon, bien qu'elle soit plus faible sur celle-ci du fait de la quasi-absence de pilosité.

2.5.3.1. Logiciels utilisés pour la création de modèles 3D

2.5.3.1.1. 3D Zéphyr

C'est un logiciel rapide et efficace mais seulement disponible sous Windows.

2.5.3.1.2. MétaShape

Ce logiciel est disponible sur Mac et Windows, la reconstruction est cependant beaucoup plus longue.

2.5.3.2. Logiciels utilisés pour le traitement des images 3D

2.5.3.2.1. MeshLab

C'est un logiciel intuitif, facile à utiliser. L'alignement est possible mais non géométrique, seulement visuel. Il ne produit pas d'overlays de couleur, ni d'histogramme en fonction de la distance entre les objets alignés. De plus, il n'est pas possible, une fois l'alignement réalisé de modifier celui-ci ou de l'ajuster, pour cela il est nécessaire de tout recommencer.

Le logiciel permet néanmoins de réaliser des coupes et des colorations des modèles. Il est disponible sur Windows et Mac gratuitement.

2.5.3.2.2. CloudCompare

Fournier et al., ont conclu que Cloudcompare est un logiciel de comparaison fiable utilisant une échelle colorimétrique et permettant une analyse métrique précise.

C'est un logiciel peu intuitif, qui permet un alignement précis et fiable avec traitement des données géométriques et création d'une échelle traduisant la distance la plus proche, la plus éloignée et la distance moyenne entre les deux objets : la comparaison est visuelle et géométrique. Il permet également de recouper les objets et de les colorer. L'histogramme des distances permet de renseigner sur la quantité de points qui correspondent lors de l'alignement entre les deux objets et surtout sur la répartition des différentes distances existantes entre les objets. Grâce à cet outil on ne peut pas déterminer s'il existe une correspondance entre les faces occlusales des dents et les indentations retrouvées sur la victime mais seulement s'il y a une affinité entre les points et ces indentations.

Néanmoins, la moyenne de Gauss et l'écart-type obtenus grâce au logiciel peuvent être faussés par le positionnement des points par l'observateur lors de l'alignement.

De plus, l'analyse géométrique n'est possible qu'en présence de différents suspects, sa valeur semble diminuée si ce n'est pas une analyse comparative.

Les travaux de Savall & al., Kanaparthi & al. et Fournier & al., [14], [15], [20] ont montré qu'il existe des logiciels de comparaison fiable utilisant des échelles colorimétriques permettant une analyse métrique précise autres que CloudCompare : CAD geometry, GOM inspect, 3D studio max. Il pourrait aussi être intéressant de réaliser des expérimentations avec différents logiciels afin de comparer leur fiabilité et précision.

2.5.4. Résultats et méthodes utilisées

Pour toutes les comparaisons réalisées précédemment, le suspect n°1 était l'auteur des traces de morsures.

Il est important de préciser que l'observateur connaissait l'individu responsable des traces de morsures lors de l'analyse. Nous n'avons pas réalisé d'analyse en aveugle, ce qui a donc créé des biais.

2.5.4.1. Photographie bidimensionnelle

Méthode Utilisée	Analyse	Suspect n°1		Suspect n°2		Suspect n°3	
		Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire
Photographie Bidimensionnelle	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Possible	Exclue	Exclue
	FINALE	Possible		Possible		Exclue	

Figure 54 : Tableau récapitulatif des résultats des comparaisons des traces de morsures (enregistrées par photographie bidimensionnelle) avec les différents suspects [39]

L'utilisation de la photographie bidimensionnelle a seulement permis d'exclure l'individu n°3 de la liste des suspects. On peut conclure, après alignement et analyse visuelle que les suspects n°1 et 2 ont potentiellement réalisé la trace de morsure. Les résultats dépendent de l'observateur et de la façon dont il positionne les overlays des dents sur la photographie de la trace de morsure. La profondeur des indentations ou la hauteur des dents sont des données qui ne sont pas exploitées.

Cette méthode bidimensionnelle d'enregistrement et d'analyse des traces de morsures présente de nombreux défauts : La possible erreur humaine lors de l'alignement et lors de l'interprétation des données, la perte des informations tridimensionnelles (comme la profondeur des indentations et la hauteur des dents) et la possible création de distorsions lors de la documentation photographique. La forme et la position des faces occlusales sont les seuls paramètres utilisés pour déterminer si un suspect est coupable ou non.

2.5.4.2. Photogrammétrie

Méthode Utilisée	Analyse	Suspect n°1		Suspect n°2		Suspect n°3	
		Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire
Photogrammétrie	Visuelle		Possible		Possible		Exclue
	Cloudcompare		Possible		Non concluant		Non concluant
	FINALE	Possible		Non concluant		Exclue	
Photogrammétrie « Mesh Coloring »	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Possible	Possible	Exclue
	Cloudcompare	Possible	Possible	Non concluant	Non concluant	Non concluant	Non concluant
	FINALE	Possible		Non concluant		Exclue	

Figure 55 : Tableau récapitulatif des résultats des comparaisons des traces de morsures (enregistrées par photogrammétrie tridimensionnelle) avec les différents suspects [39]

La photogrammétrie sur peau de cochon a permis d'exclure visuellement le suspect n°3 ; après l'analyse, il est possible de conclure que le suspect n°1 est possiblement à l'origine de la trace et aucune conclusion ne peut-être émise quant-à l'implication du suspect n°2.

L'exploitation de la trace de morsure maxillaire aurait pu permettre une sélection plus précise des suspects mais les résultats sont corrects.

La photogrammétrie permet une conservation précise et fiable d'une trace de morsure. Cependant, c'est une technique très longue qui demande l'enregistrement d'une centaine de photos.

La photographie avec technique de « Mesh Coloring » permet de conclure justement que le suspect n°1 est possiblement responsable de la trace de morsure. Cette technique a aussi permis une identification correcte du suspect, le suspect n°2 n'a quant-à lui pas pu être exclu de la liste des suspects. C'est un compromis entre la reconstitution tridimensionnelle et la photographie bidimensionnelle puisque c'est une projection d'une image 2D sur la surface 3D mais uniquement grâce à des acquisitions photographiques bidimensionnelles.

Le « Mesh-coloring » permet une conservation de la taille, la forme, la répartition et la courbure des indentations retrouvées sur le bras de la victime tout en ne nécessitant qu'une trentaine de clichés. La profondeur des indentations n'est cependant pas enregistrée par cette technique.

Les inconvénients quant à l'utilisation de la photogrammétrie restent les mêmes que pour la méthode bidimensionnelle et les risques de distorsion existent. Cette méthode demeure néanmoins plus précise que l'utilisation de photographies simples.

Elle a l'avantage de ne nécessiter seulement que d'un appareil photo et d'une règle ABFO qui sont des outils facilement transportables, facilement exploitables et peu chers.

De plus, moins d'erreurs de distorsions sont produites ; en effet la réalisation d'une grande quantité de photographies de la morsure sous différents angles permet de limiter le phénomène de distorsion. Concernant la méthode associant la photogrammétrie et une modification du modèle par « Mesh Coloring », une plus faible quantité de clichés ont été réalisés et l'application d'une photographie supplémentaire des détails de la trace de morsure permet de pallier le manque de précision. Cela suppose cependant une bonne connaissance du logiciel MeshLab.

La conservation des modèles 3D permet une analyse plus simple, cela est aussi plus facile de faire correspondre les dents avec les indentations, ce qui permet une analyse géométrique et non seulement visuelle.

2.5.4.3. Caméra Fuel 3D

Méthode Utilisée	Analyse	Suspect n°1		Suspect n°2		Suspect n°3	
		Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire
Caméra Fuel 3D	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Exclue	Possible	Exclue
	CloudCompare	Non concluant	Non concluant	Non concluant	Possible	Possible	Non concluant
	FINALE	Non concluant		Exclue		Exclue	

Figure 56 : Tableau récapitulatif des résultats des comparaisons des traces de morsures (enregistrées par caméra Fuel 3D) avec les différents suspects [39]

Grâce à l'enregistrement de la trace de morsure par la caméra Fuel 3D, il n'a pas été possible d'identifier un individu particulier comme suspect potentiel.

Les images présentent une déformation assez importante, les indentations paraissent étirées, elles sont floues et peu marquées, la profondeur des marques n'est pas enregistrée ce qui complique l'identification. Cependant la forme de l'arcade, l'espace entre les indentations et leur position les unes par rapport aux autres sont des paramètres qui permettent une comparaison avec les différentes dentitions.

Dans notre cas, les alignements des dents de nos 3 suspects étaient suffisamment différents pour permettre d'exclure correctement par l'analyse visuelle les suspects n°2 et 3 mais il est possible qu'en présence de dentitions avec très peu de variations individuelles (bon alignement, pas de malpositions, dents de tailles similaires), cette technique ne suffise pas pour identifier ou exclure un potentiel coupable.

Ainsi, l'utilisation de la caméra Fuel 3D permet une comparaison seulement visuelle, les résultats géométriques obtenus avec CloudCompare ne sont pas exploitables.

2.5.4.4. Caméra 3 Shape

Méthode Utilisée	Analyse	Suspect n°1		Suspect n°2		Suspect n°3	
		Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire	Maxillaire	Mandibulaire
Caméra 3 Shape	Visuelle	Possible	Possible	Possible	Exclue	Possible	Exclue
	CloudCompare	Possible	Non concluant	Non concluant	Possible	Non concluant	Non concluant
	FINALE	Non concluant		Exclue		Exclue	

Figure 57 : Tableau récapitulatif des résultats des comparaisons des traces de morsures (enregistrées par caméra 3 Shape) avec les différents suspects [39]

L'utilisation de la caméra 3Shape pour enregistrer la trace de morsure et l'analyse qui en a suivi a seulement permis d'exclure les suspects n°2 et 3 grâce à l'analyse visuelle.

L'analyse maxillaire du suspect n°1 a permis de conclure à une possible implication de cet individu dans la trace de morsure mais l'analyse mandibulaire était non concluante.

Malgré les résultats obtenus, cette technique d'enregistrement des traces de morsure est fiable et précise. Elle permet un enregistrement des traces de morsures, de leur profondeur, de la position des indentations. Une fois importée dans un logiciel permettant de colorer l'objet selon sa profondeur il est possible d'exploiter les traces.

Cependant c'est une technique d'enregistrement qui nécessite du matériel très coûteux, difficilement transportable et qui ne peut être utilisé sur le terrain. Ce matériel est à disposition de chirurgiens-dentistes au sein de cabinets dentaires mais ne peut être utilisé par la police scientifique.

2.6. Perspectives

Ainsi, de nombreuses perspectives de travail s'ouvrent après nos conclusions :

- Il serait tout d'abord intéressant d'inclure plus de participants dans les expérimentations et surtout avec des caractéristiques dentaires moins marquées.
- Comme l'ont souligné certains auteurs [7], [14], [15], [28], [30], [36], il serait intéressant dans les années à venir de trouver un substrat reproduisant les caractéristiques d'élasticité et de déformation de la peau. De nos jours, de nombreux matériaux peuvent être utilisés, les élastomères de substances gélatineuses, les résines époxy, des micro-charges peuvent être incorporées dans les modèles de peau pour modifier les propriétés physiques. Des recherches complémentaires sont nécessaires dans ce domaine pour permettre la reproduction d'une peau aux propriétés similaires à celle de l'Homme. [10]
- Des études avec un large échantillonnage et à l'aveugle pourraient dans ce cas être intéressantes afin que l'opérateur ne soit pas influencé lors de l'analyse des traces : l'interprétation des résultats étant opérateur-dépendant, le principal biais de notre étude réside en effet dans le fait que nous connaissions l'auteur des traces de morsures avant l'analyse.
- Les logiciels d'analyse et d'alignement pourrait être analysés et comparés afin de déterminer le logiciel le plus fiable, et d'établir un protocole précis en fonction de celui-ci.

Conclusion [3], [13], [14], [37], [40], [43]

Comme l'ont conclu les auteurs [7], [14], [15], [20], [28], [30], [36], [46], l'analyse tridimensionnelle des morsures est une méthode efficace et précise. L'expérience de l'observateur est cruciale lors des analyses comparatives des traces de morsures et permet d'avoir de meilleurs résultats lorsque l'observateur dispose de connaissances en odontologie ou en médecine légale. La peau humaine étant souple, élastique et déformable, les phénomènes de cicatrisation de la peau peuvent altérer la précision de la trace laissée par le suspect et même si chaque dentition est unique, il se peut que plusieurs dentitions se ressemblent fortement, ce qui rend alors difficile pour les experts d'identifier un suspect. L'analyse des traces de morsures qu'elle soit bi ou tridimensionnelle n'est possible qu'en présence d'indentations au niveau de la blessure qui bien souvent ne sont pas exploitables.

Le Principe d'Unicité de la dentition est aujourd'hui controversé, de nombreux auteurs affirment que les dentitions ne seraient pas uniques et que la précision des traces laissées par les dents dépend de nombreux autres facteurs, tels que la pression exercée par le suspect lors de la réalisation de la morsure, l'élasticité de la peau, ou la localisation anatomique de la morsure par exemple. L'identification d'un suspect sur la base d'une trace de morsure repose essentiellement sur l'acceptation de ce principe.

De plus, comme de nombreux auteurs l'ont souligné une grande partie de la population et de plus en plus de jeunes personnes ont reçu un traitement orthodontique, ce qui diminue grandement l'unicité de la dentition des individus, augmentant la difficulté des analyses dentaires.

Ainsi, il est important de traiter les preuves que sont les traces de morsures, avec prudence car elles peuvent conduire à l'inculpation d'un suspect, parfois malheureusement à tort. C'est une méthode d'analyse complémentaire qui doit être utilisée en équipe et en parallèle à d'autres analyses afin de conforter une hypothèse (analyse salivaire, analyse de scène de crime, autopsie, témoignages de protagonistes).

La finalité de notre expérimentation était d'évaluer la reproductibilité et la fiabilité de la photogrammétrie tridimensionnelle comparativement à celle de la photographie bidimensionnelle ainsi que l'utilisation de la caméra 3D et d'un scanner 3D portable. Notre objectif était aussi d'établir un protocole qui puisse être appliqué sur le terrain lors de la découverte d'une trace de morsure.

Au travers de notre expérimentation, nous avons pu observer que :

- La méthode bidimensionnelle est la moins fiable, elle présente de nombreux biais qui peuvent fausser l'analyse, une petite quantité d'informations seulement est enregistrée ;
- L'utilisation de la photogrammétrie permet de réduire les biais, elle est précise et autorise l'enregistrement en trois dimensions des indentations, c'est une méthode qui peut être employée par la police scientifique ; en effet il est seulement nécessaire de se munir d'un appareil photographique. Cette méthode a permis d'exclure les dentitions incorrectes de la liste des suspects et d'identifier le possiblement bon suspect ;
- L'utilisation de caméra Fuel 3D est selon nos résultats peu adaptée à une utilisation médico-légale. Les images tridimensionnelles bien qu'exploitables présentent une déformation trop importante et sont imprécises ;
- Et en ce qui concerne le scanner intra-oral 3Shape : c'est une technique d'enregistrement précise, fiable et rapide. Elle permet la création de fichier tridimensionnels avec peu de déformations mais étonnamment, l'analyse visuelle 3D n'a pas donné de résultats précis, et l'utilisation de Cloudcompare reste non concluante.

Les méthodes d'analyses 3D sont donc non invasives, non destructives et comparativement plus précises que la méthode d'enregistrement 2D, la photogrammétrie paraît selon nos résultats être la plus fiable.

Il faut préciser que de nombreuses difficultés persistent :

- Le protocole d'enregistrement photogrammétrique est long et fastidieux, il doit être respecté rigoureusement sinon de nombreuses distorsions sont créées lors de la transformation tridimensionnelle.
- La manipulation des logiciels s'est révélée difficile pour un observateur avec des connaissances en informatique modérées.
- Pour finir, notre expérimentation présente plusieurs biais : biais lié au nombre de participants qui est trop faible, biais liés à l'observateur (lors du positionnement des points pour l'alignement, lors de l'analyse et l'interprétation).

Des recherches complémentaires (avec augmentation du nombre de participants, modification du substrat d'analyse, étude en aveugle etc.) sont nécessaires afin d'éviter certains biais et d'améliorer l'analyse.

Il serait intéressant, dans les prochaines années, de sensibiliser d'avantage la police scientifique à l'identification des traces de morsures et à leurs méthodes d'enregistrement et d'analyses. Même si la fréquence d'apparition d'une trace de morsure dans un cas médico-légal reste faible, ce sont des preuves à ne pas négliger. Il est probable que de nouvelles méthodes d'enregistrement puissent voir le jour dans le domaine odonto-légal : certains logiciels permettant de recréer l'articulé virtuel d'un patient et d'enregistrer la cinématique mandibulaire en quatre dimensions, pourraient être utilisés à des fins médico-légales, et cela pourrait permettre non seulement d'analyser la correspondance entre les dents et les indentations retrouvées sur la trace de morsure, mais aussi de tenir compte de la cinématique mandibulaire du suspect.

ANNEXES

Checklist pour la collecte de preuves à partir de potentielles marques de morsures selon l'A.B.F.O

[3] :

1. Étapes initiales

a. Données de documentation sur le cas

i. Données d'identification

- Données du bureau traitant le cas
- Numéro du cas
- Examineur du cas

ii. Données de localisation de la trace

- Localisation anatomique
- Contour de surface
- Caractéristiques de tissus
- Description de l'objet (si ce n'est pas de la peau humaine)

iii. Données sur les caractéristiques des blessures

- Taille
- Forme
- Nature (abrasion, contusion, lacération, avulsion)
- Autre : Indentations, incisions, caractéristiques inhabituelles, caractéristiques 3D

iv. Données de description du motif de la blessure

- Orientation des arcades maxillaires et mandibulaires (si visibles)
- Localisation des lignes médianes (si visibles)
- Marques de dents individuelles
- Zones sans traces
- Caractéristiques indiquant la présence de rotations, translations ou anomalies
- Résumé des caractéristiques globales

v. Photographies d'orientation

- Images d'orientation, avant toute autre collecte de preuves pour documenter les caractéristiques de la personne ou de l'objet, le numéro et la date du cas et le ou les emplacements anatomiques

vi. Écouvillonnage

- Si cela n'a pas été réalisé par d'autres enquêteurs, l'ADN de chaque marque de morsure doit être prélevé en suivant les protocoles appropriés. S'il n'y a pas de protocole juridictionnel, la méthode du double écouvillon est utilisée.

2. Photographies

- Photographies de haute qualité réalisées avec un appareil photo digital. Les procédures photographiques sont effectuées par ou sous la direction de l'odontologue légiste.
- Utilisation d'un éclairage ambiant ou artificiel approprié (ou les deux)
- Images d'orientation globale puis images progressivement plus proches de chaque marque de morsure.
- Images de résolution suffisante pour un agrandissement à la taille réelle sans pixelisation.
- Photographies réalisées avec et sans réglette ABFO n ° 2, correctement placée et étiquetée ou toute échelle de référence similaire.
 - L'échelle de référence est a) dans le même plan que, et b) adjacente à la partie du motif ou de la lésion à motifs en cours d'image
 - Le capteur de la caméra et la face de l'objectif sont parallèles à la fois au plan de l'échelle de référence et au plan du motif à imager
 - Sur les surfaces courbes ou courbes composées, plusieurs images sont exposées avec le capteur de la caméra, la face de l'objectif, l'échelle de référence et le motif dans le même plan
- Pour une personne vivante ou récemment décédée, des photographies séquentielles de la blessure au fil du temps
- Quand nécessaire, en addition aux photographies en lumière visible, réalisation de :
 - Photographies Infra-rouges (IR)
 - Photographies Ultra-violettes (UV)
 - Photographies Alternatives Light Imaging (ALI)
- L'imagerie vidéo en plus de la photographie fixe conventionnelle peut-être indiquée

3. Empreintes

- Réalisation d'empreintes de la surface de la blessure contenant le motif ou la blessure à motifs lorsque les propriétés 3D sont présentes à l'aide de matériaux répertoriés ADA et nommées dans le rapport, y compris le numéro de lot et la date d'expiration
- Réalisation d'empreintes de la dentition de la personne présentant la marque de morsure pour évaluer la possibilité de morsure auto-infligée ou pour déterminer si elle a également mordu une autre personne
- Utilisation d'un support approprié fourni pour le matériau d'empreinte
- Coulée des empreintes en suivant les instructions du fabricant et les moulages doivent être étiquetés et conservés selon la chaîne de contrôle approprié.

4. Chaîne de traçabilité

- Les preuves reçues, collectées ou développées sont clairement documentées en utilisant une chaîne de garde appropriée indiquant le nom et le numéro de l'affaire, l'heure et la date de livraison, un inventaire des preuves fournies et de qui les preuves ont été reçues avec sa signature.
- Documentation de la divulgation des preuves par l'odontologue.

Checklist pour la collecte de preuves sur les dentitions de personnes d'intérêt selon l'A.B.F.O

[3]:

1. Considérations générales

- S'assurer que le mandat de perquisition, l'ordonnance du tribunal ou le consentement légal ont été obtenus
- Des copies de ces documents doivent être conservées dans le dossier du cas
- Réalisation d'empreintes de la dentition de la personne avec la marque de morsure pour évaluer la possibilité de morsure auto-infligée ou pour déterminer si elle a également mordu une autre personne

2. Les preuves collectées doivent inclure :

- Les informations démographiques (et autres) spécifiques au sujet
- Dossier des soins dentaires, si disponibles

Photographies - *dans la mesure du possible, la documentation photographique comprend :*

A. Photographies extra-orales

- Visage complet
- Profils trois quarts : droit et gauche
- Profils : droit et gauche

B. Photographies intra-orales

- Vue antérieure avec les dents fermées
- Vue antérieure avec les dents légèrement écartées
- Vue antérieure avec la mandibule en propulsion
- Vue antérieure avec ouverture maximale
 - Avec échelle de référence
 - Sans échelle de référence
- Vues latérales, à la fois droite et gauche
- Vues occlusales de chaque arcade

C. Images additionnelles

- Surfaces maxillaires et mandibulaires des mordus avec et sans échelle de référence
- Imagerie vidéo en plus de la photographie fixe conventionnelle comme indiqué

Examen intra-orale

- État des dents
 - Absence de dents
 - Dents fracturées
 - Dents mobiles
- État du parodonte
- Présence ou absence de torus maxillaire ou mandibulaire
- Présence ou absence de piercing ou bijoux sur la langue
- Présence d'autres caractéristiques inhabituelles intra-orales

Empreintes

- Empreintes maxillaires et mandibulaires prises avec des matériaux listés ADA en utilisant des matériaux d'empreinte dentaire appropriés
- Si des prothèses amovibles sont présentes, des empreintes sont réalisées avec et sans les appareils prothétiques en bouche
- Relation inter occlusale enregistrée à l'aide de matériaux et de techniques approuvés
- Réalisation d'empreintes à l'aide de scanners 3D intra-oraux approuvés au besoin
- Échantillonner ou tester des morsures enregistrées à l'aide de matériaux et techniques appropriés répertoriés par l'ADA, et ces enregistrements photographiés et conservés

Modèles dentaires

- Des modèles en plâtres sont préparés à partir d'empreintes à l'aide d'un plâtre dentaire de type III approuvée par l'ADA en suivant les instructions du fabricant et les techniques acceptées.
- Les modèles principaux peuvent également être réalisés à l'aide de matériaux approuvés à partir de scans 3D, au besoin.

Écouvillonnage

- Si cela n'a pas été réalisé par d'autres enquêteurs, les écouvillons buccaux doivent être collectés et conservés selon les protocoles établis

PROTOCOLES

PROTOCOLE DE TRANSFORMATION DES IMAGES EN OBJETS 3D - LOGICIEL 3D ZEPHYR

1. Méthode de travail – Nouveau projet
2. Paramètres à sélectionner : « Calculer modèle 3D après création d'une projection » + « Calculer la Texture »
3. Importer les photos – Suivant
4. Choisir les paramètres généraux – Suivant puis Démarrer
5. Une fois la reconstitution effectuée, Exporter – Exporter le maillage, choisir le format. stl, « Exporter » dans le dossier choisi

PROTOCOLE DE RECOUPE DES OBJETS 3D - LOGICIEL MESHLAB

1. « Import Mesh »  – « Open »
2. « Select Face/Vertices inside polyline area » 
3. Sélectionner la partie de l'objet à supprimer
4. Sélectionner sur le clavier « MAJ » + « T » (Use the Vertices selection)
5. Sélectionner sur le clavier « MAJ » + « Q » (Add the selection)
6. « Delete the current set of selected vertices » 
7. Menu « Save as Mesh », en stl.

PROTOCOLE DE COLORISATION DES OBJETS 3D - LOGICIEL MESHLAB

1. « Import Mesh » 
2. Menu - « Filters — Quality Measure and Computations — Compute typological mesures »
3. Menu - « Filters — Color Creation and Processing — Colorize curvature (APSS) »
4. « MLS — Filter Scale : 11 »
5. « Apply »
6. Menu « Save as Mesh », en stl.

PROTOCOLE D'ALIGNEMENT DE DEUX OBJETS 3D - LOGICIEL CLOUDCOMPARE

1. Menu - « Open the file » - Ouvrir les deux fichiers à comparer
2. Menu - « Tools — Registration — Match scales (Max Bounding-box dimension) — Ok »
3. Sélectionner les deux Mesh « Align two clouds by picking (at least 4) equivalent point pairs » 
4. « Select the aligned entities »
5. Sélectionner au moins 3 points communs sur chaque objets - « Align »
6. Sélectionner les deux Mesh « Compute cloud/mesh distance » 
7. Choisir le Mesh de référence et celui comparé « Reference : Bitemark (Octree Level : 8) » — Compute — Ok
8. Pour l'objet comparé sélectionner — « Propriétés »
9. Choisir une échelle de couleur dans « Color Scale - Current » et cocher « Visible color scale »
10. Menu - « Tools — Statistics: Compute stat.params (active SF) » — « Gauss » — ok

Table des illustrations

FIGURE 1 : TABLEAU REPRESENTANT LE NOMBRE DE FAITS DE VIOLENCE CONSTATES EN 2019 ET LE TAUX D'ÉVOLUTION PAR RAPPORT A 2018 ET 2017 EN FRANCE [19]	13
FIGURE 2: MODELES DENTAIRE MAXILLAIRE (A GAUCHE) MANDIBULAIRE (A DROITE) VUE OCCLUSAL [39].....	14
FIGURE 3 : SCHEMA REPRESENTANT LES INDENTATIONS RETROUVEE LORS D'UNE MORSURE HUMAINE, AVEC LE DIAMETRE DE 3.5 A 4 CM [48].....	15
FIGURE 4 : PHOTOGRAPHIE D'UNE MORSURE REALISEE PAR UN ENFANT SUR PEAU HUMAINE [13]	17
FIGURE 5 : PHOTOGRAPHIE DES DENTS BI-MAXILLAIRES D'UN CHIEN (A GAUCHE), MACHOIRE MAXILLAIRE DE PUMA ET MARQUE DE MORSURE (A DROITE) [13]	17
FIGURE 6: DISTRIBUTION ANATOMIQUE DE 148 MORSURES HUMAINES AUX USA [34]	18
FIGURE 7 : ÉCHELLE DE SEVERITE DES MARQUES DE MORSURES [33]	19
FIGURE 8 : ÉCHELLE VISUELLE DE LA SEVERITE DES MARQUES DE MORSURES [33]	20
FIGURE 9 : SCHEMA REPRESENTANT LA PENETRATION DES DIFFERENTES LONGUEURS D'ONDES SELON LES COUCHES DE LA PEAU [13].	26
FIGURE 10 : PHOTOGRAPHIE D'UNE TRACE DE MORSURE EN COULEUR (A GAUCHE) ET EN NOIR ET BLANC (A DROITE) [13]	28
FIGURE 11 : PHOTOGRAPHIE D'UNE TRACE DE MORSURE EN COULEUR (A GAUCHE) ET EN INFRA-ROUGE (A DROITE)[13]	28
FIGURE 12 : PHOTOGRAPHIE D'UNE TRACE DE MORSURE EN COULEUR (A GAUCHE) ET EN ULTRA-VIOLET (A DROITE)[13]	29
FIGURE 13 : PHOTOGRAPHIE D'UNE TRACE DE MORSURE EN COULEUR (A GAUCHE) ET A.L.I (A DROITE)[13]	30
FIGURE 14 : PHOTOGRAPHIE DE LA BOUCHE D'UN SUSPECT : EN OCCLUSION (EN HAUT A DROITE), EN OUVERTURE MAXIMALE (EN HAUT A GAUCHE), ARCADE MAXILLAIRE VUE OCCLUSALE (EN BAS A GAUCHE) ET ARCADE MANDIBULAIRE VUE OCCLUSALE (EN BAS A DROITE)[13]	32
FIGURE 15 : PHOTOGRAPHIE DE MOULAGES DENTAIRE BI-MAXILLAIRES EN PLATRE [13].....	33
FIGURE 16 : EMPREINTES NUMERIQUES DES ARCADES MAXILLAIRE (A GAUCHE) ET MANDIBULAIRE (A DROITE) REALISEES [39]	33
FIGURE 17 : EFFETS DE L'ELASTICITE DE LA PEAU SUR LA DISTORSION DES MARQUES DE MORSURE [25]	35
FIGURE 18 : TABLEAU RECAPITULATIF DES DIFFERENTS SUBSTRATS ET DES METHODES D'ENREGISTREMENT, D'ACQUISITION ET DE COMPARAISON UTILISEES LORS DE NOTRE EXPERIMENTATION [39].....	37
FIGURE 19 : MORSURE REALISEE SUR LA PEAU DE PORC (A GAUCHE), MORSURE REALISEE SUR LE BRAS DU VOLONTAIRE (A DROITE) [39].....	37
FIGURE 20 : DIFFERENTES POSITIONS DE L'APPAREIL PHOTO (REPRESENTEES PAR LES TRIANGLES BLEUS) LORS DE L'ENREGISTREMENT, AYANT PERMIS LA RECONSTITUTION 3D PAR PHOTOGRAMMETRIE D'UN BRAS HUMAIN. [39]	39
FIGURE 21 : PHOTOGRAPHIE D'UNE TRACE DE MORSURE REALISEE SUR BRAS HUMAIN A L'AIDE DE PLOTS ET D'UNE MIRE [39].....	39
FIGURE 22 : MODELE TRIDIMENSIONNEL DE LA PEAU DE COCHON SUR SON SUPPORT ACQUIS PAR PHOTOGRAMMETRIE SIMPLE [39]	40
FIGURE 23 : MODELE TRIDIMENSIONNEL D'UN BRAS HUMAIN AVEC MORSURE ACQUIS PAR PHOTOGRAMMETRIE ET APPLICATION D'UNE PHOTOGRAPHIE SUPPLEMENTAIRE SELON LA TECHNIQUE « MESH COLORING » [39]	40
FIGURE 24 : CAMERA FUEL 3D [41]	41
FIGURE 25 : MODELE TRIDIMENSIONNEL D'UN BRAS HUMAIN AVEC MORSURE ACQUIS PAR CAMERA FUEL 3D [39]	41
FIGURE 26: CAMERA TRIOS DE 3SHAPE [1]	42
FIGURE 27 : MODELE 3D DE TRACE DE MORSURE MANDIBULAIRE SUR BRAS HUMAIN ACQUIS PAR SCANNER 3SHAPE AVEC SPARADRAP (A GAUCHE), MODELE 3D DE TRACE DE MORSURE MAXILLAIRE SUR BRAS HUMAIN ACQUIS PAR SCANNER 3SHAPE AVEC PLOTS TRIDIMENSIONNELS (A DROITE) [39]	42
FIGURE 28 : MODELE TRIDIMENSIONNEL DE DENTS MANDIBULAIRE AVANT (A GAUCHE) ET APRES (A DROITE) RECOUPE DANS LE LOGICIEL MESHLAB [39]	43
FIGURE 29 : (EN HAUT) MODELE TRIDIMENSIONNEL D'UNE TRACE DE MORSURE AVANT (A GAUCHE) ET APRES (A DROITE) COLORATION DANS MESHLAB, (EN BAS) MODELE TRIDIMENSIONNEL D'UN MODELE DENTAIRE MANDIBULAIRE AVANT (A GAUCHE) ET APRES (A DROITE) COLORATION DANS MESHLAB [39].....	44
FIGURE 30 : (A GAUCHE) SELECTION DES POINTS SUR LE MODELE DENTAIRE ET LA TRACE DE MORSURE POUR ALIGNEMENT DANS LE LOGICIEL, CLOUDCOMPARE, (A DROITE) MODELE DENTAIRE ET TRACE DE MORSURE APRES ALIGNEMENT DANS CLOUDCOMPARE. [39]	44
FIGURE 31 : TRANSLATION DU MODELE DENTAIRE PAR RAPPORT AU MODELE DE MORSURE DANS CLOUDCOMPARE APRES ALIGNEMENT ENTRE LES DEUX OBJETS [39]	45

FIGURE 32 : ALIGNEMENT D'UN MODELE DENTAIRE ET D'UNE TRACE DE MORSURE ET COLORATION DES DENTS SELON LES DISTANCES ENTRE LES DEUX OBJETS (A GAUCHE) ET MODELE DENTAIRE COLORE SELON L'ECHELLE DE DISTANCE ENTRE LE MODELE DENTAIRE ET LA TRACE DE MORSURE (A DROITE) [39].....	45
FIGURE 33 : ARBRE DECISIONNEL DES NORMES ET DIRECTIVES POUR L'EVALUATION DES MARQUES DE MORSURES SELON A.B.F.O [3].....	46
FIGURE 34 : TABLEAU DES MODELES DENTAIRE BI-MAXILLAIRES DES 3 SUSPECTS UTILISES POUR NOTRE EXPERIMENTATION [39]	47
FIGURE 35 : TRACE DE MORSURE REALISEE PAR DES DENTS MAXILLAIRES SUR UN BRAS HUMAIN [39].....	48
FIGURE 36 : TRACES DE MORSURES REALISEES PAR DES DENTS MAXILLAIRES SUR UN BRAS HUMAIN AVEC SUPERPOSITION DES OVERLAYS MAXILLAIRES POUR CHAQUE SUSPECT [39]	48
FIGURE 37 : TRACE DE MORSURE REALISEES PAR DES DENTS MANDIBULAIRES SUR UN BRAS HUMAIN [39]	49
FIGURE 38 : TRACE DE MORSURE REALISEES PAR DES DENTS MANDIBULAIRES SUR UN BRAS HUMAIN AVEC SUPERPOSITION DES OVERLAYS MANDIBULAIRES POUR CHAQUE SUSPECT [39]	49
FIGURE 39 : ALIGNEMENT DES DENTS MANDIBULAIRES DES SUSPECTS AVEC LA TRACE DE MORSURE REALISEE SUR LA PEAU DE PORC ET ENREGISTREE PAR PHOTOGRAMMETRIE [39]	50
FIGURE 40 : HISTOGRAMME DES DISTANCES (CALCULEES ENTRE LA MARQUE DE MORSURE SUR PEAU DE PORC ET LES DENTS MANDIBULAIRES APRES ALIGNEMENT) EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS ET CE POUR CHAQUE SUSPECT [39]	51
FIGURE 41 : ALIGNEMENT DES DENTS MAXILLAIRES DES SUSPECTS AVEC LA TRACE DE MORSURE REALISEE SUR LA PEAU HUMAINE ET ENREGISTREE PAR PHOTOGRAMMETRIE « MESH COLORING» [39]	51
FIGURE 42 : HISTOGRAMME DES DISTANCES (CALCULEES ENTRE LA MARQUE DE MORSURE SUR BRAS HUMAIN ET LES DENTS MAXILLAIRES APRES ALIGNEMENT) EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS ET POUR CHAQUE SUSPECT [39]	52
FIGURE 43 : ALIGNEMENT DES DENTS MANDIBULAIRES DES SUSPECTS AVEC LA TRACE DE MORSURE REALISEE SUR LA PEAU HUMAINE ET ENREGISTREE PAR PHOTOGRAMMETRIE « MESH COLORING» [39]	52
FIGURE 44 : HISTOGRAMME DES DISTANCES (CALCULEES ENTRE LA MARQUE DE MORSURE SUR BRAS HUMAIN ET LES DENTS MANDIBULAIRES APRES ALIGNEMENT) EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS ET POUR CHAQUE SUSPECT [39].....	53
FIGURE 45 : ALIGNEMENT DES DENTS MAXILLAIRES DES SUSPECTS AVEC LA TRACE DE MORSURE REALISEE SUR LA PEAU HUMAINE ET ENREGISTREE PAR LA CAMERA FUEL 3D [39]	54
FIGURE 46 : HISTOGRAMME DES DISTANCES (CALCULEES ENTRE LA MARQUE DE MORSURE SUR BRAS HUMAIN ET LES DENTS MAXILLAIRES APRES ALIGNEMENT) EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS ET POUR CHAQUE SUSPECT [39]	54
FIGURE 47 : ALIGNEMENT DES DENTS MANDIBULAIRES DES SUSPECTS AVEC LA TRACE DE MORSURE REALISEE SUR LA PEAU HUMAINE ET ENREGISTREE PAR LA CAMERA FUEL 3D [39]	55
FIGURE 48 : HISTOGRAMME DES DISTANCES (CALCULEES ENTRE LA MARQUE DE MORSURE SUR BRAS HUMAIN ET LES DENTS MANDIBULAIRES APRES ALIGNEMENT) EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS ET POUR CHAQUE SUSPECT [39].....	55
FIGURE 49 : ALIGNEMENT DES DENTS MAXILLAIRES DES SUSPECTS AVEC LA TRACE DE MORSURE REALISEE SUR PEAU HUMAINE, ENREGISTREE PAR SCANNER 3SHAPE [39]	56
FIGURE 50 : HISTOGRAMME DES DISTANCES (CALCULEES ENTRE LA MARQUE DE MORSURE SUR BRAS HUMAIN ET LES DENTS MAXILLAIRES APRES ALIGNEMENT) EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS ET POUR CHAQUE SUSPECT [39]	56
FIGURE 51 : ALIGNEMENT DES DENTS MANDIBULAIRES DES SUSPECTS AVEC LA TRACE DE MORSURE REALISEE SUR PEAU HUMAINE, ENREGISTREE PAR SCANNER 3SHAPE [39]	57
FIGURE 52 : HISTOGRAMME DES DISTANCES (CALCULEES ENTRE LA MARQUE DE MORSURE SUR BRAS HUMAIN ET LES DENTS MANDIBULAIRES APRES ALIGNEMENT) EN FONCTION DU NOMBRE DE POINTS ET POUR CHAQUE SUSPECT [39].....	57
FIGURE 53 : TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES COMPARAISONS DES TRACES DE MORSURES (SELON LA METHODE D'ENREGISTREMENT) AVEC LES DIFFERENTS SUSPECTS ET ECHELLE DE COULEUR TRADUISANT LA PRECISION DE L'ANALYSE GRACE AU LOGICIEL CLOUDCOMPARE. [39]	58
FIGURE 54 : TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES COMPARAISONS DES TRACES DE MORSURES (ENREGISTREES PAR PHOTOGRAPHIE BIDIMENSIONNELLE) AVEC LES DIFFERENTS SUSPECTS [39]	65
FIGURE 55 : TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES COMPARAISONS DES TRACES DE MORSURES (ENREGISTREES PAR PHOTOGRAMMETRIE TRIDIMENSIONNELLE) AVEC LES DIFFERENTS SUSPECTS [39].....	65
FIGURE 56 : TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES COMPARAISONS DES TRACES DE MORSURES (ENREGISTREES PAR CAMERA FUEL 3D) AVEC LES DIFFERENTS SUSPECTS [39]	67
FIGURE 57 : TABLEAU RECAPITULATIF DES RESULTATS DES COMPARAISONS DES TRACES DE MORSURES (ENREGISTREES PAR CAMERA 3 SHAPE) AVEC LES DIFFERENTS SUSPECTS [39]	68

Bibliographie

- [1] 3Shape, « Scanner Intra-oral Trios ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.3shape.com/fr/scanners/trios>.
- [2] S. H. Al-Amad, « The Evidentiary Value of Bite Mark Analysis in Criminal », *Arab Journal of Forensic Sciences & Forensic Medicine*, 2016.
- [3] American board of forensic odontology (ABFO), « Standards and Guidelines for Evaluating Bitemarks ». 2018.
- [4] E. I. Auerkari, « Dental Forensics : Bitemark analysis », *Indonesian Journal of Dentistry*, 2008.
- [5] S. L. Avon, « L'odontologie judiciaire : les rôles et les responsabilités du dentiste », *Journal de l'Association dentaire canadienne*, 2004.
- [6] V. Beena, G. Divya, R. Heera, R. Rajeev, et R. Sivakumar, « Bitemark from the crime scene - An overview », 2012.
- [7] S. A. Blackwell *et al.*, « 3-D imaging and quantitative comparison of human dentitions and simulated bite marks », *Int J Legal Med*, 2006.
- [8] M. A. Bush, P. J. Bush, et H. D. Sheets, « Similarity and match rates of the human dentition in three dimensions: relevance to bitemark analysis », *Int J Legal Med*, 2011.
- [9] Centre National de ressources textuelles et lexicales, « Définition "Morsure" ». .
- [10] A. K. Dabrowska *et al.*, « Materials used to simulate physical properties of human skin », *Skin Research and Technology*, 2016.
- [11] Dictionnaire Larousse, « Définition "Comparaison" ». .
- [12] Dictionnaire Universalis, « Définition "Distorsion" ». .
- [13] R. B. J. Dorion, *Bitemark evidence : a color atlas and text*. 2005.
- [14] G. Fournier, F. Savall, A. Galibourg, L. Gély, N. Temon, et D. Maret, « Three-dimensional analysis of bitemarks: A validation study using an intraoral scanner », *Forensic Science International*, 2020.
- [15] G. Fournier, F. Savall, K. Nasr, N. Telmon, et D. Maret, « Three dimensional analysis of bitemark using an intraoral scanner », *Forensic Science International*, 2019.
- [16] M. Grover, R. Gorea, G. Shivakumar, T. Ram, P. Puri, et A. Jindal, « How deep is the bite ? A review on bitemarks in forensic odontology », *J Punjab Acad Forensic Med Toxicol*, 2013.
- [17] Insee, « Institut national de la statistique et des études économiques ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4277740?sommaire=4318291>.
- [18] Interieur.gouv, « Ministère de l'intérieur - Rapport d'enquête "Cadre de vie et sécurité" 2019 ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.interieur.gouv.fr/Interstats/Actualites/Rapport-d-enquete-Cadre-de-vie-et-securite-2019>.
- [19] Interieur.gouv, « Ministère de l'intérieur - Rapport d'enquête "Insécurité et délinquance" 2019 ». [En ligne]. Disponible sur: <https://www.interieur.gouv.fr/Interstats/Actualites/Insecurite-et-delinquance-en-2019-une-premiere-photographie-Interstats-Analyse-N-24>.
- [20] A. Kanaparthi, M. A. Meundi, C. M. David, D. R. Mahesh, S. L. Krishnappa, et R. K. Kastala, « Precision of 3D optical scanner in Assimilation of Experimental Bite Marks in Chocolate », *Journal of Indian Academy of Oral Medicine & Radiology*, 2020.
- [21] C. Laborier *et al.*, *Odontologie médico-légale : identification des personnes, des bases fondamentales aux experts de terrain*. 2013.
- [22] C. Laborier, D. Cerino, P. Welsch, et C. Rallon, « Histoire de l'odontologie médico-légale récente. Son évolution, ses motivations », *Société française d'histoire de l'art dentaire*, 2015.
- [23] Landwerlin O., « CFAO Dentaire et empreinte optique : les caméras au banc d'essai », *Le Fil dentaire*, 2014.
- [24] A. Lasser, A. J. Warnick, et G. M. Berman, « Three-Dimensional Comparative Analysis of Bitemarks », *J Forensic Sci*, 2009.

- [25] C. Lewis et L. A. Marroquin, « Effects of skin elasticity on bite mark distortion », *Forensic Science International*, 2015.
- [26] C. Lutton, « «Montre-moi tes dents, je te dirai qui tu es». Apport de l'odontologie aux méthodes de l'identification », *Aos Journal*, 2010.
- [27] S. Martin-de-las-Heras et D. Tafur, « Comparison of simulated human dermal bitemarks possessing three-dimensional attributes to suspected biters using a proprietary three-dimensional comparison », *Forensic Science International*, 2009.
- [28] S. Martin-de-las-Heras, D. Tafur, et M. Bravo, « A quantitative method for comparing human dentition with tooth marks using three-dimensional technology and geometric morphometric analysis », *Acta Odontologica Scandinavica*, 2014.
- [29] Ministère de la Justice, « Mission sur les morts violentes d'enfants au sein des familles ». .
- [30] S. Naether, U. Buck, L. Campana, R. Breitbeck, et M. Thali, « The examination and identification of bite marks in foods using 3D scanning and 3D comparison methods », *Int J Legal Med*, 2012.
- [31] Organisation Mondiale de la Santé, « Maltraitance des personnes âgées », juin-2020. [En ligne]. Disponible sur: <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/elder-abuse>.
- [32] T.-T. Pham, G. De marco, C. Bouvet, M.-C. Zanella, et L. Kaiser, « Morsures animales et humaines : que faire et à quoi penser ? », *Rev Med Suisse*, 2019.
- [33] I. Pretty, « Development and Validation of a Human Bitemark Severity and Significance Scale », *Journal of forensic sciences*, 2007.
- [34] I. A. Pretty, « Forensic dentistry : 2. Bitemarks and bite injuries », *Dental Update*, 2008.
- [35] I. A. Pretty et D. Sweet, « A paradigm shift in the analysis of bitemarks », *Forensic Science International*, 2010.
- [36] A. Przystanska *et al.*, « The Effectiveness of 2D and 3D Methods in the Analysis of Experimental Bite Marks », *Dent. Med. Probl.*, 2015.
- [37] G. V. Reesu et N. L. Brown, « Inconsistency in opinions of forensic odontologists when considering bite mark evidence », *Forensic Science International*, 2016.
- [38] X. Riaud et P. Brousseau, *Odontologie médico-légale et serial killers*. 2014.
- [39] Ribere L., « Étude criminologique des morsures Humaines : Méthodes d'analyses tridimensionnelles des traces de morsure. », 2021.
- [40] B. R. Rothwell, « Bitemarks in forensic dentistry : a review of legal, scientific issues », *JADA*, 1995.
- [41] Scannify, « User manule Fuel3D », 2014.
- [42] Schauder C., « Troubles des conduites, interventions précoces et psychanalyse », p. 128, 2008.
- [43] M. A. Sirakova et G. Debelle, « Identifying human bite marks in children », *Paediatrics and child health*, 2014.
- [44] D. Sweet, M. Lorente, J. A. Lorente, A. Valenzuela, et E. Villanueva, « An Improved Method to Recover Saliva from Human Skin: The Double Swab Technique », *Journal of forensic sciences*, 1997.
- [45] D. Sweet et I. A. Pretty, « A look at forensic dentistry — Part 2: Teeth as weapons of violence — identification of bitemark perpetrators », *BRITISH DENTAL JOURNAL, VOLUME 190, NO. 8*, 2001.
- [46] M. J. Thali *et al.*, « Bite mark documentation and analysis: the forensic 3D/CAD supported photogrammetry approach », *Forensic Science International*, 2003.
- [47] A. K. Verma, S. Kumar, et S. Bhattacharya, « Identification of a person with the help of bite mark analysis », *journal of oral biology and craniofacial research* 3, 2013.
- [48] P. Vetter, F. Denhez, O. Giraud, et P. Zimmermann, « Étude criminalistique des morsures humaines: techniques d'investigation employées et méthode d'analyse dentaire », 2015.
- [49] R. Walter, « An examination of the psychological aspects of bitemarks », *Am J Forensic Med Pathol*, 1985.
- [50] D. A. Webb, D. Sweet, D. L. Hinman, et I. A. Pretty, « Forensic implications of biting behavior : a conceptually underdeveloped area of investigation », *Journal of forensic sciences*, 2001.

Serment

En présence de mes Maîtres et de mes condisciples, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de l'art dentaire.

Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent et n'exigerai jamais un honoraire au-dessus de mon travail. Ma langue taira les secrets qui me seront confiés. Admis à l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe.

Mes connaissances et mon état ne serviront ni à diffuser des propos non avérés, ni à corrompre les mœurs, ni à favoriser le crime.

Je ne permettrai pas que des conditions de croyance, de nation et de race viennent s'interposer entre mon devoir et mon patient.

Je promets et je jure de conformer strictement ma conduite professionnelle aux principes et aux règles prescrites par le code de déontologie.

Si je remplis ce serment sans l'enfreindre, qu'il me soit donné de jouir heureusement de la vie et de ma profession, honorée à jamais parmi les hommes. Si je le viole et que je me parjure, puisse-je avoir un sort contraire.

Bordeaux, le 20/01/2022

Président du Jury



Pr Marie-José BOILEAU

Docteur en Chirurgie Dentaire



Louise RIBERE

Vu, Le Président du Jury,

Date, Signature :

Vu, la Directrice de l'UFR des Sciences Odontologiques,

Date, Signature :

Vu, le Président de l'Université de Bordeaux,

Date, Signature :

Titre : Étude criminologique des morsures humaines : Méthodes d'analyses tridimensionnelles des traces de morsures

Résumé : Lors d'attaques sexuelles, d'homicides ou de maltraitance, les victimes sont parfois mordues. Chaque personne a une dentition qui lui est propre et unique, les marques de morsures peuvent ainsi être utilisées pour identifier un individu. Leur étude est basée sur la comparaison entre la dentition du suspect et les marques de dents retrouvées sur la victime.

Nous avons évalué la reproductibilité et la fiabilité d'une analyse tridimensionnelle (photogrammétrie, caméra 3D et scanner 3D) comparativement à celle de la photographie bidimensionnelle.

Les fichiers, obtenus des traces de morsures sur la peau pour chaque méthode d'enregistrement ainsi que ceux de la dentition de trois suspects, ont ensuite été comparés visuellement et géométriquement dans le logiciel CloudCompare. La photogrammétrie s'est révélée être la meilleure technique d'enregistrement tridimensionnelle permettant d'exclure les dentitions incorrectes de la liste des suspects et d'identifier possiblement le bon suspect. Des recherches complémentaires sont nécessaires afin d'éviter certains biais et d'améliorer l'analyse.

Mots clés : Morsure ; 3D ; tridimensionnelle ; comparaison ; photogrammétrie ; expérimentation clinique, odontologie médico-légale.

Title : Criminological study of human bites : Three-dimensional analysis methods for bite marks.

Abstract : During sexual assaults, homicides or mistreatment, victims are sometimes bitten. Each person has their own unique set of teeth, thus bite marks can be used to identify an individual. Their study is based on the comparison between the suspect's dentition and the tooth marks found on the victim.

We evaluated the reproducibility and reliability of a three-dimensional analysis (photogrammetry, 3D camera and 3D scanner) compared to a two-dimensional analysis using photography.

The files, obtained from bite marks on the skin for each recording method and those from the dentition of three suspects, were compared visually and geometrically with the CloudCompare software. Photogrammetry has proven to be the best three-dimensional technique allowing us to exclude incorrect dentitions from the suspect list and to possibly identify a possible aggressor. Further research is needed to avoid certain biases and improve the analysis.

Keywords : Bite mark ; 3D ; three-dimensional ; comparison ; photogrammetry ; clinical experimentation, forensic odontology.