

Université de Montréal

Influence du climat provincial sur l'identification de restes humains en
décomposition exposés en milieu naturel dans le sud du Québec
Optimisation des méthodes de restauration et prélèvement des empreintes digitales

Par

Karelle Séguin

Programme de sciences biomédicales, Faculté de médecine
en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières

Mémoire présenté

en vue de l'obtention du grade de Maître ès sciences (MSc) en sciences biomédicales

Mars 2023

© Karelle Séguin, 2023

Université du Québec à Trois-Rivières

Service de la bibliothèque

Avertissement

L'auteur de ce mémoire, de cette thèse ou de cet essai a autorisé l'Université du Québec à Trois-Rivières à diffuser, à des fins non lucratives, une copie de son mémoire, de sa thèse ou de son essai.

Cette diffusion n'entraîne pas une renonciation de la part de l'auteur à ses droits de propriété intellectuelle, incluant le droit d'auteur, sur ce mémoire, cette thèse ou cet essai. Notamment, la reproduction ou la publication de la totalité ou d'une partie importante de ce mémoire, de cette thèse et de son essai requiert son autorisation.

Université de Montréal

Programme de sciences biomédicales, Faculté de médecine
en extension à l'Université du Québec à Trois-Rivières

Ce mémoire intitulé

**Influence du climat provincial sur l'identification de restes humains en
décomposition exposés en milieu naturel dans le sud du Québec**
Optimisation des méthodes de restauration et prélèvement des empreintes digitales

Présenté par

Karelle Séguin

A été évalué par un jury composé des personnes suivantes

Detlev Grabs

Président-rapporteur

Frank Crispino

Directeur de recherche

Shari Forbes

Codirectrice

Syrina Al Aïn

Membre du jury

Résumé

Les empreintes papillaires sont principalement utilisées à des fins d'identification par les forces policières, chez les individus vivants et décédés. Dans les contextes forensiques, l'étendue de la conservation/décomposition de restes peut avoir un impact sur la capacité de restaurer et prélever les empreintes papillaires, et par conséquent, sur les méthodes utilisées. L'application de ces méthodes sur le terrain (p. ex. en cas de catastrophes de masse ou fosses communes) ne peut pas compter sur les mêmes installations/ressources de laboratoire, et nécessite des adaptations pratiques. Ce travail de recherche représente la première application et comparaison dans un cadre expérimental des méthodes de restauration et prélèvement des empreintes papillaires à partir de restes humains en décomposition dans des conditions contrôlées au Québec.

Deux essais ont été menés sur quatre donneurs au site de Recherche en Sciences Thanatologiques Expérimentales et Sociales (REST[ES]); un à l'été 2021 et un à l'automne/hiver 2021-2022. Au total, cinq méthodes existantes de restauration et trois méthodes de prélèvement, développées sous d'autres climats, ont été expérimentées. Les résultats ont montré que les méthodes pouvaient être adaptées pour une application sur le terrain, de manière simple, rapide et économique. Les restaurations et prélèvements après l'hiver ont été réalisées de façon moins invasive et destructrice qu'en été, où des variables incontrôlables ont limité leur application. Basé sur ces résultats, deux outils ont été développés pour soutenir la prise de décision des praticiens du Québec (Canada) lors du choix des méthodes à prioriser dans les cas réels forensiques.

Mots-clés : Science forensique, Identification dactyloscopique, Taphonomie, Décomposition humaine, Restauration, Prélèvement, Empreinte, Trace, Évaluation

Abstract

Fingerprints are primarily used for identification purposes by law enforcement, for both living and deceased individuals. In forensic contexts, the extent of preservation or decomposition of remains can impact the ability to restore and collect fingerprints, and subsequently the methods used. Additionally, implementation of these methods in the field in cases of mass disasters or mass graves cannot rely on laboratory facilities and resources, and therefore require practical adaptations. This research work represents the first application and comparison in an experimental setting of fingerprints restoration and collection methods from decomposing remains under controlled conditions in Quebec.

Two trials were conducted on four donors at the site for Research in Experimental and Social Thanatology (REST[ES]); one in summer 2021 and one in fall/winter 2021-2022. In total, five existing restoration methods and three collection methods, developed in other climates, were tested. Results showed that fingerprint restoration and collection methods could be adapted for practical applications in real forensic contexts, in a simple, rapid, and cost-effective way. Fingerprints restorations and collections after winter were achieved in less invasive and destructive manners than in summer, where uncontrollable variables limited their application. Based on these results, two tools have been developed to support the decision-making of forensic practitioners in Quebec (Canada) when choosing which methods to prioritize in real forensic cases.

Keywords: Forensic Science, Fingerprint Identification, Human Decomposition, Taphonomy, Restoration, Collection, Fingerprint, Fingermark, Evaluation

Table des matières

Résumé	3
Abstract	4
Table des matières	5
Liste des tableaux	8
Liste des figures	10
Liste des sigles et des abréviations.....	13
Remerciements	16
Chapitre 1 – Introduction	18
1.1. Objectifs de l'étude.....	22
Chapitre 2 – Revue de la littérature.....	24
2.1. La composition des empreintes papillaires.....	24
2.1.1. Composition de la peau et des crêtes de friction.....	24
2.1.2. Développement <i>in utero</i> des crêtes de friction.....	27
2.1.3. Altérations potentielles des crêtes de friction	30
2.2. La décomposition <i>post mortem</i> des empreintes papillaires	33
2.2.1. Processus de la décomposition cadavérique.....	33
2.2.2. Impact de la décomposition cadavérique sur les empreintes papillaires.....	39
2.2.3. Méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires	41
2.3. Le processus d'identification des empreintes et traces papillaires	43

2.3.1.	Caractéristiques de comparaison (niveau 1, 2 et 3) des empreintes papillaires	43
2.3.2.	Processus d'analyse ACE-V.....	46
2.3.3.	Expression d'une identification en dactyloscopie.....	48
Chapitre 3 – Article scientifique		54
3.1.	Contexte de l'article.....	54
3.2.	Abstract.....	55
3.2.1.	Keywords	55
3.2.2.	Highlights	56
3.3.	Introduction	56
3.4.	Materials and methods.....	59
3.4.1.	Experimental environment and variables	59
3.4.2.	Fingerprint restoration and collection methods.....	62
3.4.3.	Fingerprints analysis	65
3.5.	Results and Discussion	65
3.5.1.	Environmental conditions and decomposition process	65
3.5.2.	Fingerprint restoration and collection methods from decomposing fingers	72
3.5.3.	Fingerprint analysis	77
3.6.	Conclusion.....	78
3.7.	Acknowledgements	80
3.8.	Declarations of interest.....	80
3.9.	CRedit authorship contribution statement.....	81

Chapitre 4 – Résultats supplémentaires	82
4.1. Méthodologie utilisée pour les expérimentations exploratoires	82
4.2. Résultats préliminaires obtenus	85
Chapitre 5 – Discussion générale	93
5.1. Article scientifique	93
5.2. Résultats supplémentaires.....	98
Chapitre 6 – Conclusion	100
Références bibliographiques	103
Annexe A	121
Annexe B	125
Annexe C	126
Annexe D	128
Annexe E	129

Liste des tableaux

Table 1. – Les observations visuelles et les changements externes <i>post mortem</i> des cinq stades du processus de décomposition cadavérique.....	34
Table 2. – Categories, appearance, and general characteristics of fingers observable during decomposition process, adapted from Ribéreau-Gayon <i>et al.</i> [135]......	62
Table 3. – Average ambient temperature, relative humidity, rain, and snow precipitation [196] conditions at the REST[ES] facility at Bécancour, Quebec from June 2021 to July 2021 and October 2021 to April 2022.	66
Table 4. – Details about bequeathed donors for the summer and fall/winter trials of the experimental study on the ability to restore and collect fingerprints from human corpses exposed in outdoors. *R stands for restoration.	70
Table 5. – Résultats du rapport de vraisemblance obtenu lors de la phase d’analyse (ESLR) et du rapport de vraisemblance calibré (LR) et du rang obtenu lors de la phase de comparaison. *Les URN d’identification des empreintes papillaires dermiques et épidermiques sont les numéros d’identification attribués par la doctorante dans le cadre de son projet [17].	89
Table A1. – Les méthodes de restauration des empreintes papillaires en fonction de l’état du corps et la couche de peau ciblée dans la littérature publiée. *Dans la colonne de l’état du corps, D signifie décomposition avancée et M signifie momification.....	121
Table A2. – Les méthodes prélèvement des empreintes papillaires en fonction de l’état du corps et la couche de peau ciblée dans la littérature publiée. *Dans la colonne de l’état du corps, D signifie décomposition avancée, CD signifie en commencement de décomposition, M signifie momification et AR signifie après restauration.....	123
Table C1. – Définition et illustrations des trois dessins généraux principaux présent dans la littérature et caractérisant le niveau 1 d’informations des traces/empreintes papillaires.....	126

Table D1. – Informations médicales reliées aux quatre donneurs pour les essais été et automne/hiver.....128

Table E1. – Résultats obtenus des restaurations et des prélèvements réalisés pour les quatre donneurs lors des deux essais expérimentaux. ¹Dans la colonne doigts, G signifie gauche et D signifie droit. ²Dans la colonne de la méthode de restauration, R signifie réhydratation et I signifie injection sous-cutanée. ³Dans la colonne résultats, EP signifie empreinte papillaire.129

Liste des figures

- Figure 1. – Représentation de la structure de la peau et de ces trois différentes couches principales : l'épiderme, le derme et l'hypoderme (identifié comme tissu sous-cutané), ainsi que diverses composantes du corps humain (follicule capillaire, glandes, nerfs, artères, veines, etc.). Illustration prise de Drahansky, M. et al. (2012) [50] et obtenue de Habif, T. P. (2004) [58] avec permission.25
- Figure 2. – Représentation de la structure d'une crête de friction et de ces différentes composantes : les crêtes dermiques primaires, les crêtes dermiques secondaires, une glande sudoripare et un pore. Illustration reproduite et adaptée de Wertheim and Maceo (2002) [64]. ...27
- Figure 3. – Représentation schématique du développement in utero (la morphogénèse) des crêtes de friction de la peau, inspirée d'Okajima (1975) [69].29
- Figure 4. – Représentation d'un dessin papillaire de type boucle à droite, identifiant les trois types principaux de minuties : un arrêt de ligne (flèche de couleur verte), une bifurcation (flèche de couleur bleue) et un point ou îlot (flèche de couleur rouge). Illustration prise du livre du FBI (1984) [148], sans permission requise.....45
- Figure 5. – Processing workflow diagram for fingerprint restoration and collection from decomposed bodies in the field, adapted from Mulawka (2014) [7].68
- Figure 6. – A) Left hand of Donor 1 at the REST[ES] facility, June 23rd, 2021, on the first experimental day (ED). B) Left hand of Donor 1 at the REST[ES] facility, July 5th, 2021, on ED 13 (minor liquefaction). C) Left hand of Donor 2 at the REST[ES] facility, July 10th, 2021, on the first ED. D) Left hand of Donor 2 at the REST[ES] facility, July 23rd, 2022, on ED 13 and before restorations were completed on the same day (major liquefaction). E) Right hand of Donor 3 at the REST[ES] facility, October 12th, 2021, on the first ED. F) Right hand of Donor 3 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, on ED 190, and before restorations were completed on the same day (major desiccation). G) Left hand of Donor 4 at the REST[ES] facility, November 4th, 2021, before winter, on the first ED. H) Left hand of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, on ED 160, and before restorations were completed on the same day (minor desiccation).72

Figure 7. – A) Left auricular of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, before subcutaneous injection with air. B) Left auricular of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, after subcutaneous injection with air.....73

Figure 8. – Application of the rehydration method on the left fingers of Donor 3 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022.....74

Figure 9. – Left index of Donor 3 at the REST[ES] facility, November 4th, 2021, after the "skin glove method" and photography as a collection method.75

Figure 10. – Application of the molding method on the right fingers of Donor 3 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022.76

Figure 11. – A) Mold of the right index of Donor 3 at the UQTR forensic photography room, April 26th, 2022, after inking and digital photography as collection methods. B) Right index of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, after inking and digital photography as a collection method.78

Figure 12. – Exemple d’une grille de distribution des scores AFIS d’une empreinte papillaire dermique produite lors du rapport de cas à l’étape d’analyse. La courbe en bleue représente la variabilité intersource et la courbe en rouge représente la variabilité intrasource. Celles-ci permettent d’évaluer le ESLR. La barre verticale noire concorde avec la valeur moyenne des scores AFIS de la variabilité intrasource (ligne 8 du tableau à la figure 13).85

Figure 13. – Exemple d’un tableau de données d’une empreinte papillaire dermique (trace indiciaire) produit lors du rapport de cas à l’étape d’analyse. Le ESLR est indiqué à la quatrième ligne du tableau.86

Figure 14. – Exemple d’une grille de distribution du score AFIS entre l’empreinte papillaire dermique (trace indiciaire) et l’empreinte papillaire épidermique (empreinte de comparaison) produite lors du rapport de cas à l’étape de comparaison. La courbe en bleue représente la variabilité intersource et la courbe en rouge représente la variabilité intrasource. Celles-ci permettent d’évaluer le LR. La barre verticale noire concorde avec le score AFIS obtenu de la comparaison entre la trace indiciaire et l’empreinte de comparaison du présent cas (ligne 12 du tableau à la figure 15).87

Figure 15. – Exemple d’un tableau de données produit lors du rapport de cas à l’étape de comparaison entre une empreinte papillaire dermique (trace indiciaire) et l’empreinte papillaire épidermique (empreinte de comparaison). Le LR est indiqué à la sixième ligne du tableau et le rang à la huitième ligne.88

Figure 16. – Les photographies des empreintes papillaires dermiques ont été prises de la thèse de Dzetkucicová, V. (2021) [17]. Les empreintes ont été restaurées par la méthode Thiel et prélevées avec de la poudre dactyloscopique. A) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 1888. B) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 2407. C) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 1453. D) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 2567. E) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 0874. F) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 1081. G) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 0321. H) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 0775.....91

Figure 17. – Exemple d’une grille de distorsion produite lors du rapport de cas à l’étape de comparaison entre une empreinte papillaire dermique et d’une empreinte papillaire épidermique.....92

Figure B1. – Les méthodes de restauration et de prélèvement expérimentées dans la présente recherche.....125

Figure C1. – Représentation d’un dessin papillaire de type boucle à gauche.....126

Figure C2. – Représentation d’un dessin papillaire de type boucle à droite.126

Figure C3. – Représentation d’un dessin papillaire de type verticille simple.127

Figure C4. – Représentation d’un dessin papillaire de type boucle jumelée.....127

Figure C5. – Représentation d’un dessin papillaire de type arc simple.....127

Figure C6. – Représentation d’un dessin papillaire de type arc en tente.....127

Liste des sigles et des abréviations

ACE-V	Analyse, Comparaison, Évaluation-Vérification
ADN/ <i>DNA</i>	Acide désoxyribonucléique
AFIS	<i>Automated Fingerprint Identification System</i>
ANOVA	<i>Analysis of Variance</i> (Analyse de la variance)
<i>BMI/IMC</i>	<i>Body mass index</i> (Indice de masse corporelle)
C.-à-d.	C'est-à-dire
CAST	<i>Center for Applied and Technical Sciences</i>
CDI	<i>Cadaver decomposition island</i> (Îlot de décomposition)
CICC	Centre international de criminologie comparée
CNPDRN	Centre national pour les personnes disparues et les restes non identifiés
ED	<i>Experimental days</i>
EGA	<i>Estimated gestational age</i> (Âge gestationnel estimé)
ESC	École des Sciences Criminelles
ESLR	<i>Expected Scorebase Likelihood Ratio</i> (Rapport de vraisemblance espéré)
FBI	<i>Federal Bureau of Investigation</i>
GRC	Gendarmerie Royale du Canada

GRSF	Groupe de Recherche en Science Forensique
<i>Idem</i>	La même chose
IFRG	<i>International Fingerprint Research Group</i>
LR	<i>scorebase Likelihood Ratio</i> (Rapport de vraisemblance calibré)
NRC	<i>National Research Council</i>
P. ex.	Par exemple
PiAnoS	Picture Annotation System
POI	<i>Person of Interest</i> (Personne d'intérêt)
REST[ES]	Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales]
SCELERA	Sous-comité d'éthique du laboratoire d'enseignement et de recherche en anatomie
SPIP	Société du Parc Industriel et Portuaire de Bécancour
SQ	Sûreté du Québec
UNIL	Université de Lausanne
UQTR	Université du Québec à Trois-Rivières

*« Eliminate all other factors,
and the one which remains must be the truth. »*

-Sherlock Holmes

Remerciements

Au terme de ces deux années de maîtrise, alors que les apparences suggèrent que cet accomplissement est le mien à moi seul, rien n'est plus loin de la vérité. Je réalise que beaucoup de personnes m'ont encouragée, mais également soutenue, inspirée, et parfois même tolérée dans mes moments les moins beaux (Sheldon Copper de « The Big Bang Theory », S12, E24). Je prends donc ces quelques lignes pour leur signifier toute ma reconnaissance.

Mon directeur de recherche Frank Crispino, dont le savoir et le dévouement ont su réveiller une réelle passion pour la science forensique. Merci de m'avoir accordé votre confiance lors de mes années à titre d'assistante de recherche, de votre soutien tout au long de mon travail de recherche et pour nos nombreuses discussions et réflexions ayant permis d'affiner mon esprit critique. Mon cheminement académique n'aurait certainement pas été aussi enrichissant sans votre appui.

Ma codirectrice de recherche Shari Forbes, qui m'a fait découvrir un domaine passionnant et singulier, mais qui m'a aussi inspirée à poursuivre aux cycles supérieurs. Merci pour votre gentillesse, votre appui immense tout au long de mon travail de recherche, de m'avoir donné la chance de faire partie de votre équipe de recherche et pour toutes les expériences de recherche stimulantes qui ont suivi.

Mes collègues qui n'ont pas peur de se salir les mains, de s'entraider, de se « challenger » et d'avoir des discussions passionnantes. Un grand merci particulièrement à Agathe Ribéreau-Gayon et Frédérique Ouimet pour votre précieuse contribution aux nombreuses étapes de mon travail de recherche, sans laquelle ces deux années de travail n'auraient pu aboutir à l'article scientifique que nous avons écrit. Un merci très spécial et important aux hommes et femmes ayant fait don de leur corps à la science ainsi que leur famille sans qui nos recherches ne pourraient jamais voir le jour.

Mon conjoint Alexandre, avec qui j'ai eu la chance d'évoluer durant mes années de recherche, mais aussi de voir l'homme (et le scientifique) que tu es devenu. Merci de ta patience (parce que je suis consciente que la mienne est parfois courte), de tes encouragements, de ton amour et de tous les repas que tu as cuisinés quand j'étais en mode ermite. Je suis si reconnaissante de partager ma vie à tes côtés et de vivre des expériences parfois un peu hors de ma zone de confort. Je t'aime le plus.

Mon père et ma mère qui m'ont toujours témoigné fierté ainsi qu'un soutien inconditionnel dans mon cheminement académique et dans toutes les sphères de ma vie. Je vous dois beaucoup, mais j'aimerais particulièrement vous remercier pour votre amour.

Ma famille, mes deux sœurs de cœur (Ashley et Laurence) et mes amies d'université devenues des amies de vie (Heidi et Frédérique), qui m'ont toujours appuyée dans mes projets et qui m'ont témoigné amour et patience à plusieurs occasions.

Finalement, quelques remerciements au Groupe de Recherche en Science Forensique (GRSF), le Centre international de criminologie comparée (CICC) et l'*International Association for Identification* (IAI) pour leur soutien financier respectif accordé à ma recherche.

Chapitre 1 – Introduction

D'après le Centre national pour les personnes disparues et les restes non identifiés (CNPDRN), le nombre de cas de disparition d'adultes signalés par les forces policières en 2021 s'élevait à 31 240 au Canada et 2 863 au Québec [1]. Les chiffres concernant les cas de disparition d'enfants en 2021 étaient de 28 033 pour le Canada et 3 456 pour la province du Québec [1]. Au cours des quatre dernières années, le nombre de victimes d'homicide rapportées par les forces policières canadiennes a augmenté globalement au Canada, atteignant 788 en 2021 [2]. Pour la région métropolitaine de Montréal, ce nombre est resté relativement stable au cours de ces quatre dernières années, correspondant à 48 en 2021 [2]. Bien que ces statistiques n'informent pas sur le pourcentage de cas pour lesquels les empreintes papillaires (digitales) ont ou auraient été utilisées comme outil d'identification, elles illustrent les scénarios forensiques potentiels dans lesquels elles pourraient être mobilisées. En revanche, il existe un consensus parmi les praticiens forensiques (c.-à-d. médecins légistes, coroners, experts en empreintes papillaires, techniciens en identité judiciaire, etc.) considérant les empreintes papillaires comme un des identifiants disponibles les moins chronophages et coûteux [3-7].

En contexte forensique, elles ne sont pas seulement utilisées pour identifier formellement un individu vivant, tel qu'un auteur potentiel dans une enquête criminelle, mais également pour identifier un individu décédé, à la fois pour des cas individuels ou lors de catastrophes de masse ou découverte de fosses communes [3,4,8-11]. Selon le degré de conservation ou décomposition des restes humains, leur utilisation est souvent priorisée au bénéfice des autres identifiants (p. ex. l'analyse d'un profil d'acide désoxyribonucléique (ADN), les panoramiques dentaires, les caractéristiques physiques potentiellement discriminantes, dont les tatouages) [3,12-15]. Les

incertitudes soulevées par la dégradation du corps portent à réflexion sur la terminologie du sujet de ce travail de recherche. En dactyloscopie, il convient de distinguer la trace papillaire de l’empreinte papillaire. La première est une reproduction non contrôlée, involontaire et imparfaite, voire partielle du contact des crêtes papillaires naturellement présentes sur le bout des doigts, les paumes et la plante des pieds avec une surface [7,16-19] que l’on peut par exemple retrouver sur une scène de crime. La seconde consiste en une reproduction contrôlée et volontaire de l’agencement des crêtes papillaires [16-19] sur une fiche ou scanner décadactylaire. Dans le contexte forensique, le sujet d’une recherche, tous domaines confondus, est généralement une trace, définie par Margot (2014) [20] comme « [une marque ou] un signal apparent, pas nécessairement visible à l’œil nu, [représentant] le vestige d’une présence et/ou d’une action à l’endroit de cette dernière ». La trace n’est pas une empreinte ni un échantillon, mais un spécimen. Elle est considérée comme unique (n’existant que telle quelle en un seul exemplaire), non contrôlée et possiblement dégradée, imparfaite, contaminée, fragmentaire et mélangée. Elle n’est pas nécessairement représentative, du moins statistiquement, car son intravariabilité est inconnue [20].

Par conséquent, le présent travail de recherche porte sur les empreintes papillaires présentes sur le bout des doigts, cependant chaque doigt et empreinte papillaire doit être considéré et traité comme une trace, étant donné la perte de qualité native, ontologique due à la décomposition. Les restes d’un individu récemment décédé fourniront sûrement des empreintes papillaires de qualité optimale, mais la décomposition les transforme en trace papillaire (vestiges de leur présence sur les doigts du vivant) de piètre qualité avec le temps qui passe. On ne peut donc prétendre acquérir la meilleure représentation possible (empreinte) du doigt à son origine. Cependant, par convention, le terme « empreinte » sera utilisé dans la suite de ce mémoire pour désigner le sujet de ce travail de recherche. Dans un contexte d’identification d’un individu décédé, les empreintes papillaires

permettent d'obtenir des résultats hautement discriminants [21-24], et ce, en prenant en considération l'accès à des empreintes *ante mortem* (prélevées du vivant de l'individu) de qualité et l'état des crêtes papillaires des empreintes *post mortem* (après le décès). Par exemple, lors du tsunami en Asie du Sud-Est en 2004 qui a causé plus de 300 000 victimes [10,17,25], 31 % des identifications ont été obtenues par la comparaison des empreintes papillaires *ante mortem* et *post mortem* [25-27].

Toutefois, l'état d'avancement de la décomposition des restes non identifiés peut influencer la capacité de restaurer et prélever des dessins papillaires avec des caractéristiques optimales et assimilables [3,4,28-32]. Les changements externes *post mortem* du corps se produisent à différentes échelles anatomiques, y compris à celle des mains et des doigts. Ces changements *post mortem* sont le résultat de phénomènes biologiques documentés dans la littérature scientifique et considérés comme liés au temps écoulé depuis le décès. Ces phénomènes comprennent notamment l'autolyse, la putréfaction, la squelettisation et la dessiccation (momification) [3,5,13-15,33]. Ils font l'objet, parmi tant d'autres, des études en taphonomie forensique, discipline définie comme l'étude interdisciplinaire de ce qui est arrivé à un organisme entre son décès et sa découverte [34,35]. Plusieurs méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires ont été proposées dans la littérature [3-5,7,10,13-15,23,33,36-44] pour essayer de pallier les problèmes liés à la décomposition, soit en cas de décomposition avancée (peu de tissus mous disponibles) ou de dessiccation. En raison de l'état d'avancement de la décomposition de certains restes, les méthodes de restauration et de prélèvement reposent sur deux couches principales de la peau : l'épiderme (couche externe) et le derme (couche du centre). L'utilisation de ces deux sources peut être nécessaire afin d'obtenir des empreintes papillaires. Nombre d'entre elles nécessitent le recours à un laboratoire pour examiner les particularités de chaque cadavre et déterminer l'approche la plus

appropriée. L'application de ces méthodes sur le terrain ne peut s'appuyer sur les installations et les ressources similaires d'un laboratoire (p. ex. les appareils scientifiques, surfaces de travail, conditions ambiantes pouvant être contrôlées, etc.) [10,11,45]. Or, l'efficacité de ces méthodes, particulièrement sur le terrain, est rarement analysée dans la littérature scientifique. Les sources disponibles sur ce volet se limitent généralement à des rapports techniques, des études de cas et des revues de la littérature sur les méthodes et protocoles utilisés par les praticiens forensiques. Le manque de ressources et d'installations, comme un site de recherche sur la décomposition humaine pour mener des recherches expérimentales, soulève plusieurs questionnements quant à l'adaptabilité pratique de ces méthodes sur le terrain. Ce travail de recherche se propose donc d'apporter une contribution nouvelle au domaine de la restauration et du prélèvement des empreintes papillaires en contexte forensique en produisant des données provenant d'un cadre expérimental. Ce travail ambitionne de proposer un protocole d'optimisation des méthodes d'identification de terrain, par le relevé des empreintes papillaires, de restes humains en état de décomposition avancée ou dessiccation au Québec.

La problématique générale de ce travail de recherche est d'explorer l'influence du climat provincial sur la décomposition et d'expérimenter l'efficacité de méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires à différents moments du processus de décomposition. Afin d'y répondre, le présent mémoire est divisé en six chapitres distincts. Le chapitre Introduction (1) offre un aperçu général du contexte, de la problématique de recherche et expose les objectifs. Le chapitre Revue de la littérature (2) dresse un état des lieux détaillé des connaissances théoriques et empiriques sur la restauration et le prélèvement des empreintes papillaires de restes humains en décomposition. Plusieurs concepts fondamentaux introduits dans ce chapitre facilitent la compréhension et l'interprétation des données présentées dans les prochains chapitres. La section Résultats est

séparée en deux chapitres : le premier chapitre est sous forme d'un Article scientifique (3) et met en évidence l'efficacité de méthodes de restauration et de prélèvement d'empreintes papillaires dans des conditions climatiques estivales et hivernales québécoises. Le second chapitre présente des Résultats supplémentaires (4) provenant d'une étude expérimentale exploratoire qui démontre l'application du rapport de vraisemblance (LR) comme potentiel indicateur de la qualité de la restauration d'empreintes papillaires. Le chapitre Discussion (5) est consacré à l'évaluation des résultats, à la lumière des connaissances disponibles dans la littérature actuelle, et propose des suggestions de travaux futurs à mener pour approfondir ce travail. Enfin, le chapitre Conclusion (6) répond aux objectifs identifiés pour ce travail et il identifie les contributions de celui-ci aux connaissances disponibles sur la dactyloscopie forensique.

1.1. Objectifs de l'étude

Le premier objectif de ce travail de recherche est d'explorer l'influence du climat du sud du Québec sur la décomposition des empreintes papillaires *in situ*, et d'en constater les contraintes sur la restauration et le prélèvement d'empreintes papillaires. L'accès au site de Recherche en Sciences Thanatologiques [Expérimentales et Sociales] (REST[ES]) de l'UQTR a permis de réaliser une série d'études expérimentales sur des donneurs au cours de l'été (conditions climatiques estivales) et de l'hiver (conditions climatiques hivernales). Les aspects expérimentaux de ce travail ne couvrent pas toute la gamme des conditions et mises en situation difficiles auxquelles peuvent être confrontés les praticiens forensiques dans un contexte opérationnel réel. Il s'agit d'une première contribution sous forme d'étude exploratoire menée dans un cadre expérimental rigoureux et des conditions contrôlées. Il est important de préciser que l'ensemble des paramètres de la

décomposition des donneurs étudiés dans le cadre de ce travail n'ont naturellement pas pu être maîtrisés en raison de la variation de multiples facteurs intrinsèques et extrinsèques, bien documentée dans la littérature [34,46-49].

Le deuxième objectif de ce travail de recherche est d'expérimenter en laboratoire et sur le terrain les méthodes de restauration identifiées lors de la revue de littérature, pouvant répondre aux contraintes identifiées lors du premier objectif, afin d'établir un protocole d'optimisation des méthodes d'identification par empreintes papillaires en contexte forensique. Diverses méthodes de restauration ont été comparées dans le contexte climatique québécois en utilisant des méthodes actuellement employées par les corps policiers provinciaux (pas toujours accessibles dans la littérature) et des méthodes favorisées par les praticiens forensiques (accessibles dans la littérature). Aussi, en retenant trois méthodes de prélèvement des empreintes papillaires (l'encrage, le moulage et la photographie), le troisième objectif de ce travail de recherche est de déterminer quelle méthode de prélèvement ou séquence serait la plus appropriée pour des empreintes papillaires de restes humains exposés en milieu naturel au Québec, à différents moments du processus de décomposition. Dans l'éventualité d'une catastrophe de masse, une identification rapide est généralement requise et souhaitée, mais les restes humains peuvent se décomposer promptement pendant les mois d'été au Québec. De plus, il n'est pas irréaliste que les restes ne soient pas retrouvés pendant plusieurs jours après. Une séquence de méthode(s) de restauration et de prélèvement à prioriser dans ce type de contexte d'identification permet d'orienter toute personne interpellée à identifier des restes humains. Enfin, le quatrième objectif de ce travail de recherche a pour ambition d'évaluer la qualité des empreintes papillaires obtenues après restauration. Les résultats de l'étude expérimentale exploratoire visent à mettre au point une méthode objective, détaillée et structurée pour évaluer l'efficacité des méthodes dactyloscopiques après restauration.

Chapitre 2 – Revue de la littérature

2.1. La composition des empreintes papillaires

2.1.1. Composition de la peau et des crêtes de friction

2.1.1.1. Structure de la peau

La peau est un organe essentiel qui possède la plus grande surface du corps humain [21,50,51]. Elle constitue 12 à 15 % du poids corporel d'un adulte [50]. Celle-ci représente la première ligne de protection physique contre les organismes étrangers, les radiations et autres particules [52,53]. En fait, la peau remplit six fonctions principales : (1) la détection de sensation via des terminaisons nerveuses, (2) la régulation de la température du corps, (3) l'absorption des rayons ultraviolets du soleil contribuant à la production de la vitamine D, (4) la protection contre la lumière ultraviolette, l'invasion de bactéries/germes et la perte d'humidité, (5) l'excrétion de déchets et de toxines par les glandes sudoripares et (6) la sécrétion de sébum et de sueur à la surface [50,52-55]. La structure de la peau est composée de trois couches principales (Figure 1) : l'épiderme (la couche externe), le derme (la couche du centre, aussi appelé « vraie peau ») et l'hypoderme (la couche de gras la plus profonde, aussi appelée *subcutis*) [17,50,56,57].

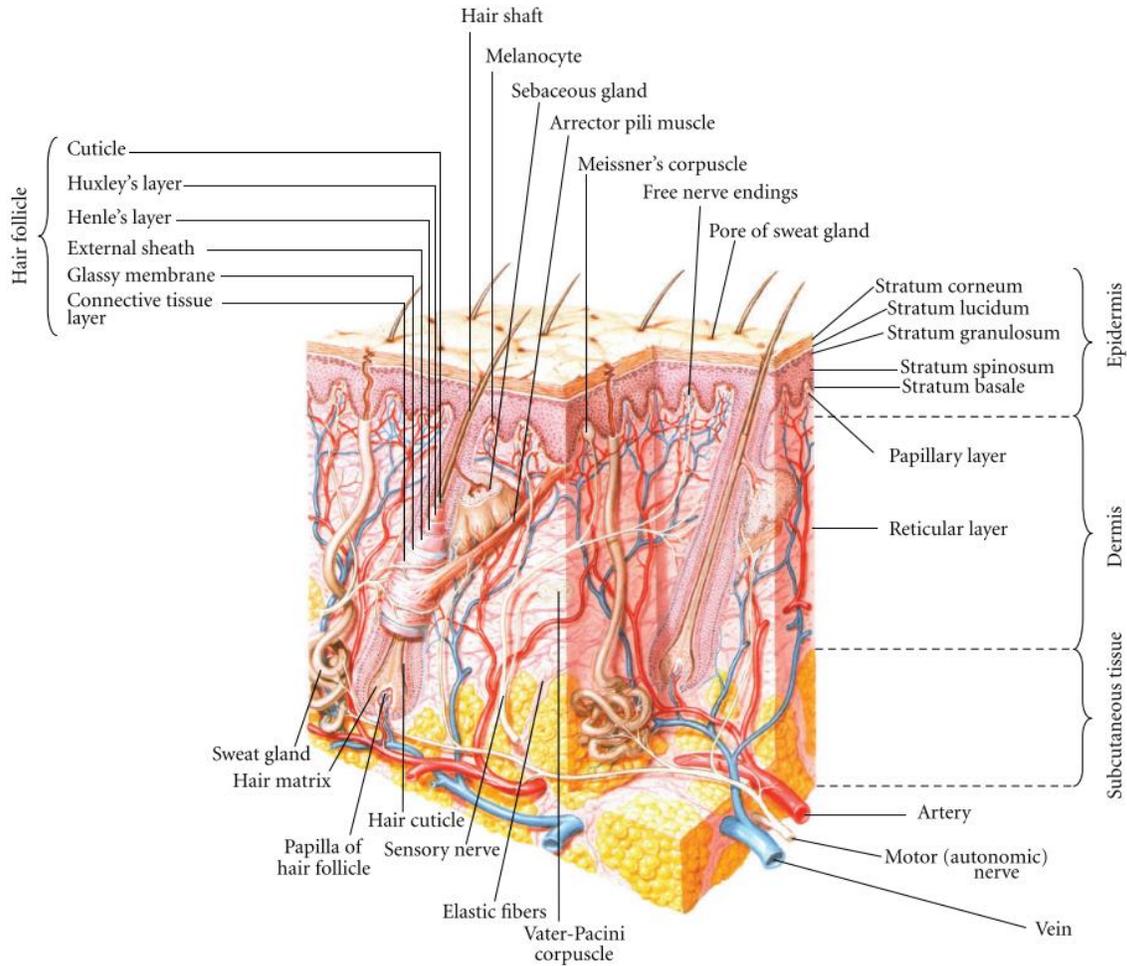


Figure 1. – Représentation de la structure de la peau et de ces trois différentes couches principales : l'épiderme, le derme et l'hypoderme (identifié comme tissu sous-cutané), ainsi que diverses composantes du corps humain (follicule capillaire, glandes, nerfs, artères, veines, etc.). Illustration prise de Drahansky, M. et al. (2012) [50] et obtenue de Habif, T. P. (2004) [58] avec permission.

L'épiderme est composé de cinq sous-couches (Figure 1) qui contiennent plusieurs types de cellules différentes [21,56,57,59] (en ordre de la plus profonde à la plus superficielle) : la couche basale germinale (*stratum germinativum*), la couche épineuse ou de Malpighi (*stratum spinosum*), la couche granuleuse (*stratum granulosum*), la couche claire de transition (*stratum lucidum*) et la couche cornée (*stratum corneum*). Son épaisseur globale varie en fonction de la zone du corps et

peut avoir une profondeur comprise entre 0,22 mm et 0,55 mm [17,59-61]. La couche basale germinale est celle qui est en contact avec le derme et produit de nouvelles cellules qui sont poussées à la surface [54,59,62]. Le derme est composé de deux sous-couches principales (Figure 1) [17,50] : la couche papillaire et la couche réticulaire. Celui-ci possède une épaisseur comprise entre 2 à 5 mm [61]. Alors que la couche dermique papillaire, composée de tissu conjonctif mou, est ancrée à l'épiderme par des fibrilles d'ancrage et des anastomoses épidermiques [54,62], la couche dermique réticulaire, composée de tissu conjonctif dense, est responsable de la connexion du derme à l'hypoderme par du collagène et des fibres élastiques [62]. L'hypoderme (Figure 1, tissu sous-cutané) est, quant à lui, la couche la plus profonde de la peau et son épaisseur dépend de la partie du corps et de l'individu [17,56,62]. Il contient du tissu adipeux pour l'absorption du stress, le mouvement de la peau sur les structures plus profondes du corps, la thermorégulation et comme source d'énergie [17,55,56].

2.1.1.2. La structure des crêtes de friction

Les crêtes de friction désignent les parties spécialisées de la peau composées de crêtes et de sillons (vallées) visibles sur la surface cutanée la plus externe (Figure 2), soit l'épiderme [56,63,64]. La morphologie externe de la peau attribuée par les crêtes de friction serait liée à une fonction essentielle de la peau qui consiste à renforcer l'adhérence et la prise de cet organe [56,63-65]. Maceo (2011) [56] soutient que les crêtes et les sillons des crêtes de friction sont solidement ancrés dans le derme, ou les papilles dermiques sont localisées, par des crêtes primaires et secondaires. Ces crêtes primaires et secondaires sont ancrées avec le derme et fournissent un soutien et une résistance à la couche externe de peau. Les crêtes primaires naissent de la fusion d'unités élémentaires individuelles régulièrement espacées, pourvues d'une glande sudoripare (ancrée dans le derme ou l'hypoderme) et d'un pore [56,63,64,66].

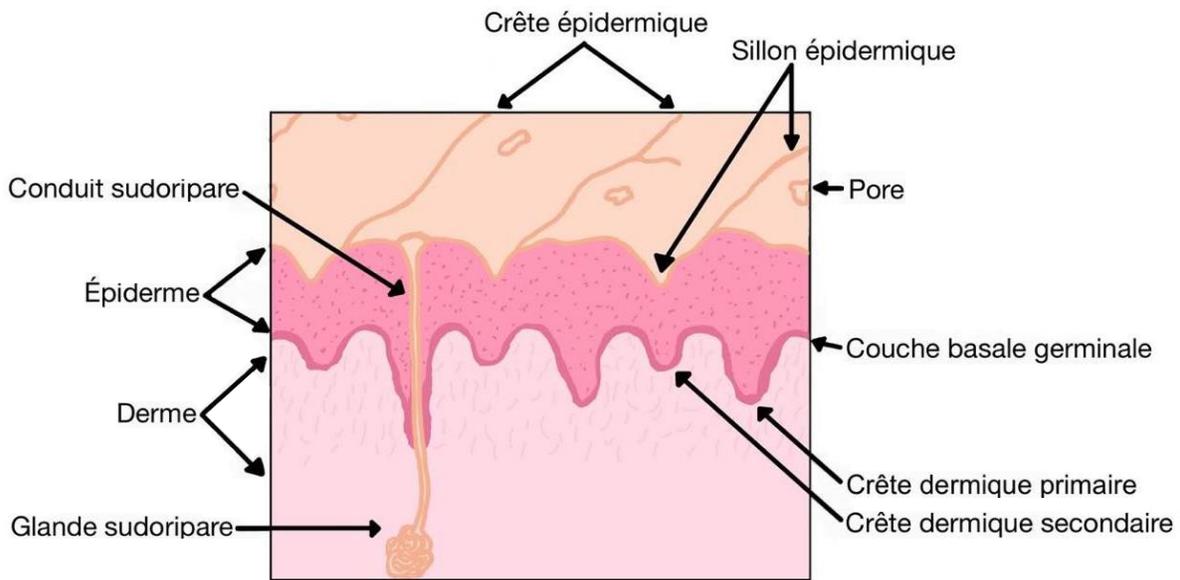


Figure 2. – Représentation de la structure d'une crête de friction et de ces différentes composantes : les crêtes dermiques primaires, les crêtes dermiques secondaires, une glande sudoripare et un pore. Illustration reproduite et adaptée de Wertheim and Maceo (2002) [64].

Chacko et Vaidya (1968) [67] ont démontré que l'arrangement spatial entre les crêtes épidermiques et dermiques de la crête papillaire peut varier en fonction de l'âge d'un individu et entre les diverses parties de la paume ou plante des pieds humains. Le développement biologique de la forme des crêtes papillaires (dermiques et épidermiques) est expliqué et présenté au prochain sous-chapitre.

2.1.2. Développement *in utero* des crêtes de friction

Le développement *in utero* (la morphogénèse) des crêtes de friction de la peau est un processus qui a été largement étudié et dont plusieurs sources d'information sont disponibles dans la littérature scientifique [21,22,24,56,63,64,66,68,69]. Alors que le moment du développement des détails des crêtes papillaires varie d'une étude à l'autre, un consensus soutient que la morphogénèse commence au cours des premières semaines de la gestation [17,21,22,66,69]. Une représentation schématique

de la morphogénèse des crêtes de friction, inspirée de celle d'Okajima (1975) [69], est illustrée à la Figure 3, en fonction des semaines de l'âge gestationnel estimé (EGA – *estimated gestational age*). L'apparition de la main se produit vers la cinquième ou sixième semaine EGA et elle est suivie par l'apparition des doigts vers la sixième (ou septième) EGA [21,56,69,70]. Les coussinets palmaires et digitaux apparaissent respectivement vers la sixième (ou septième) et septième (ou huitième) semaine EGA [56,69-71]. Leur présence est observée jusqu'à la seizième semaine EGA, ou ils deviennent pratiquement invisibles (appelé période de régression) [21,66,70,71]. Les coussinets sont le support principal du développement des crêtes papillaires (du dessin papillaire par intérim) et plusieurs de leurs caractéristiques (p. ex. leur emplacement, leur forme [symétrie] et leur taille) ont un impact sur le dessin général et la configuration des minuties des empreintes papillaires [21,65,71-74].

Après la prolifération des cellules de la couche basale et la formation de la surface épidermique embryonnaire (c.-à-d le périderme), le développement des crêtes dermiques primaires se produit jusqu'à la seizième semaine EGA à l'intérieur du derme [56,63,64,69]. Leur développement est étroitement lié à celui des glandes sudoripares et la formation de pores [63,69,75]. C'est aussi à ce moment (~ seizième semaine EGA) que la première apparition distincte du dessin papillaire se produit et que sa configuration finale ainsi que celles des minuties se fixent [21,56,63,64]. Les crêtes dermiques secondaires commencent à se former entre la quinzième et la dix-septième semaine EGA pour atteindre la maturité jusqu'à la vingt-quatrième semaine EGA [21,56,70]. Aucune glande sudoripare n'est associée aux crêtes secondaires, contrairement aux crêtes dermiques primaires, mais tout comme ces dernières, les crêtes dermiques secondaires pénètrent dans le derme [63,64,68].

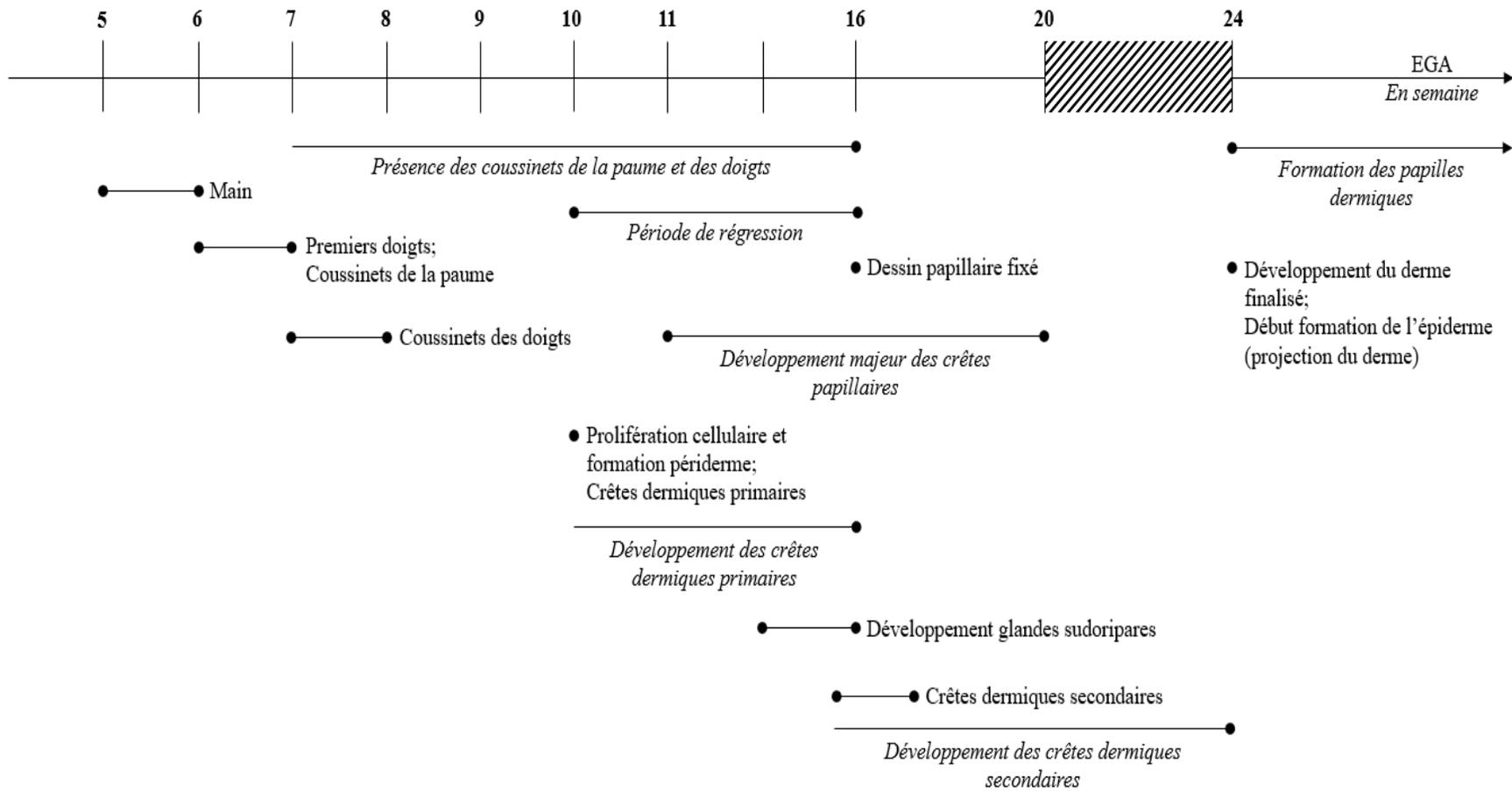


Figure 3. – Représentation schématique du développement in utero (la morphogénèse) des crêtes de friction de la peau, inspirée d’Okajima (1975) [69].

Avant la finalisation du développement du derme, des ponts entre le sommet des crêtes dermiques primaires et secondaires seront formés afin de créer les papilles dermiques [21,75]. L'épiderme est par la suite graduellement développé à partir du derme en cinq couches différentes (section 2.1.1) [22,56,63,75]. Le dessin papillaire présent sur l'épiderme est une projection de celui formé dans la structure du derme. En fait, les crêtes épidermiques correspondent aux crêtes dermiques primaires alors que les sillons de l'épiderme réfèrent aux crêtes dermiques secondaires [64,68,69,76]. Basé sur les connaissances de la structure de la peau et du lien entre ces différentes composantes, il est possible de mieux comprendre le fondement de la permanence des empreintes papillaires [77-79]. Les dommages infligés sur la couche superficielle de la peau, soit l'épiderme, n'auront aucun impact sur le dessin papillaire, en considérant qu'un temps de guérison est accordé [56,80]. Les seules cicatrices, dommages permanents et altérations visibles des crêtes de friction seront ceux ayant endommagé le derme profond [21,56,81].

2.1.3. Altérations potentielles des crêtes de friction

La permanence des empreintes papillaires réside principalement dans leurs immuabilité, invariabilité et inaltérabilité depuis le quatrième mois de la vie intra-utérine jusqu'à la décomposition du corps, ce qui en fait un identifiant primaire [21,22,63,64,82-84]. L'attachement physique qui est présent entre et dans les couches individuelles de la peau ainsi que la régulation de la prolifération/inhibition cellulaire justifie leur persistance tout au long de la vie [17,21,56,63]. Or, le degré de permanence des empreintes papillaires dépend du niveau de détails voulu [21]. Les propriétés de la peau en général peuvent être amenées à changer sous forme de très légère altération en raison de certaines circonstances [17,21,59,63,85]. Ces altérations peuvent parfois entraver le travail des praticiens forensiques à identifier des individus vivants ou décédés présentant une ou plusieurs de ces caractéristiques.

2.1.3.1. Le vieillissement

La peau des crêtes de friction subit des changements subtils à mesure qu'une personne vieillit. Bien que de façon générale, l'arrangement des crêtes papillaires ne change pas et que les crêtes et les sillons maintiennent leur position dans la peau, le vieillissement provoque deux altérations distinctes [17,21,56]. Premièrement, les crêtes de friction ont tendance à s'aplatir, ce qui les rend moins définies et peut affecter la lisibilité des crêtes et sillons d'une empreinte papillaire [21,56,76]. Leur aplatissement est principalement causé par la combinaison de l'atrophie de l'épiderme ainsi que le remodelage des papilles dermiques [17,21,56,67]. Deuxièmement, la perte d'élasticité dans le derme provoque la peau à devenir flasque, se froisser et développer la présence de rides [17,56,86]. Le compactage et la dégradation des réseaux de fibres, en particulier celles de collagènes et d'élastine, dans le derme rendent la peau moins extensible, moins résistante, plus relâchée et sujette à la formation de rides [17,56,87]. Le vieillissement et ses retombées peuvent limiter l'utilisation des empreintes papillaires *post mortem* et leur comparaison avec les empreintes papillaires *ante mortem* d'individus âgés dans les cas d'empreintes partielles [17,56], de personnes disparues ou d'identification de victime de catastrophe où les données *ante mortem* sont perdues dans l'événement aussi [17].

2.1.3.2. Les modifications intentionnelles

Des altérations de crêtes de friction résultantes de modifications intentionnelles sont susceptibles d'être rencontrées par les praticiens dans un contexte criminel ou forensique [17,80,81,88,89]. Il existe divers types d'altérations favorisées par les individus souhaitant masquer leur identité : l'oblitération (p. ex. la brûlure, l'abrasion, la mutilation avec une solution chimique), l'imitation qui consiste en l'échange chirurgical de la peau des doigts ou les mains/pieds, la transplantation de peau sans détail de crête ou la distorsion (p. ex. des coupures verticales, coupures en forme de Z à

travers le coussinet) [17,21,81,88,89]. Ces modifications représentent des changements permanents des couches de peau qu'un individu peut employer afin de dissimuler son identité. À noter que de telles modifications demandent une volonté indéniable de la part de l'individu en raison de la douleur engendrée et ne sont donc pas très communes. En 2015, le FBI a indiqué avoir isolé 412 enregistrements d'empreintes papillaires qui présentent des signes concrets de modifications intentionnelles dans leur système AFIS [21,88]. Il est important de considérer également l'utilisation temporaire de fausses empreintes papillaires pour adopter l'identité d'un autre individu et elles peuvent limiter l'identification à l'aide d'un système automatisé de reconnaissance d'empreintes papillaires [81,89].

2.1.3.3. Les modifications accidentelles

Les praticiens forensiques doivent aussi considérer les altérations des crêtes de friction causées par des modifications accidentelles. Ces altérations (p. ex. la perte de profondeur et l'aplatissement des crêtes, les cicatrices) sont le résultat de l'activité professionnelle de l'individu et sont souvent associées aux travailleurs manuels de chantiers de construction [17,50,56]. Les divers types d'altérations accidentelles sont des caractéristiques morphologiques temporaires qui apparaissent sur la peau des crêtes de friction et sont associées à ces diverses occupations (p. ex. des verrues, rides, cloques, coupures ou callosités) [17,21,50,56]. La grande majorité des altérations mentionnées ci-dessus entrave la reconnaissance électronique des empreintes papillaires, mais des moyens plus traditionnels, comme l'encre ou la poudre dactyloscopique, peuvent favoriser l'identification des empreintes papillaires [80,81,89].

Les modifications mentionnées précédemment s'appliquent davantage pour des individus vivants, mais après la mort, le corps humain subit des changements externes *post mortem* dont la séquence, l'ampleur et la période au cours desquelles ces changements se produisent dépendent de facteurs intrinsèques, extrinsèques et des circonstances du décès [5,6,17,90].

2.2. La décomposition *post mortem* des empreintes papillaires

2.2.1. Processus de la décomposition cadavérique

Le processus de décomposition cadavérique est un enchaînement complexe de plusieurs réactions biochimiques qui entraînent la dégradation des tissus mous (c.-à-d. la peau, les tissus adipeux [gras], les muscles et les organes) et des tissus durs (c.-à-d. les os et les dents) [49,91-93]. Plusieurs changements externes *post mortem* de nature physicochimique et biologique se manifestent tout au long du processus de décomposition et provoquent des altérations de l'apparence physique du cadavre [49,94,95]. Divers systèmes de classification fondés sur les changements externes *post mortem* visibles à l'œil nu (changements « macromorphoscopiques » [96]), la colonisation et le développement des insectes ou les conditions environnementales ont été proposés dans la littérature [94,95,97-101]. Il est consensuellement admis que la décomposition peut être séparée en cinq stades distincts : frais, gonflé, décomposition active, décomposition avancée et restes secs/squelettiques [49,94,99,102,103]. Les altérations biologiques correspondantes à ces cinq stades sont présentées dans le Tableau 1. Les cinq stades et leurs changements externes *post mortem* sont généralement notés selon trois régions anatomiques établies (c.-à-d. (1) la tête, le cou et les vertèbres cervicales (2) le tronc y compris le thorax, la ceinture pectorale, l'abdomen et le bassin et (3) les membres supérieurs et inférieurs incluant les mains et les pieds) [94,98,99]. Les pointages

attribués à chacune des régions sont additionnés pour obtenir le *Total Body Scoring* (TBS) [98]. Megyesi *et al.* (2005) [98] ont proposé des tableaux de référence pour les changements externes *post mortem* de chaque région anatomique et des valeurs de pointage associé. Il est toutefois important de préciser que le processus de décomposition cadavérique est un continuum, ce qui implique qu'un stade de décomposition peut survenir à un moment variable selon l'individu et la partie des restes considérée [94,98,103,104]. L'observation d'un chevauchement entre les stades peut être observée au sein d'un même cadavre [98,103].

Table 1. – Les observations visuelles et les changements externes *post mortem* des cinq stades du processus de décomposition cadavérique.

Stade de décomposition	Observations visuelles et changements externes <i>post mortem</i>
Frais	Le processus d'autolyse démarre dès que le cœur s'arrête de battre et de pomper le sang dans le corps [49,100,105]. Les changements externes <i>post mortem</i> sont alors minimales et se manifestent notamment par les lividités cadavériques (<i>livor mortis</i>), la rigidité cadavérique (<i>rigor mortis</i>) et le refroidissement du corps (<i>algor mortis</i>) [49,92,94,106].
Gonflé	Le processus métabolique provoqué par les bactéries anaérobies présentes dans l'intestin et d'autres parties du corps entraîne la production de gaz provoquant un léger gonflement de l'abdomen [49,94,106,107]. Au fur et à mesure que le processus avance, l'ensemble du corps gonfle [94]. Différents changements externes <i>post mortem</i> peuvent être observés tels que la présence d'une coloration de la peau, de marbrures et de la desquamation de l'épiderme [47,92-94]. La putréfaction combinée à l'activité entomologique provoque une augmentation de la température interne du corps [46,49,94,95], susceptible d'attirer d'autres espèces d'insectes vers le corps. Des masses importantes d'asticots au niveau de la tête et des extrémités/orifices (p. ex. la bouche, les oreilles, les parties génitales, les aisselles) peuvent être observées [93,94,103].

Décomposition active	<p>La rupture de la couche externe de la peau (épiderme) et la fuite des gaz accumulée dans l'abdomen sont le résultat de l'avancement de la putréfaction et de l'intensification de l'activité entomologique [49,94,98,108]. À ce stade, le corps se dégonfle, la décomposition est largement accélérée, causant de fortes odeurs [94,98,100].</p> <p>La liquéfaction des tissus mous et des produits de dégradation du corps (p. ex. protéines, lipides et glucides [49,109]) par les orifices naturels ou la rupture de l'abdomen provoque un « Cadaver decomposition island » (CDI ou îlot de décomposition) [92,100,109].</p> <p>Différents changements externes <i>post mortem</i> peuvent être observés lors de ce stade, tels que la perte des cheveux et des ongles, une coloration foncée de la peau et l'assèchement des membres [92,94,98].</p>
Décomposition avancée	<p>À ce stade, le corps est réduit à la peau, au cartilage et aux os, à la suite de l'activité entomologique ou de la liquéfaction, la décomposition est considérablement ralentie et les odeurs de décomposition deviennent moins fortes [49,94,99,109,110].</p> <p>Alors que l'activité entomologique diminue globalement, certaines espèces de coléoptères (<i>Coleoptera</i>) retirent spécifiquement la peau et le cartilage séché restant sur les os [94]. L'exposition partielle ou totale d'os (squelettisation) est graduellement observée, ces derniers ayant un aspect « mouillé/collant » avec une coloration jaunâtre [110].</p>
Restes secs/squelettiques	<p>L'exposition (partielle ou totale) des os et leur dégradation lente sont caractéristiques de ce stade. Les os deviennent plus légers, secs et cassants au fil du temps [111]. Selon les conditions environnementales, le processus de dessiccation du corps peut être observé, les tissus mous restants perdant leur composition en eau [49,94,105]. La peau présente un aspect rigide, sec, de couleur foncée évoquant le cuir [49,94,98,105]. Selon l'environnement considéré, les restes peuvent soit squelettisés complètement, soit dessiqués, voire une combinaison des deux [49,94,105,112].</p> <p>Avec le temps, il y a un retour progressif de la faune du sol et de la flore autour des restes, attendu dans l'environnement de décomposition, en particulier dans le CDI qui est riche en nutriments [48,106,109].</p> <p>Aucun moment final indiquant la fin du processus de décomposition n'est établi dans la littérature. Des différences dans la faune du sol peuvent être détectées pendant des mois ou parfois des années, indiquant qu'un corps était là à un moment donné [94,105,109].</p>

La décomposition cadavérique peut également être rapportée selon les processus *post mortem* physicochimiques et biologiques (p. ex. l'autolyse, la putréfaction, la liquéfaction, la dessiccation, la saponification, etc.) [49,92,94,97,105,106]. Certains de ces processus *post mortem* seront abordés à la prochaine section (section 2.2.2.) en raison de leur impact sur l'apparence des doigts et l'utilisation des empreintes papillaires à des fins d'identification. Alors que les recherches en taphonomie forensique contribuent à mieux comprendre la décomposition cadavérique, elles se heurtent à une limite inhérente : l'ensemble complexe et inconnu des variables intrinsèques (section 2.2.1.1.) et extrinsèques, notamment environnementales (section 2.2.1.2.), dans lequel un corps est retrouvé influence le processus de décomposition [46,94,97,98,103].

2.2.1.1. Les facteurs intrinsèques

Le processus de décomposition d'un corps humain est influencé par plusieurs variables, par exemple intrinsèques qui sont propres à un individu [46,113]. Ces variables comprennent, de manière non exhaustive, l'âge, le sexe, le poids, le *body mass index* (BMI ou indice de masse corporelle), la cause du décès, la prise de traitements médicamenteux et la présence de plaies/blessures *perimortem* [46-48,113]. La littérature scientifique révèle un manque d'études sur les facteurs intrinsèques dans le domaine de la taphonomie dans les dernières années, contrairement aux facteurs extrinsèques (section 2.2.1.2.). Cependant, leur influence sur la décomposition doit être prise en considération lors de l'évaluation de l'état d'avancement de la décomposition de restes humains et de l'estimation de l'intervalle *post mortem* se fondant sur ce dernier [113].

Le portrait général montre cependant que certains facteurs tels qu'un individu décédé de poids élevé [48,114-116] et un décès survenu à la suite d'un cancer ralentiraient le processus de décomposition [114]. En revanche, certaines études ont soutenu que le poids [48,114-116] ou des blessures causées par une arme à feu [117] n'influenceraient pas la décomposition. Également, des

études ont évoqué que la présence de plaies *perimortem* [46,48] et qu'un décès lié à une maladie infectieuse [48,49] favoriserait la décomposition. Finalement, l'étude de Mann *et al.* (1990) [46] soutient qu'un individu décédé avec un poids élevé perdrait une quantité importante de graisses en raison de la liquéfaction, accélérant de fait la décomposition.

2.2.1.2. Les facteurs extrinsèques

Les facteurs extrinsèques jouent également un rôle dans la décomposition [46,113]. Ces facteurs, liés à l'environnement immédiat de décomposition d'un corps (p. ex. la composition et le pH du sol, la présence de vêtements/couvertures) et l'environnement ambiant (ex. la température, l'humidité/l'aridité, l'exposition au soleil, les précipitations, l'activité de charognards vertébrés et invertébrés) [34,46,48,49,97,98,100,118]. Certains facteurs possèdent un rôle plus déterminant que d'autres sur la vitesse de la décomposition, tels que la température ambiante, l'humidité et l'activité des charognards vertébrés et invertébrés [97,118].

Généralement, une température ambiante chaude et tempérée favorise une décomposition rapide, alors qu'une température froide, inférieure à 4 °C, contribue au ralentissement de la décomposition, voire à l'arrêt de la prolifération des bactéries, et la préservation des tissus mous [46,98,105,119]. L'impact biologique de températures ambiantes froides (et de climats froids) sur la décomposition nécessite de mener des recherches expérimentales complémentaires, notamment pour évaluer la poursuite de la décomposition microbienne à des températures inférieures à 0 °C [120]. Un faible niveau d'humidité contribuerait à la dessiccation spontanée des restes, limitant ainsi l'activité des charognards invertébrés [46]. Quant à ces derniers, leurs interactions avec les restes humains accélèrent la dégradation des tissus mous et des os [46,47,49,118]. Les plus gros charognards vertébrés peuvent contribuer à la dispersion des ossements [49,118,121].

2.2.1.3. L'état des connaissances au Canada et au Québec

Actuellement, il existe 13 sites de recherche expérimentale sur la décomposition humaine dans le monde : 10 aux États-Unis, un en Australie, un aux Pays-Bas et un au Canada, soit le REST[ES] [97,122,123]. Dès lors, la grande majorité des études publiées dans la littérature ont été réalisées dans des conditions environnementales différentes de celles du Québec (Canada). Le site REST[ES] au Québec a vu le jour en août 2020 pour tenter de pallier ces limites et contribuer à créer le premier référentiel pour la taphonomie forensique au sud du Québec et, plus généralement, en climat continental humide (Dfb) [122,124,125]. La littérature dans le domaine de la taphonomie forensique au Canada comprend diverses études rétrospectives réalisées à partir de photos de corps ou de rapports d'autopsie afin d'évaluer la décomposition humaine dans différentes provinces (p. ex. Alberta, Colombie-Britannique, Ontario) [97,112,126-129]. Ces études ont aidé à l'étude de la décomposition dans les régions où elles ont été menées [97]. Les informations disponibles pour chacun des cas analysés dans ces études sont restreintes et la majorité des cas reportés sont en milieu aquatique [126-128]. Des études rétrospectives en milieu terrestre [97,112,129] ont été réalisées ainsi que des études expérimentales sur des modèles animaux non humains, notamment des cochons (*Sus scrofa domesticus*) [108,121,130-134]. Ces études se concentrent sur l'activité entomologique plutôt que sur la décomposition des tissus humains. Les études de Maisonhaute et Forbes (2022) [103] et Ribéreau-Gayon *et al.* (2023) [135] sont les premières études expérimentales portant sur la décomposition de corps humains au Québec. Les résultats de ces deux études mettent en évidence que la décomposition est un processus hétérogène et complexe au Québec, et sont parmi les premières à rapporter des restes montrant des signes de dessiccation importante au Québec et un climat continental humide (Dfb) [103,135].

Du fait du peu d'études contrôlées disponibles, les connaissances sur le processus de décomposition humaine dans le climat canadien demeurent limitées. Les études publiées soutiennent que les conditions environnementales influencent les modalités et la vitesse de la décomposition humaine [34,46,48,49,97,98,100,118]. Mais en considérant que la grande majorité de celles-ci ont été réalisées dans des climats chauds et tempérés, il n'est présentement pas possible de connaître leur impact dans des environnements froids, tel que le Québec (Canada). L'accès au site de REST[ES] a permis d'expérimenter en été sous des conditions qui favorisent l'activité entomologique et bactérienne (donc la décomposition cadavérique) ainsi qu'en automne/hiver sous des conditions qui ralentissent, voire stoppent la décomposition cadavérique. L'état d'avancement de la décomposition ou de la préservation de restes humains non identifiés, notamment au niveau des mains et des doigts, peut influencer la capacité d'un praticien forensique de restaurer et de prélever des empreintes papillaires de haute définition, adéquates et utilisables pour identifier l'individu décédé [3,4,31,32].

2.2.2. Impact de la décomposition cadavérique sur les empreintes papillaires

Les méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires utilisées par les praticiens forensiques ciblent trois processus *post mortem* biophysicochimiques ; l'autolyse, la putréfaction et la dessiccation, par ordre d'apparition au cours de la décomposition. Premièrement, l'autolyse est le processus de mort cellulaire massive qui provoque une perte d'intégrité cellulaire et une nécrose généralisée par autodigestion enzymatique [14,92,97,100,105]. Les changements externes de l'autolyse suivant les réactions microscopiques n'apparaissent généralement pas sur le corps avant quelques jours après le décès [92,94,105]. L'autolyse mène au « skin slippage » (desquamation de l'épiderme), soit la séparation de la couche supérieure de la peau (c.-à-d. l'épiderme) de la couche inférieure (c.-à-d. le derme) en raison de la production d'enzymes

hydrolytiques à partir des cellules à la jonction entre l'épiderme et le derme sous-jacent [14,92,94,105]. C'est également lors de l'autolyse que différents phénomènes se produisent : *algor mortis* (c.-à-d. l'acclimatation du corps à la température ambiante), *livor mortis* (c.-à-d. l'accumulation gravitationnelle du sang dans le corps provoquant une décoloration de la peau) et *rigor mortis* (c.-à-d. la rigidification des muscles et articulations du corps liée à la gélification du cytoplasme, causée par la détérioration de l'adénosine triphosphate (ATP) et la formation d'acide lactique, ce qui entraîne une augmentation de l'acidité du corps) [3,14,49,92,94,105,106]. À des fins d'identification dactyloscopique, le « skin slippage » des doigts peuvent entraver la capacité d'obtenir des empreintes utilisables sans l'aide de technologies plus sophistiquées [14,15,31].

Deuxièmement, la putréfaction résulte de la prolifération de micro-organismes internes (bactéries, champignons et protozoaires) majoritairement présents dans le tube digestif, les cavités buccales et nasales et sur la peau [3,14,15,94,97,105]. Elle entraîne finalement la purge des fluides corporels, la détérioration profonde de la peau et des organes ainsi qu'une accumulation de gaz internes [14,49,105]. Les changements externes de la putréfaction sont visibles relativement rapidement après son commencement et sont caractérisés par le « marbling » (marbrure) de la peau [47,92,106], une coloration foncée généralisée de la peau, une desquamation plus prononcée, un gonflement de l'abdomen, des membres et de la tête [14,49,94,105]. La putréfaction pose plusieurs problèmes au niveau de l'utilisation des empreintes papillaires, entre autres par l'accentuation du « skin slippage » [3,4], une coloration foncée des doigts [14], une dégradation des tissus mous rendant le bout des doigts extrêmement fragile [4,5,14], la perte progressive du dessin papillaire [3], une dessiccation de la peau provoquant un « shrinkage », c.-à-d. une perte de la forme initiale (*in vivo/perimortem*) du bout des doigts [105].

Troisièmement, la dessiccation d'un corps survient à la suite de la perte de liquide dans les tissus et les muscles [3,13,15,33,97]. Il s'agit du résultat final d'un tissu ayant survécu au processus de décomposition actif, provoqué par la déshydratation du tissu [49,105]. Les changements externes de la dessiccation sont caractérisés par une préservation de la forme générale du corps, un aspect plus fin, fragile et rigide de la peau et une coloration foncée évoquant le cuir [49,94,98,105]. Elle est généralement rencontrée dans des environnements où l'air est sec, ventilé ou à très faible humidité (p. ex. dans les régions arctiques ou désertiques) [49,95,136,137]. La durée nécessaire à la dessiccation spontanée est variable, mais requiert au moins quelques semaines [94,136,137]. L'identification dactyloscopique de corps momifiés représente un défi, notamment en raison de la rigidité extrême des mains et des doigts, de la présence de « dimples » (fossettes) et de « wrinkles » (rides) [3,4,33,40]. En outre, le rétrécissement et le repliement du bout des doigts empêchent l'application des techniques normales de prise d'empreintes papillaires telles que l'encrage, le poudrage et le moulage [3,33,138].

2.2.3. Méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires

Compte tenu des changements externes *post mortem* et des difficultés qu'ils impliquent pour l'utilisation des empreintes papillaires d'un cadavre à des fins d'identification, plusieurs méthodes de restauration et de prélèvement ont été proposées dans la littérature. De nombreuses revues de littérature sur les méthodes/protocoles utilisés par les praticiens forensiques sont disponibles, notamment celles de Kahana *et al.* (2001) [31], Cattaneo *et al.* (2006) [3], Mulawka (2014) [7], Wójcik *et al.* (2014) [15], Cutro (2011) [4] et Fieldhouse et Stow (2016) [9]. En plus de ces revues de la littérature, plusieurs rapports techniques et études de cas ont permis d'apporter des solutions aux problèmes d'identification dactyloscopique liés aux changements externes *post mortem*. Les méthodes de restauration se limitent à trois grandes méthodes générales, soit la « skin glove

method » (méthode du gant de peau), l'injection sous-cutanée et la réhydratation. Les méthodes de prélèvement proposées incluent la photographie sous divers éclairages, l'utilisation d'un lecteur portable automatique, l'encrage, le poudrage et le moulage. Ces méthodes comprennent de nombreuses sous-méthodes proposées dans la littérature dont une présentation exhaustive en fonction de l'état du corps et de la couche de peau ciblée est présentée à l'Annexe A (Tableau A1 et A2), respectivement.

Cet état de l'art a permis de déterminer qu'aucune méthode universelle n'existe actuellement pour restaurer et prélever les empreintes papillaires d'un cadavre en décomposition/dessiccation. La combinaison de deux méthodes (ou plus) est parfois nécessaire, en fonction des conditions de conservation ou de décomposition différentielle au sein des restes. La majorité des études sont fondées sur des pratiques de laboratoires spécifiques et sont donc majoritairement réalisées en laboratoire et non en milieu naturel. En considérant que les études dépendent de l'arrivée de restes en décomposition ou dessiccation au laboratoire, cela engendre un nombre peu élevé de spécimens (empreintes papillaires restaurées/prélevées) par étude et par conséquent, par méthode de restauration expérimentée. Aucune des études disponibles n'a été réalisée dans des conditions climatiques similaires au sud du Québec. Finalement, l'évaluation de l'efficacité des méthodes de restauration au niveau de la qualité des empreintes digitales obtenues est peu définie. En fait, seules trois études rapportent clairement le taux d'efficacité de la ou les méthodes de restauration évaluées. Kim *et al.* (2009) [10] ont mentionné une augmentation significative du nombre de minuties ($p < 0,01$), basée sur une analyse de la variance (ANOVA), pour 230 empreintes de restes putréfiés ou momifiés. Leurs restaurations et prélèvements ont été réalisés en laboratoire, avec les méthodes de réhydratation à haute température et de ruban adhésif et poudre dactyloscopique. Gahr *et al.* (2013) [5] ont obtenu un taux de 76,75 % d'empreintes analysables avec AFIS pour 400

empreintes de restes putréfiés uniquement, en utilisant les méthodes d'injection sous-cutanée d'agents d'embaumement et de ruban adhésif et poudre dactyloscopique, exécutées en laboratoire. Bolme *et al.* (2016) [14] ont rapporté un taux de 5,5 % d'empreintes analysables avec un algorithme commercial de correspondance biométrique pour 285 empreintes analysables sur 5179 empreintes totales de restes décomposés, obtenues à l'aide de lecteurs portables automatiques sur le terrain, au centre de recherche en anthropologie (ARF, *Anthropology Research Facility*) au Tennessee (États-Unis).

Des discussions avec trois experts de la SQ ont contribué à mieux comprendre leurs pratiques, incertitudes et besoins en matière de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires sur le terrain (Experts de la SQ, communications personnelles, 19 novembre 2020). Il est apparu que les praticiens forensiques effectuaient directement la restauration et le prélèvement des empreintes papillaires sur le terrain en utilisant fréquemment des approches qui n'étaient pas toujours disponibles dans la littérature. D'ailleurs, l'utilisation de ces méthodes en contexte opérationnel réel a justifié de les incorporer dans ce travail de recherche pour évaluer l'efficacité relative des différentes méthodes identifiées. Ces dernières sont illustrées à l'Annexe B (Figure 1B) et développées en détail à la section 3.4.2.

2.3. Le processus d'identification des empreintes et traces papillaires

2.3.1. Caractéristiques de comparaison (niveau 1, 2 et 3) des empreintes papillaires

Après la restauration et le prélèvement des empreintes papillaires *post mortem* d'un corps non identifié, les praticiens forensiques doivent les comparer avec des empreintes papillaires *ante mortem* d'individus potentiels, provenant généralement de bases de données, sinon de traces

relevées au domicile ou sur les objets de la victime supposée afin d'arriver à une identification [17]. Le processus d'analyse favorisé dans ces cas est équivalent à celui utilisé dans la comparaison de traces papillaires avec des empreintes papillaires, soit le protocole ACE-V (section 2.3.2.) [17,21,139]. Ce protocole réfère aux trois niveaux d'informations retrouvés sur une trace/empreinte papillaire : les niveaux 1, 2 et 3 [9,17,21,140], tels que proposés par Ashbaugh (1999) [66]. Le niveau 1 d'information est basé sur le dessin général produit par le flux des crêtes papillaires [9,17,21,140]. Alors que cette section se concentrera sur les extrémités distales des doigts, il est également possible d'observer les dessins papillaires sur les extrémités distales des orteils ainsi que dans les zones plantaires et palmaires [9,17,21]. La quantité de matériel de comparaison à disposition limite toutefois la comparaison de ces dernières. De nombreuses classifications des dessins généraux ont été réalisées. On y retrouve notamment celle de Galton (1892) [78], Henry (1900) [141], Vucetich (1904) [142] ainsi que celle de Galton-Henry (1984) publié par le *Federal Bureau Investigation* (FBI), couramment utilisé par les forces policières canadiennes [17,21]. Il existe trois principaux dessins généraux dans la littérature (excluant les dessins accidentels) : les boucles, les verticilles et les arcs [9,17,21,143]. Des descriptions complètes de chacun des dessins généraux sont présentes à l'Annexe C (Tableau C1). Globalement, les dessins papillaires peuvent posséder deux caractéristiques importantes, toutes les deux absentes des arcs, soit un noyau (centre approximatif du dessin) qui va varier selon le type de dessin ainsi qu'un delta, ou plusieurs, qui a un aspect triade distincte [9].

Le niveau 2 d'information est basé sur les déviations du chemin des crêtes papillaires, appelées minuties, points d'identification ou encore points de Galton [9,17,21,140,143]. Ces caractéristiques aléatoires et reconnaissables sont généralement divisées en trois types principaux (illustrée à la Figure 4) : les arrêts de ligne, les bifurcations et les points (îlot) [9,21,143,144]. Il existe des

minuties supplémentaires, qui sont des combinaisons des minuties de base, identifiées dans la littérature. Ces dernières offriraient une sélectivité plus importante que les minuties de base [21]. C'est le type, le nombre, l'orientation et les emplacements relatifs de ces caractéristiques de crête les unes par rapport aux autres qui confèrent un aspect discriminatoire à la zone papillaire ciblée [9,21,140]. Les verrues, les cicatrices, les rides, les plis de flexion et les crêtes naissantes peuvent représenter des caractéristiques individuelles [9,21,145,146]. Celles-ci peuvent être utilisées pour faire une identification lors de la comparaison de traces et empreintes papillaires dans les enquêtes criminelles [21,140,147].

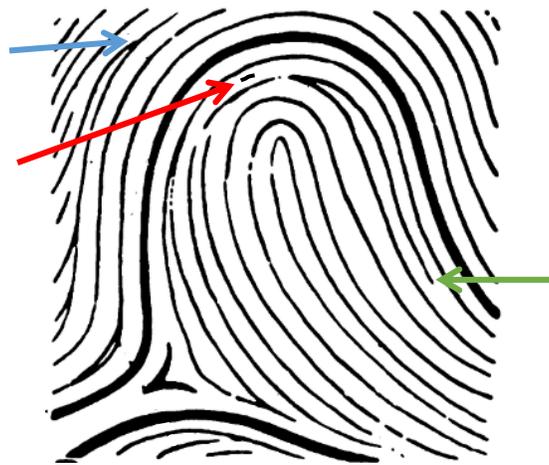


Figure 4. – Représentation d'un dessin papillaire de type boucle à droite, identifiant les trois types principaux de minuties : un arrêt de ligne (flèche de couleur verte), une bifurcation (flèche de couleur bleue) et un point ou îlot (flèche de couleur rouge). Illustration prise du livre du FBI (1984) [148], sans permission requise.

Le niveau 3 d'information est basé sur les caractéristiques intrinsèques de chaque crête papillaire qui peuvent être considérées comme discriminantes [9,17,21,140,143]. Ces caractéristiques sont liées à la crétoscopie, c.-à-d. la largeur et la forme des crêtes et des sillons papillaires, la direction des lignes papillaires et de valeur angulaire des bifurcations [9,21,143,149]. Les détails de niveau 3 comprennent également les informations liées à la poroscopie, c.-à-d. l'analyse du nombre, la

taille, la forme et l'emplacement des pores sudoripares eccrines, qui sont alignés sur toute la longueur de la crête papillaire [9,21,140,143,149]. Il est important de préciser qu'il n'existe présentement pas de consensus parmi les spécialistes quant à la reproductibilité et la contribution réelle de l'apport des informations de la poroscopie lorsqu'il y a concordance lors d'une comparaison [21,147,150].

2.3.2. Processus d'analyse ACE-V

Référée comme la loi de l'ACE ou la méthodologie ACE à l'origine, le processus ACE-V a été adopté par la GRC en 1959 [21,143,151]. ACE-V est un acronyme mnémotechnique utilisé pour distinguer les phases d'analyse (A), de comparaison (C), d'évaluation (E) et de vérification (V) [21,139,140,143]. Il s'agit d'une méthodologie largement adoptée en science forensique, et ce peu importe le domaine (p. ex. les traces de chaussure, d'outils, de documents, etc.), comme un moyen de comparer deux éléments et d'identifier si les deux éléments ont une relation de corrélation [21,143,152]. Dans le contexte d'identification dactyloscopique, ACE-V vise à « objectivement » analyser, observer et évaluer les impressions et les détails des crêtes de friction de traces/empreintes papillaires [139,140,151,152]. À la base, le processus ACE-V a été structuré selon les composantes de la méthode scientifique : soit le fait de poser une question, de formuler une hypothèse, de tester l'hypothèse, d'analyser les données, de tirer des conclusions et la vérification de l'hypothèse originale [21,139,140,143,151,152].

La première étape du processus est basée sur une analyse complète de l'élément indiciaire. Au cours de cette étape, le praticien procède à l'observation exhaustive, la détection et la récolte des données contenues dans l'élément à l'étude; par exemple, la qualité, reproductibilité et la sélectivité des crêtes papillaires [21,139,140,143,151,152]. Une pré-évaluation de cas est fortement encouragée afin d'anticiper les résultats potentiels avant de passer à l'étape de comparaison

[21,153]. Une documentation détaillée et méthodique à l'étape d'analyse assure une transparence et rigueur du travail [21]. Une décision sur la « validité » de l'élément indiciaire, à savoir si elle peut permettre une potentielle identification, une comparaison seulement ou bien ne possède pas assez d'informations pour poursuivre le processus, doit être prise par le praticien à la fin de cette étape [21,140].

Une fois l'analyse de l'élément indiciaire terminée, le praticien passe à l'étape de comparaison. En principe au cours de cette étape, les deux éléments à l'étude sont comparés dans un processus itératif, côte à côte, l'un à l'autre en se concentrant sur les caractéristiques de niveau 1, puis de niveau 2 et 3 (si possible) [21,139,140,143,151,152], en s'efforçant toujours de partir de la moindre qualité (généralement l'indiciaire) vers la meilleure (généralement la comparaison) pour limiter le biais de disponibilité. Les marges de tolérance de la qualité de l'élément indiciaire, établies lors de l'analyse, doivent être considérées lors de la comparaison [21]. Cette étape de comparaison contribue essentiellement à savoir si l'élément de comparaison contient ou non les mêmes caractéristiques uniques et variables que l'élément indiciaire [140,143]. Ce n'est pas tant l'appariement des caractéristiques jugées identiques que l'absence de dissimilitudes inexplicables (discordances) sur l'ensemble de la zone déchiffrable qui est important [21,78].

Après la comparaison et que le praticien ait estimé qu'il disposait d'assez d'informations pour tirer une conclusion, il passe à l'étape d'évaluation. Au cours de cette étape, le praticien doit inférer l'identité de la source de l'élément indiciaire, à savoir si les deux éléments à l'étude proviennent de la même source [21,139,140,143,151,152]. Parmi les formulations de conclusions possibles, les trois décisions les plus courantes et celles utilisées au Québec (Canada) sont les suivantes : identification, exclusion et non-concluante [17,21,140]. La dernière étape, la vérification, a été intégrée seulement 20 ans après l'implantation de la loi de l'ACE par David Ashbaugh au Canada,

en 1979 [143]. Cette étape consiste en la vérification indépendante et idéalement « à l'aveugle » de chaque comparaison, par au moins un praticien expérimenté [17,21,66,139,140,143].

Le processus ACE-V est principalement utilisé en identification dactyloscopique pour déterminer si la trace papillaire indiciaire et l'empreinte papillaire de comparaison sont identiques ou non et proviennent donc de la même source [21,140,152,154]. Or, il est crucial de comprendre que bien que sa structure offre une méthode basée sur un cadre scientifique, le processus ACE-V repose à la fois sur l'interprétation et le jugement des praticiens [17,21,140,152]. Contrairement à la croyance populaire, ACE-V est un processus beaucoup plus subjectif et laisse place à des préjugés et des erreurs de leur part [21,140,143]. En outre, dans le domaine de l'identification dactyloscopique, il y a un manque flagrant de constance et de reproductibilité dans l'évaluation de la qualité des crêtes de friction liée au caractère subjectif de cette évaluation [17,21,155-157]. Les praticiens doivent donc prendre conscience des faiblesses du processus et utiliser des approches et outils permettant de réduire les biais et les erreurs potentielles lors de la prise de décision.

2.3.3. Expression d'une identification en dactyloscopie

Dans les dernières années, le processus d'analyse et d'interprétation des crêtes de friction a fortement été critiqué par de nombreux scientifiques [17,21]. Depuis la publication du rapport du *National Research Council* (NRC) en 2009 sur l'état des disciplines de la science forensique aux États-Unis [158], la communauté des experts en dactyloscopie admet qu'un changement est requis dans le domaine [21,159-163]. La certitude catégorique déterministe exprimée dans l'interprétation des experts aux tribunaux était au cœur des critiques [164,165]. L'approche déterministe repose sur deux philosophies distinctes pour rapporter le résultat, soit une norme numérique ou une norme non numérique (holistique). Certains aspects de la comparaison au cours du processus ACE-V peuvent donc diverger légèrement en fonction de l'approche utilisée. Dans les deux cas, les experts

utilisent les informations observables et disponibles dans leur comparaison (caractéristiques de niveau 1, 2 et 3) [164]. La première approche (numérique) est fondée sur un nombre minimum, entre 7 et 17, de minuties correspondantes et l'absence de dissimilarités inexplicables dans les deux zones déchiffrables comparées par les examinateurs [17,164,165]. L'identification est obtenue lorsque le nombre de minuties correspondantes atteint ce « seuil » critique et qu'aucune discordance n'a été observée [17]. Ce type d'approche pose le problème qu'il n'y a pas de base logique ou statistique valide pour un nombre minimum prédéterminé de minuties observées pour établir le résultat de l'identification [158,159,162,163]. La deuxième approche (holistique) n'impose pas sur un nombre minimum nécessaire de minuties correspondantes [21,66]. Elle implique tout autant l'appréciation des aspects quantitatifs et qualitatifs concordants de tous les niveaux de caractéristiques de comparaison ainsi que l'absence de discordances dans les deux zones déchiffrables comparées par les experts, sans imposer un seuil numérique de décision [17,21,66]. Ce type d'approche comporte également son lot de problèmes en considérant que l'absence d'une contrainte numérique laisse davantage place à une interprétation subjective, basée sur le jugement et les convictions personnelles de l'expert, ce qui peut conduire à des opinions et conclusions biaisées [143,166]. Plusieurs pays utilisent l'approche holistique (p. ex. les États-Unis, le Canada, l'Australie, la Suisse et les pays scandinaves) alors que d'autres ont conservé l'approche standard numérique plus ou moins officiellement (p. ex. les pays d'Europe centrale et méridionale, l'Afrique du Sud) [164,165].

Face à cette impasse, l'approche probabiliste repose sur le principe qu'il n'est pas raisonnable pour un expert de se concentrer sur la validité d'une proposition (hypothèse) particulière sans considérer au moins une alternative [153,167-169]. L'expert doit adopter une vision équilibrée du cas et une appréciation adéquate de ses circonstances dans le but d'établir un cadre concis pour réfléchir au

type d'examens qui peuvent être effectués [153]. Le contexte d'identification se rapporte exclusivement au niveau I de la hiérarchie des propositions, c.-à-d. celui lié à la source des traces [153,167-169]. En revanche, l'application concrète de ces changements dans les résultats produits et présentés dans les tribunaux n'est pas encore bien établie et tarde à s'installer [21,170,171]. Nous retiendrons plus particulièrement le « *scorebase Likelihood Ratio* » (LR ou rapport de vraisemblance calibré) de Champod *et al.* (2015, 2017) [21,165]. Ces outils offriraient un support mathématique en indiquant le poids probant d'une comparaison dans le cadre d'une population pertinente au lieu que les conclusions de l'expert reposent principalement sur l'expérience.

2.3.3.1. Le rapport de vraisemblance calibré

Au niveau de la source de la trace, les questions qui intéressent le décideur final peuvent être généralement formulées sous forme de deux hypothèses alternatives (H_1 et H_2) et dans le contexte d'identification par empreintes papillaires, elles s'expriment de la façon suivante :

H_1 : L'empreinte papillaire décomposée correspond à l'empreinte papillaire d'origine.

H_2 : L'empreinte papillaire décomposée correspond à une autre empreinte papillaire d'origine.

Ces hypothèses réfèrent implicitement à l'individu qui est à l'origine ou non de la trace, c.-à-d. l'empreinte papillaire décomposée. Par convention, les lettres représentent les caractéristiques de la trace indiciaire (y) et de l'empreinte de référence (x), caractéristiques partagées entre les deux relevés [21]. Dans notre contexte d'identification, (y) réfère à l'empreinte papillaire décomposée et (x) à l'empreinte papillaire de référence (l'origine suspectée). Dans un effort de simplification, pour désigner les observations de concordances et de dissimilitudes explicables qui résultent de la

comparaison entre la trace (y) et l'empreinte (x) effectuée par l'expert sont représentées par la lettre (E). Cette lettre rapporte l'examen scientifique de l'expert :

E: Observations de concordances et dissimilitudes explicables qui résultent de la comparaison entre l'empreinte papillaire décomposée (y) et l'empreinte papillaire d'origine (x).

L'ensemble des connaissances et informations partagées entre l'expert et le décideur final entrant en ligne de compte dans l'assignation des probabilités liées au cas (p. ex. la nature du substrat, les conditions de restauration, la présence d'une POI, etc.) est représentée par la lettre (K), pour « Knowledge ». Aussi, l'ensemble de connaissances et d'informations jamais explicitement données et qui ne sont pas liées au cas, mais qui jouent également un rôle dans l'assignation des probabilités (p. ex. les connaissances de l'expert dactyloscopiste, la population concernée et sa taille, la zone anatomique d'intérêt, etc.), est désignée par la lettre (I), pour « background Information ». L'objectif du décideur final est par conséquent de se prononcer sur la probabilité des causes H_1 (l'empreinte papillaire décomposée correspond à l'empreinte papillaire de référence) et H_2 (l'empreinte papillaire décomposée correspond à une autre- empreinte papillaire), une fois qu'il est au courant des résultats de l'examen scientifique (E) [172]. Il cherche donc à estimer $P(H_1|E)$ et $P(H_2|E)$, avec $P(H_1|E) + P(H_2|E) = 1$ et $P(H_1|E)$ devant atteindre une valeur au-delà du doute raisonnable (soit $P(H_2|E)$ d'autant plus petite possible). Comme toute probabilité est comprise entre 0 (impossibilité) et 1 (certitude), une valeur de $P(H_1|E)$ « proche » de 1, par conséquent $P(H_2|E)$ « proche » de 0, permet de surmonter ce doute raisonnable. La qualification de « proche » est la responsabilité du décideur de fait [172,173].

L'expert, de son côté, ne peut évaluer que la probabilité des effets, soit la probabilité de (E) en fonction des deux hypothèses alternatives (H_1 et H_2) [172]. Pour reprendre la notation précédente,

l'expert se prononce sur $P(E|H_1)$ et $P(E|H_2)$, c.-à-d. la probabilité des résultats de l'examen scientifique (E) dans le cas où l'empreinte papillaire décomposée correspond à l'empreinte papillaire d'origine (H_1) ou qu'elle ne correspond pas (H_2). Il est attendu que $P(E|H_1)$ soit élevée, car la probabilité des résultats de l'examen scientifique (E), si l'empreinte papillaire décomposée correspond bien à l'empreinte papillaire d'origine (H_1), devrait être haute, excluant l'obtention de faux négatifs, d'une mauvaise interprétation de l'expert, du manque de qualité de la trace ou de tous autres facteurs pertinents au cas [172]. À l'inverse, la probabilité $P(E|H_2)$, c.-à-d. la probabilité que les résultats de l'examen scientifique (E) sachant que l'empreinte papillaire décomposée ne correspond pas à l'empreinte papillaire d'origine (H_2), consiste à évaluer le risque de coïncidence fortuite dans la population d'intérêt, révisé par le risque de faux positifs ou encore par toute autre raison propre au cas [172]. On l'espère donc la plus faible possible. Les probabilités $P(E|H_1)$ et $P(E|H_2)$ sont par conséquent de la responsabilité de l'expert. En bref, la probabilité des causes (H) est une question qui concerne le décideur final (soit juge, la Cour et jury) alors que la probabilité des effets (E) est l'apport de l'expert et justifie son intervention [172,174-176]. La quantification de la valeur probante de ces deux probabilités est exprimée sous forme de rapport, le LR [21,177-179]. Ce rapport est associé à une configuration de minuties précise et permet d'évaluer l'intra et l'intervariabilité entre une trace papillaire indiciaire (y) et une empreinte papillaire de référence (x). Le LR se présente formellement sous la forme suivante [21] :

$$LR = \frac{P(x, y|H_1, K, I)}{P(x, y|H_2, K, I)} = \frac{P(E|H_1, K, I)}{P(E|H_2, K, I)}$$

Dans l'interprétation du LR, son étendue de valeurs peut être de 0 à l'infini [21]. Un LR de 1 indique que les concordances entre la trace et l'empreinte sont tout aussi probables sous l'une ou l'autre des hypothèses. Un LR qui tend vers l'infini signifie que les résultats apportent un soutien

extrêmement fort à H_1 , par opposition à H_2 , alors qu'un LR inférieur à 1 signifie que les résultats soutiennent davantage H_2 [21,177-179]. Le décideur final doit également prendre en compte toutes les autres informations disponibles et pertinentes du cas référées comme les cotes *a priori* et *a posteriori* dans le théorème de Bayes [21,174,178]. Ce théorème mathématique permet une actualisation, donc une objectivation logique, des croyances et connaissances sur la probabilité d'un événement à partir des effets observés et des informations disponibles. Crispino *et al.* (2021) [172] le présente comme étant une vérité mathématique, issue d'un raisonnement logique purement déductif, un syllogisme, incontestable comme le théorème de Pythagore. Il montre la relation mathématique entre la probabilité *a priori* de H_1 et la probabilité *a posteriori* de ce même H_1 étant donné les résultats de l'examen scientifique (E) [21,172,174,178]. Sous sa forme minimale et simplifiée, il se présente comme suit :

$$\frac{P(H_1|E)}{P(H_2|E)} = \frac{P(E|H_1)}{P(E|H_2)} \times \frac{P(H_1)}{P(H_2)}$$

$$\text{côtes } a \text{ posteriori} = \text{LR} \times \text{côtes } a \text{ priori}$$

Tel que présenté dans Champod *et al.* (2017) [21] et Crispino *et al.* (2020) [172], le rapport des probabilités des causes *a priori* est influencé (augmenté ou diminué) selon le LR provenant des observations (E). Il représente le rapport relatif des probabilités des hypothèses fixées par le décideur final avant toute consultation scientifique (E). Le rapport des probabilités des causes *a posteriori* est le rapport en faveur d'une ou l'autre des hypothèses après consultation scientifique (E). Le rapport *a priori* met à jour le rapport *a posteriori* sous la forme d'une multiplication par le LR. Le décideur de fait se concentre légitimement sur les côtes *a priori* et *a posteriori* alors que l'expert apporte un éclairage sous la forme du LR. Par conséquent, plus un LR est en faveur d'une hypothèse, plus cette proposition sera renforcée.

Chapitre 3 – Article scientifique

Fingerprint Restoration and Collection from Decomposing Remains Exposed in a Natural Environment in Southern Quebec (Canada)

Karelle Séguin^{1*}, Agathe Ribéreau-Gayon^{2,3,4}, Frédérique Ouimet², Shari Forbes^{2,3,4}, Frank Crispino^{2,3,4}

¹Département d'Anatomie, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351 Boulevard des Forges, Trois-Rivières, Québec, G8Z 4M3, Canada

²Département de Chimie, Biochimie et Physique, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351 Boulevard des Forges, Trois-Rivières, Québec, G8Z 4M3, Canada

³Groupe de Recherche en Science Forensique, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351 Boulevard des Forges, Trois-Rivières, Québec, G8Z 4M3, Canada

⁴Centre International de Criminologie Comparée, Université du Québec à Trois-Rivières, 3351 Boulevard des Forges, Trois-Rivières, Québec, G8Z 4M3, Canada

*Corresponding author: E-mail address: karelle.seguin@uqtr.ca; Postal Address: 3351 Bd des Forges, Trois-Rivières, QC G8Z 4M3

L'article a été soumis pour publication dans « Forensic Science International » en novembre 2022.

3.1. Contexte de l'article

Le présent article constitue la réponse à certains objectifs spécifiques développés précédemment (voir section 1.1). La conceptualisation, la collection des données, la méthodologie et l'analyse formelle des résultats ont été réalisées par Mme Séguin. Mme Ouimet a contribué à la collection des données, la méthodologie et la rédaction de la publication. Mme Ribéreau-Gayon a assisté à la méthodologie et la rédaction de la publication.

3.2. Abstract

Fingerprint identification is primarily used for human identification purposes by law enforcement, in both living and deceased individuals. In forensic contexts, the extent of preservation or decomposition of a corpse can impact the ability to restore and collect fingerprints, and subsequently the method used. Additionally, implementation of these methods in the field in cases of mass disasters, mass graves or forensic cases in remote areas cannot rely on laboratory facilities and resources, and therefore require practical adaptations. This exploratory study investigated the potential to effectively restore and collect fingerprints from deceased individuals in southern Quebec. An experimental approach was conducted to validate existing restoration and collection methods developed in other climates. Two trials were conducted on four donors at the REST[ES] facility, one in summer (June 2021-July 2021) and one in fall/winter (October 2021-April 2022). In total, five restoration and three collection methods were tested. Results showed that fingerprint restoration and collection methods could be adapted for practical applications in real forensic contexts, in a simple, rapid, and cost-effective way. Fingerprint restorations and collections after winter were achieved in less invasive and destructive manners than in summer where uncontrollable variables limited the application of these methods. Based on these findings, two tools were developed to support the decision making of forensic practitioners in Quebec when choosing adequate fingerprint restoration and collection methods in casework.

3.2.1. Keywords

Forensic taphonomy, Human identification, Human decomposition.

3.2.2. Highlights

- External postmortem changes can impact fingerprint restoration and collection.
- Subcutaneous injection and rehydration approaches can be adapted to casework.
- Standardized digital photography is the optimal fingerprint collection method.
- Capacity to restore and collect fingerprint is likely influenced by seasons.
- Recommendations are proposed to support fingerprint practitioners' decision making.

3.3. Introduction

In criminal and forensic contexts, fingerprints have been widely used to provide a formal personal identification [3,4,7,9]. This approach is not only performed to identify living individuals, such as suspects in criminal investigations, but also to identify deceased individuals [9,13,14,23,24]. While various biometric techniques exist to identify a body/human remains (i.e., DNA/mtDNA, dental records, and physical characteristics, including tattoos and surgical scars) [3,13-16,23], fingerprint identification is a cost-effective well-established approach to obtain timely high discriminating outcomes [3-6]. Its robustness lies mainly in the immutability, invariability, and inalterability of fingerprints from the fourth month of intrauterine life until the decomposition of the body, making them a primary identifier [21,22,63,64,82-84].

Within the context of forensic investigations, the extent of preservation or decomposition of an unidentified body can impact the ability to restore and collect adequate high definition and usable fingerprints [3,4,31,32]. External postmortem changes (or "macromorphoscopic changes" [96]) occur at various scales in the body, including that of the hands and fingers. These changes include skin slippage, discoloration, flattening of the papillary ridges, folding, and hardening of the fingers,

wrinkling, drying/desiccation, and/or skeletonization [3,14,15,23,31,33]. Several protocols for fingerprint restoration and collection are available in the published literature to address the challenges posed by decomposed or mummified human remains [3,4,7,15,31,32]. These methods focus on the two layers of fingerprint morphogenesis: the epidermis and the dermis. The epidermis can be subject to degradation relatively early in the decomposition process and reach a fragile state which can limit its use for fingerprint identification [7,180,181]. On the other hand, the inversion of the papillary ridges and furrows within the dermis can cause a loss of quality in the fingerprints which becomes apparent as decomposition progresses [17,181,182].

Cadaveric decomposition is influenced by multiple intrinsic factors (related to the body itself, e.g., age, sex, weight, BMI, health at death, etc.) and extrinsic factors (related to the depositional environment, e.g., ambient temperature, soil pH, humidity/aridity, precipitation, entomological and scavenging activities, etc.) [46,183-185]. The gap in the current knowledge base on the biological impact of environmental conditions in Quebec on fingerprint restoration and collection requires validation of these processes that were developed in different climates [97,126,128,130]. Many published studies on fingerprint restoration consist of technical reports, case reports, and literature reviews of protocols and methods used by forensic practitioners. Most were carried out within laboratory settings (indoors) or controlled outdoors environments, in warm, temperate climates [13,23,36-38,40,42,43,45,181,186-188], and to date, none have been conducted in a humid, continental (Dfb) climate, such as Quebec [124,125]. The southern Quebec region experiences extreme temperature variations throughout the year, typically with cold, snowy winters and temperate, humid summers [124,125]. The climatic conditions in summer are generally considered to favor entomological and bacterial activity, and therefore cadaveric decomposition, which can be qualified "typical". However, the severe weather conditions in fall/winter in southern Quebec slow

down and sometimes halt entomological and bacterial activity, yielding to decomposition patterns that can be considered "severe" [46,97,119,126].

Many restoration and collection methods require the use of a laboratory or morgue to examine the fingerprints of a body and determine the most appropriate approach. The implementation of these methods in the field in the event of a mass disaster, the discovery of mass graves, or even cases in a remote area, cannot rely on similar facilities and resources [10,11,45]. These cases can represent a challenge for practitioners because of the large numbers of victims involved, hazardous environments, limited resources, social/media pressure, and time constraints [26,189-195]. Therefore, an effective triage of cases can be helpful to forensic practitioners amid an identification effort. These scenarios highlight the need for practical adaptations of fingerprint restoration and collection protocols. Therefore, discussions were held with experts from the SQ (Quebec provincial police) to better understand their practices, uncertainties, and needs regarding the restoration and collection of fingerprints in the field (SQ experts, personal communications, 19 November 2020). It was discovered that the practitioners were performing fingerprint restoration and collection in the field using approaches that were not always available in the published literature. As a result, it was decided to incorporate such practices in the present research to investigate the relative effectiveness of the published and unpublished methods. It is expected this research will provide a protocol for optimizing methods for positive fingerprint identification of human remains recovered in Quebec, in cases of advanced decomposition or desiccation.

An experimental approach comprising two trials was conducted. One trial was carried out in summer (June 2021 to July 2021) and the other in fall/winter (October 2021-April 2022). Both trials were conducted at the REST[ES] facility using four donors (two in each trial). In total, five restoration and three collection methods were performed on the bodies, with the aim to adapt the

methods for field application. Although this represents an exploratory study, it offers preliminary insights into the influence of climatic conditions in southern Quebec on the restoration and collection of fingerprints in a realistic outdoor decomposition environment.

3.4. Materials and methods

3.4.1. Experimental environment and variables

The research undertaken was conducted at the REST[ES] facility, the first human taphonomy facility in Canada, which is administered by the University of Quebec in Trois-Rivieres (UQTR). The research conducted at the REST[ES] facility aims to answer questions centered on human decomposition in a humid, continental (Dfb) climate in southeastern Canada. The facility also supports higher education programs and provides hands on training opportunities for police services, search and recovery teams, military personnel, and cadaver canine teams across Canada [122]. The facility is located at Becancour Industrial Park and Port (SIPB) in Quebec (N 46.3473, W 72.4179) on the south shore of the Saint Lawrence River [121]. The CCTV-secured site is in a semi-rural area and was chosen because it represents typical terrain in which local police services may search for and recover human remains in forensic investigations [122]. The facility is in a mixed temperate forest dominated by red maple (*Acer rubrum* L., Aceraceae) and white spruce (*Picea glauca*, Pinaceae) trees. According to the Köppen-Geiger classification [124,125], southern Quebec has a humid continental climate, characterized by extreme temperature variations throughout the year, cold and snowy winters, and temperate, humid summers. Climatic conditions at the REST[ES] facility (including ambient temperature, relative humidity, rain precipitation, wind direction, and solar radiation) were recorded throughout the study using an ONSET® HOBO®

U30 No Remote Communication weather station (Massachusetts, United States) situated within the facility. Snow data was not available through the weather station and was thus obtained from the Quebec Ministry of the Environment and the Fight against Climate Change (*Ministère de l'Environnement, de la Lutte contre les changements climatiques, de la Faune et des Parcs*) climate data summary [196].

All donors included in the present research were obtained through the UQTR Body Donation Program of the Anatomy Laboratory, with specific consent to donate to the REST[ES] facility for forensic education and research. In Quebec, body donations for teaching and research purposes are framed by Article 43 of the Civil Code of Quebec (CCQ-1991, a.43) [197]. Both REST[ES] and the UQTR Anatomy Laboratory are administered by the Medical Laboratories and Organ and Tissue Conservation Act (chapter L-0.2) [198] and the Public Health Act [199]. This study was approved by the ethics sub-committee of the UQTR Anatomy Laboratory for Teaching and Research (SCELERA-21-04). Two experimental trials were conducted, one in summer and one in fall/winter. Human decomposition and fingerprint restoration were investigated on a total of four human donors (2 female, 2 male). All donors at REST[ES] were placed under meshed anti-scavenger cages to prevent vertebrate scavenging activity (e.g., by small rodents) and preserve donor integrity [121,122,200,201]. Two donors were analyzed in each trial, with two being placed during summer 2021 and two being placed during fall 2021 to enable monitoring their decomposition process throughout winter.

Decomposition of all donors was documented through 2D digital photographs and written notes on the overall extent of decomposition of the donors with a particular attention to the postmortem macromorphoscopic changes in the hands and fingers. Digital photography is recognized as an important source of information in forensic investigations, to document postmortem

macromorphoscopic patterns and the extent of decomposition [202-204]. In this study, photographs were taken with a Nikon™ D3200™ digital camera (Ontario, Canada) with an 18-55 mm lens. Additionally, postmortem events such as rodent scavenging, perimortem lesions, and atypical phenomena were noted. Several scoring systems are available in the published literature to evaluate the extent of decomposition of human remains in forensic contexts. In these approaches, the human body is divided into different anatomical regions, mainly head-neck, trunk, and limbs, to which a numeric score is allocated depending on the extent of decomposition observed [46,49,97,98,126,128,130,205-207]. However, in these approaches, the hands, and therefore the fingers, are generally not considered/scored individually as they are frequently included within the definition of the limbs.

To address this gap in the current knowledge base, a qualitative scoring system inspired by Megyesi *et al.* (2005) [98] and Ribéreau-Gayon *et al.* [135] methods was developed. The given categories were based on field studies observations carried out at REST[ES] since its establishment in August 2020 and are presented in Table 2. The decomposition process of the four donors included in this study was monitored until fingerprint restorations were completed.

Table 2. – Categories, appearance, and general characteristics of fingers observable during decomposition process, adapted from Ribéreau-Gayon *et al.* [135].

Category	Macromorphoscopic changes and general characteristics
1. Fresh finger	No visible changes.
2. Epidermis present and flexible	Finger(s) may show discoloration within the tissues, blistering, skin slippage, and/or bloating.
3. Epidermis absent, leaving dermis exposed and flexible	Epidermis has slipped off the finger(s), leaving underlying layers of skin (dermis) exposed with either a moist shiny or matte appearance, associated with tissue discoloration; and/or Liquefaction of tissues may be visible, leaving dermis exposed associated with a wet, melting appearance. Fingernails still embedded (or not) in tissues.
4. Epidermis absent, leaving dermis exposed and dried out	Desiccation of tissues may be visible, associated with either a slight or pronounced crinkled appearance. Fingernails still embedded (or not) in tissue.
5. Mummified or skeletonized finger	Finger(s) present minimal, extensive, or complete skeletonization, associated with either anatomical connections or disarticulation. Some dry tissues may remain on fingertips.

3.4.2. Fingerprint restoration and collection methods

Discussions with forensic practitioners from the SQ (Quebec provincial police) and a thorough review of the published literature identified five fingerprint restoration and three fingerprint collection methods which were subsequently investigated in the present study. No donors' fingers or hands were amputated for the purpose of this research, in keeping with the REST[ES] facility's ethical standards and to offer a minimally invasive approach. The restoration methods used in this study were adapted to field applications to practically adapt fingerprint restorations and collections in the event of mass disasters or mass graves involving high numbers of individuals to be identified [10,11,45].

The first two restoration methods were based on subcutaneous injection into the distal interphalangeal joint. This protocol involves guiding the tip of the needle in three different areas of the fingertip using the same puncture site, to fill the entire space until the folds of the skin are straightened [3,6,7,9,15,186,208]. Subcutaneous injection with a glycerin and water solution (70/30) was compared to subcutaneous injections with air alone. The next two restoration methods were based on tissue rehydration with chemical solution [3,4,7,9,11,15,23,31,33,42,43,180,181,186,188,208-210]. A sodium carbonate (Na_2CO_3) solution was chosen due to favorable results obtained by previous studies [23,33,41], and compared to a fabric softener (Fleece[®]) and water (50/50) solution. The fingers were wrapped in gauze soaked in the corresponding solution, as suggested by Iwakami *et al.* [23], and covered with aluminum foil to prevent solution loss and facilitate solution buildup on fingertips. The rehydration time was reduced to 30-45 minutes, which is significantly less than laboratory rehydration time. Since the method developed in this research was for field purposes, the objective was to assess whether it could provide results in a timely, easily accessible, cost effective and reliable manner. The last method used was the "skin glove method", focused on epidermis exploitation, and was only applied when this phenomenon was observed, since the timing of separation of the epidermis from the dermis could not be predicted. If the epidermis was still attached to the dermis, it was gently removed and placed on the operator's fingers (protected by gloves), to be collected. The better-preserved surface of the tissue, inner or outer, was used in a manner described in the published literature [3,7,9,11,15,36,208].

Based on previous studies [3,4,7,9,11,15,23,31,33,42,43,180,181,186,188,208-210], inking (direct) and molding (indirect) were the two best collection methods and thus used in this research. Indeed, they are suited for field manipulation and widely advocated by practitioners. For inking,

Arrowhead™ Forensics Idealink™ black inking pad (Kansas, USA), postmortem record strip holder and record strips were used. For molding, Evident™ white Mikrosil™ (Virginia, United States) forensic silicone casting was chosen. After Mikrosil™ application, the product was left for approximately 15 minutes to dry, and the casts were removed afterwards. Finally, since photography was used to document the process of decomposition and the restorations, it was also considered as a collection method.

Fingerprints were collected from all donors, using both the direct and indirect method, the day before their arrival at the REST[ES] facility in the UQTR anatomy laboratory (which will be referred as "control fingerprints"). Donors are kept refrigerated before transport to REST[ES] to limit the onset of the decomposition processes. No impact on the fingerprints was observed by this practice. Control fingerprints were collected to allow for comparison before decomposition, after decomposition, and after restoration. Before each restoration, any excessive contaminant (dirt, oils, etc.) was removed from the donor's fingertips using an absorbent paper and warm distilled water. Following, they were dried using isopropyl alcohol on the hands and thick absorbent paper [3,4,7,9,15,36,44]. Subcutaneous injection can be considered as semi-destructive, considering excess liquid or air can cause skin ruptures [9,15,186,208]. On the other hand, rehydration is considered as destructive since the dermis can be destroyed including the minutiae after a long rehydration period [4,15,33,186]. Therefore, in this study only one subcutaneous injection or rehydration method was applied per finger to avoid compromising fingerprints and introducing uncertainty in the results. However, in future studies or practical applications, they could be combined to optimize the restoration result.

3.4.3. Fingerprints analysis

Due to the experimental and operational conditions which could not be controlled throughout the research, the reproduction of the results was achieved by the application of fingerprint depletion series [28,211]. This notion is frequently used in published fingermark studies to achieve an adequate quality trace and was therefore applied in this study for identification purposes. There is no specific number in a fingerprint's depletion series, but it was planned to take five fingerprints per sequence, if possible [212-214]. Only the best fingerprints were analyzed in the field. Desired characteristics are an optimal deposition (ensuring the impression is not over-inked), a high definition of the papillary ridges and the visibility of a large number of minutiae [28-30]. Several scoring systems have been suggested in the published literature [28,211,215-217] to assess the quality of fingerprints obtained after development. Inspired by the standards for fingerprint detection and development studies proposed by the International Fingerprint Research Group (IFRG), the absolute scale developed and reported by researchers at the Center for Applied and Technical Sciences (CAST) was used to assess the quality of fingerprints obtained after restoration in this study. The CAST absolute scale assesses the overall performance of a technique on a variety of specimens and focuses on the surface area of the developed ridge detail [28,211].

3.5. Results and Discussion

3.5.1. Environmental conditions and decomposition process

Descriptive results on the environmental conditions (Table 3) during the study were derived from the data collected by the REST[ES] weather station and the Quebec Ministry of the Environment climate data summary [196]. The average daily temperature for the summer trial (June 2021-July

2021) was 19.7 °C (range: 19.3 to 20.1 °C), and for the fall/winter trial (October 2021-April 2022) was – 2 °C (range: – 15.1 to 11.5 °C). A total of 208.3 mm of rain was recorded for the summer trial, over 28 rain days, and 359.0 mm of rain, over 58 rain days, for the fall/winter trial. The snow precipitation indicated a total of 204.8 cm was recorded during the fall/winter trial, over 57 days.

Table 3. – Average ambient temperature, relative humidity, rain, and snow precipitation [196] conditions at the REST[ES] facility at Bécancour, Quebec from June 2021 to July 2021 and October 2021 to April 2022.

Months	Mean ambient temperature (°C)	Mean humidity relative (%)	Total rainfall (mm)	Total snowfall (cm)
June 2021	20.1	62.5	122.3	0.0
July 2021	19.3	69.7	86.0	0.0
October 2021	11.5	73.1	107.6	0.0
November 2021	1.6	70.5	58.8	9.6
December 2021	– 5.6	74.6	36.5	56.9
January 2022	– 15.1	70.0	0.2	37.0
February 2022	– 9.2	72.3	21.0	59.8
March 2022	– 2.5	68.4	50.0	41.5
April 2022	5.4	52.8	84.9	0.0

Based on the scoring system developed in this study (Table 2), all restorations were carried out on Category 3 or 4 fingers and only representative examples are presented here. For example, fingers in the first two categories do not require restoration in most cases, since the notable postmortem changes are not problematic for fingerprint processing (mild bloating, discoloration, or skin slippage). On the other hand, fingers in the last category present postmortem changes requiring extensive restoration treatment that cannot be performed in the field. The fingerprints may not be viable for restoration due to advanced decomposition which either causes a lack of soft tissues or the destruction of the papillary ridges due to the restoration method used. A workflow diagram for

fingerprint restoration and collection on decomposed cadavers was developed for field purposes based on the results of the present study and adapted from the fingerprint processing workflow diagram by Mulawka (2014) [7] (Figure 5). A processing workflow diagram allows a better visualization of all possible options to restore and collect fingerprints according to the category of the scoring scale presented in Table 1. Some methods suggested in the literature (e.g., dermal skin glove [9,10,44], fingerpad removal [13], dactyloscopy powder and adhesive tape [4,33,37,45,180,187,188], digital capture [12,14,39] and transillumination [38]) that were not tested during the present study were also included in the workflow to propose all possible options for forensic practitioners.

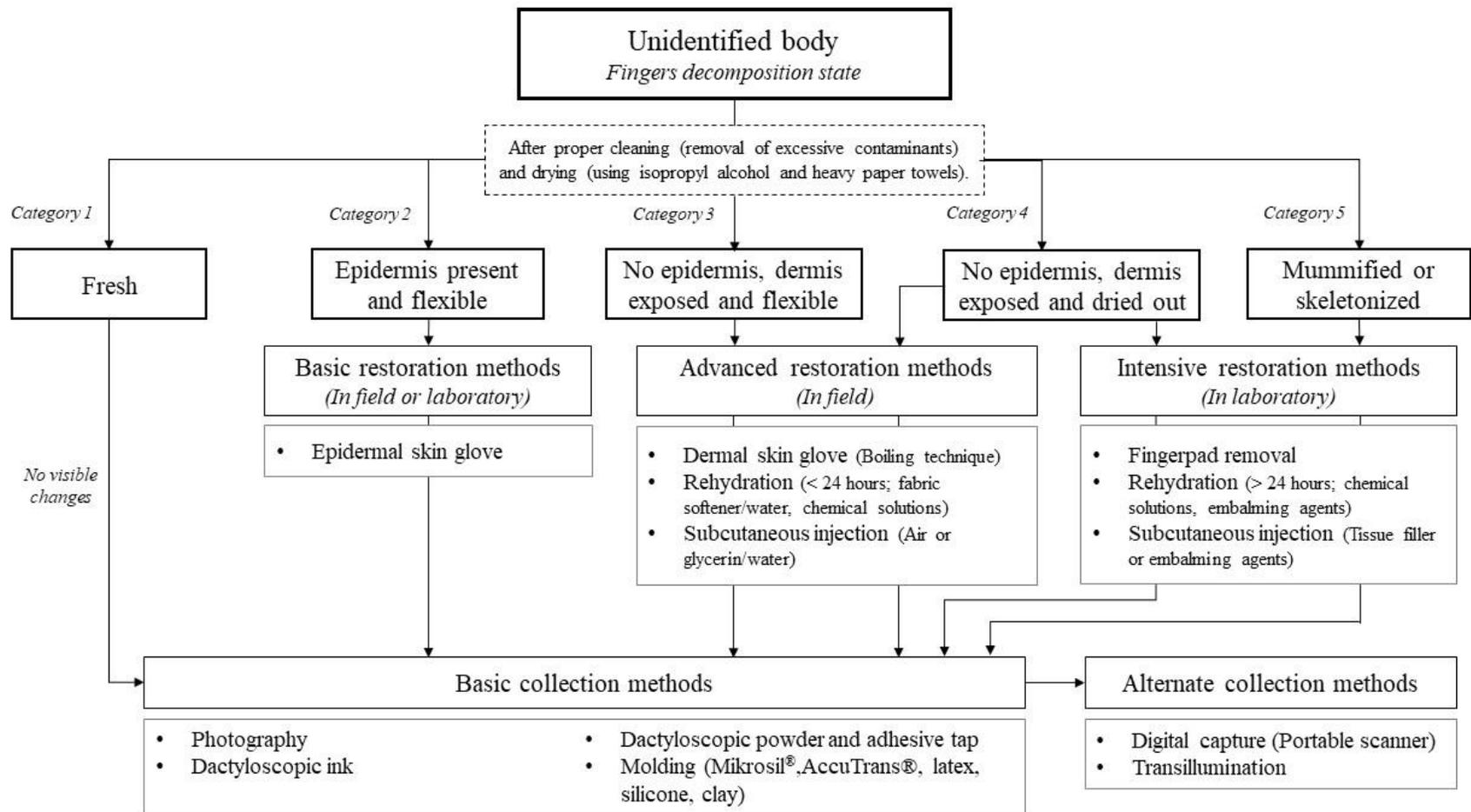


Figure 5. – Processing workflow diagram for fingerprint restoration and collection from decomposed bodies in the field, adapted from Mulawka (2014) [7].

Details about bequeathed donors for the summer and fall/winter trial are presented in Table 4¹. In the summer trial, restorations on Donor 1 occurred after 30 and 132 experimental days (ED) respectively and in both cases, fingers lacked epidermis and presented a dry matte dermis (Category 4). The heavily wrinkled, hardened, and stiffened appearance of the fingers were not improved by either method tried. In this case, a field restoration was not sufficiently effective to plump, soften, and improve the discoloration to obtain usable fingerprints for identification purposes. For Donor 2, one restoration was carried out after 13 ED when the fingers lacked epidermis and the exposed dermis showed a moist shiny appearance (Category 3). Tissue liquefaction was observed for this donor, causing the dermis to be loose, elastic, melting, and therefore too brittle to any attempt at restoration. This was confirmed as the subcutaneous injection and molding methods failed to yield any fingerprints.

In the fall/winter trial (Table 4), two restorations were performed on Donor 3, one before winter, at 22 ED and one after winter at 190 ED. During the first restoration, the epidermis was still present and flexible on one hand (Category 2) and the fingers showed early discoloration, blistering, and skin slippage, while the other hand showed a moist shiny dermis (Category 3). For the second, both hands presented a dry matte dermis (Category 4). Finally, for Donor 4, only one restoration was made after winter at 160 ED when the fingers had no epidermis and a moist shiny dermis (Category 3), and no liquefaction of tissue was visible for this donor.

¹ Les informations médicales de chacun des donneurs sont présentés à l'Annexe D (Tableau D1).

Table 4. – Details about bequeathed donors for the summer and fall/winter trials of the experimental study on the ability to restore and collect fingerprints from human corpses exposed in outdoors. *R stands for restoration.

Trial	Donor ID	Sex (M = male, F = female)	Age at death	Arrival date at REST[ES]	Total number of days before fingerprint restoration*	Fingers scoring category
Summer	1	M	91	June 23, 2021	R1: 30 R2: 132	R1: 4 R2: 4
	2	F	93	July 10, 2021	R1: 13	R1: 3
Fall/winter	3	M	54	October 12, 2021	R1: 22 R2: 190	R1: 2-3 R2: 4
	4	F	73	November 12, 2021	R1: 160	R1: 3

Finger decomposition appeared to be influenced by seasonal variations. Overall, donors from the summer trial showed faster postmortem changes in the decomposition process for the hands and fingers than the fall/winter donors. The warm/hot temperatures in summer favored tissue liquefaction while the cooler/colder temperatures in fall and winter led to extensive tissue desiccation and therefore limited finger skeletonization. The summer conditions favored postmortem changes, while the extreme conditions in fall/winter contributed to their decrease but did not lead to complete preservation of the soft tissues (Figure 6 A-H). The restoration and collection of fingerprints in the summer were not obtained in the field, and optimization would be more feasible by the application of a more intensive method carried out in a laboratory or morgue. On the other hand, the restoration and collection of fingerprints after winter was achieved in the field through less invasive and destructive methods, due to less extensive macromorphoscopic postmortem changes and reduced exposure to uncontrollable variables as was the case in the

summer trial [15,46,183-185]. This study considered all four seasons in Quebec, and in Canada in general, which have specific characteristics such as the freeze/thaw cycle that occurs during winter/spring [124,125]. Further investigation across the seasons would be recommended in the future, with a focus on winter for which experimental data are currently lacking in the published literature.

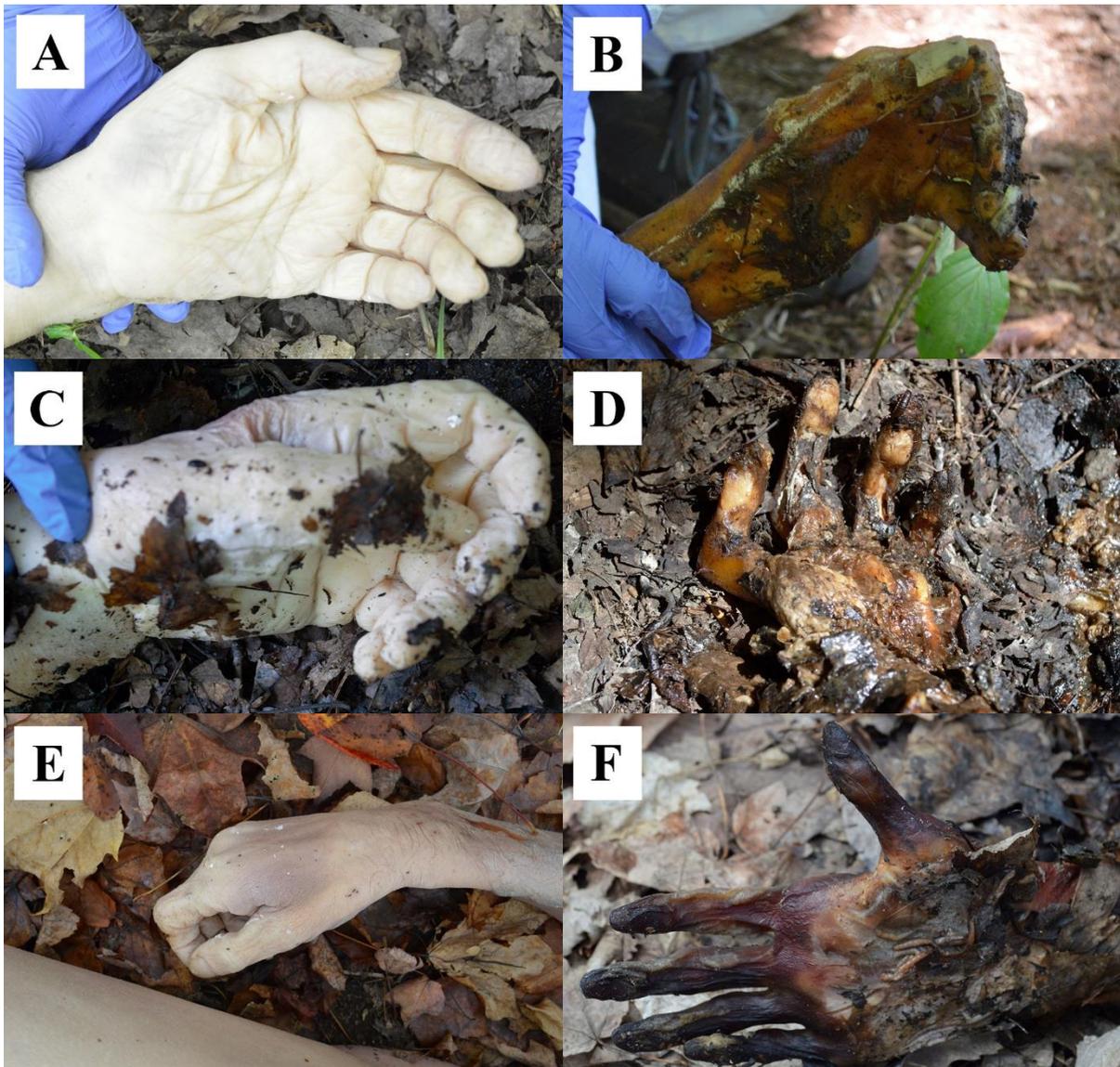




Figure 6. – A) Left hand of Donor 1 at the REST[ES] facility, June 23rd, 2021, on the first experimental day (ED). B) Left hand of Donor 1 at the REST[ES] facility, July 5th, 2021, on ED 13 (minor liquefaction). C) Left hand of Donor 2 at the REST[ES] facility, July 10th, 2021, on the first ED. D) Left hand of Donor 2 at the REST[ES] facility, July 23rd, 2022, on ED 13 and before restorations were completed on the same day (major liquefaction). E) Right hand of Donor 3 at the REST[ES] facility, October 12th, 2021, on the first ED. F) Right hand of Donor 3 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, on ED 190, and before restorations were completed on the same day (major desiccation). G) Left hand of Donor 4 at the REST[ES] facility, November 4th, 2021, before winter, on the first ED. H) Left hand of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, on ED 160, and before restorations were completed on the same day (minor desiccation).

3.5.2. Fingerprint restoration and collection methods from decomposing fingers

In total, at least one restoration for each method was applied on a minimum of two fingers, depending on the donor (median N of test per donor = 7). It was found that subcutaneous injection contributed to restore inhibition in the underlying tissues (Figures 7 A-B), consistent with the findings of Czubak *et al.* (2015) [6] and as described in several literature reviews [3,7,9,15,186,208]. The injection with air alone provided quick results, while the injection with the glycerin and water solution (70/30) took a few minutes before plumping the wrinkles. However, injection with air alone created a relatively unstable surface for inking, unlike injection with glycerin and water solution, and requires a constant light pressure by the operator. It is

recommended that sealing the injection site with cyanoacrylate adhesive should be considered, as suggested by Czubak *et al.* (2015) [6], to avoid the escape of air or the glycerin/water solution during fingerprint collection.

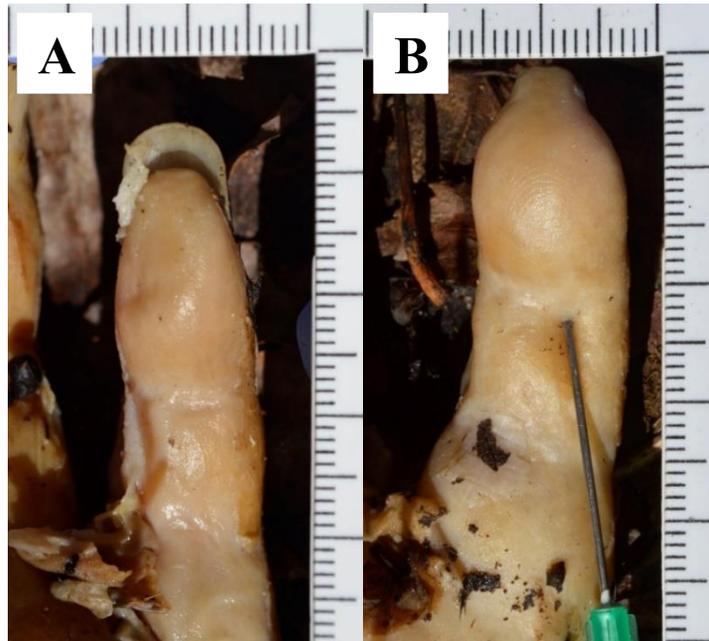


Figure 7. – A) Left auricular of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, before subcutaneous injection with air. B) Left auricular of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, after subcutaneous injection with air.

The rehydration method yielded improvements in skin discoloration on the fingertips and was successfully adapted for field purposes (Figure 8) by wrapping the fingers and the solution-soaked gauze with aluminum foil. In this study, the rehydration time recommended in previous studies [5,23,31-33,181,186] was difficult to conciliate with a concrete application in the field (> 24 hours) which is intended to be much more immediate than the same process in a laboratory. To maximize the results, rehydration time could be increased to 1-1.5 hours, to meet the requirements of a field application, based on the present findings. The results obtained with both solutions were

encouraging. However, in keeping with the study by Iwakami *et al.* (2013) [23], the sodium carbonate solution provided optimal results compared to the fabric softener and water solution.



Figure 8. – Application of the rehydration method on the left fingers of Donor 3 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022.

The "skin glove method", focused on epidermis exploitation, produced fingerprint enhancement in a simple, rapid, and effective manner and was documented through digital photographs (Figure 9). The reliability of this method is however dependent upon the preservation/degree of decomposition of the skin which is highly variable after death due to human biological variations, time elapsed since death, scavenging activity and weather conditions [15,46,183-185]. This method can easily be combined with the inking or photography, as suggested by Knobel (2005) [36] and Khoo *et al.* (2016) [11].



Figure 9. – Left index of Donor 3 at the REST[ES] facility, November 4th, 2021, after the "skin glove method" and photography as a collection method.

For fingerprint collection, inking (direct) and molding (indirect) methods were found to be best suited for field purposes, in keeping with forensic practitioners' recommendations. Inking provided optimal results for fingers in early decomposition stages (i.e., Category 1-3 [Table 2]), while it was found that its application is more limited in cases of fingers in advanced decomposition (i.e., Category 4 and 5 [Table 2]). The wrinkles linked with desiccation or mummification of tissues prevented full inking of the fingers and did not allow to obtain continuous papillary ridges. These findings are in keeping with existing published studies [4,6,15,180,188]. However, the presence of decomposing fluids and/or greasy substances on the fingertips (two fingers on average for all donors) prevented adequate adhesion of the ink to the skin despite cleaning and drying. A recent fingerprint collection method using powder and adhesive tape seems to yield more optimal results for greasy/shiny fingers [4,33,37,45,180,187,188]. It was not tested in the present study because it is not part of the common approaches favored by experts from the Quebec provincial police. Thus,

future work could therefore evaluate the applicability of that approach in the field alongside other approaches investigated in the present study.

The results showed that molding can be easily adapted to field manipulation (Figure 10) and offers potential to obtain several fingerprints' molds at a variety of decomposition stages, ranging from Category 1 to 5 (Table 1). Based on the findings of this study, the Mikrosil drying time should be extended to allow the product to dry properly, considering it is applied in an uncontrollable environment (i.e., outdoors) and it could potentially improve the contrast between the ridges and furrows of the mold. Molding can further be combined with inking and/or photography under various lighting conditions to obtain usable fingerprints [4,31,40,43].



Figure 10. – Application of the molding method on the right fingers of Donor 3 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022.

The results also showed that the most successful fingerprint field collection method was digital photography. While the photographs in this study were taken with a high-resolution camera, Khoo *et al.* (2016) [11] also showed that a cellphone camera can generate usable fingerprints for

identification purposes. Therefore, digital photography with any device (high-resolution camera or cellphone camera) under various lighting conditions or not should be strongly considered as a collection method since forensic investigators from Quebec provincial police and potentially from other places in the world may be deployed in the field.

3.5.3. Fingerprint analysis

The advanced decomposition in the hands and fingers of Donors 1 and 2, compared to Donors 3 and 4, did not allow for optimal fingerprints which would have consisted in clear definition of the papillary ridges and several minutiae. The complete fingerprint on the left index finger in Donor 3 was obtained through the "skin glove method", of which the presence of several minutiae and continuous friction ridges was noted (Figure 5). This fingerprint corresponds to Grade 4 of the CAST absolute scale [28]. Furthermore, three molds of right fingers in Donor 3 (Thumb, Index [Figure 11A] and Annular) presented signs of contact with less than 1/3 of the fingerprint but did show some continuous papillary ridges (Grade 1 in CAST absolute scale) while two molds (Major and Auricular) showed 1/3–2/3 of the fingerprint and continuous papillary ridges (Grade 2 in CAST absolute scale). Donor 4 missed two right fingers (Annular and Auricular) due to scavenging activity and the shiny moist appearance of the four remaining fingers hampered any inking or molding. However, digital photography enabled to obtain six fingerprints (see Figure 11B for example) that showed signs of contact with less than 1/3 of the fingerprint but also showed some continuous papillary ridges (Grade 1 in CAST absolute scale).

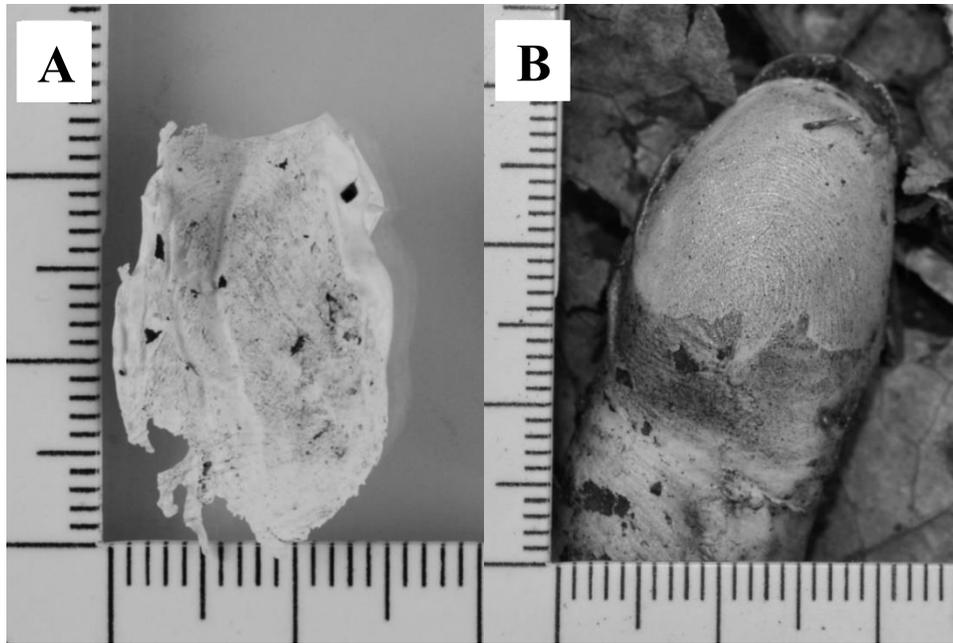


Figure 11. – A) Mold of the right index of Donor 3 at the UQTR forensic photography room, April 26th, 2022, after inking and digital photography as collection methods. B) Right index of Donor 4 at the REST[ES] facility, April 22nd, 2022, after inking and digital photography as a collection method.

3.6. Conclusion

This study aimed to experiment for the first-time with fingerprint restoration and collection methods on decomposing human remains under "typical" and "severe" climatic conditions in southern Quebec. Based on the two trials conducted, it was possible to adapt the restoration and collection methods experimented for practical applications in real forensic contexts, in a simple, rapid, and cost-effective way. This study represents the first application and comparison in an experimental setting of fingerprint restoration and collection methods from decomposing human remains under controlled conditions in Quebec. To address the gap in experimental studies on the topic, the present study provides preliminary insights into the taphonomic impact of climatic

conditions in southern Quebec on the ability to restore and collect fingerprints effectively. The outdoor experimental setting in this research represents an environment in which real forensic investigations could take place.

While this research is exploratory, its experimental and operational aspects provide recommendations to support fingerprint practitioners in their decision making in a forensic investigation in Quebec. The scoring system (Table 2), derived from Megyesi *et al.* (2005) [98] and Ribéreau-Gayon *et al.* [135] methods, could help forensic experts to assess postmortem macromorphoscopic changes in fingers and use that information as a triage phase to facilitate determining which method(s) to prioritize depending on the levels of preservation/degradation of the fingers. The scoring system could also be of interest in other geographic areas with comparable climates to southern Quebec. In addition to the scoring system, the workflow diagram (Figure 5) can further support the decision making of forensic practitioners when choosing a fingerprints restoration and collection method. The recommendations and workflow were developed for the climatic conditions of southern Quebec, hence their applications to other geographical areas and experimental conditions will require evaluation in the future.

A limitation of this study lies in the limited numbers of human fingers that were available for each set of fingerprint restoration and collection methods. Although each restoration method was applied on a minimum of two fingers, it was not always possible to obtain fingerprints from all fingers. This should be considered when comparing fingerprint restoration and collection methods with each other. Therefore, long-term longitudinal experiments (e.g., 3-5 years) could usefully complement the present study by analyzing larger numbers of human fingers, thus generating more robust comparisons between fingerprint restoration and collection methods. In the future, various experimental scenarios (e.g., clothed hands including with mittens, buried corpses, etc.) should also

be considered at each season to try and reflect the diversity of forensic scenarios in police investigations in Quebec, and potentially in comparable climates.

Overall, this research contributed new insights into the decomposition of fingers in deceased individuals in Quebec, and on the challenges of fingerprint restoration and collection from decomposing human remains. The present findings could support provincial forensic investigators in their task of determining which fingerprinting method(s) to prioritize for identification purposes in investigations involving unidentified human remains, through improved/enhanced visual examination/interpretation of postmortem macromorphoscopic changes in the fingers.

3.7. Acknowledgements

The authors would like to thank the following people for their help with the experimental set-up and data collection: Pierre-Louis Arcand, Rushali Dargan, Julie-Éléonore Maisonhaute, Sophie Morel, Darshil Patel, and Emily Pecsí. Special thanks are also given to the School of Crime Sciences (*École des Sciences Criminelles*) of Lausanne University (Switzerland), and more particularly to Professor Christophe Champod for facilitating access to the relevant literature needed for this study. Finally, we would like to thank the UQTR Research Group in Forensic Science (*Groupe de Recherche en Science Forensique*) and the International Association of Identification for their valuable financial support through master's scholarships.

3.8. Declarations of interest

None.

3.9. CRediT authorship contribution statement

Karelle Séguin: Conceptualization, Data collection, Method development, Formal analysis, Writing-original draft, Visualization. **Agathe Ribéreau-Gayon:** Method development, Writing-review & editing, Supervision. **Frédérique Ouimet:** Data collection, Method development, Writing-review & editing. **Shari Forbes:** Conceptualization, Method development, Writing - review & editing, Supervision, Funding acquisition. **Frank Crispino:** Conceptualization, Method development, Writing - review & editing, Supervision, Funding acquisition.

Chapitre 4 – Résultats supplémentaires

Les résultats de l'étude expérimentale exploratoire liés à l'apport du rapport de vraisemblance (LR) comme indicateur de la qualité de la restauration d'empreintes papillaires sont présentés dans le présent chapitre. Cette étude a été réalisée lors d'un stage de recherche de 12 semaines à l'École des Sciences Criminelles (ESC) de l'Université de Lausanne (UNIL) dans le cadre d'une bourse Globalinks de l'organisme Mitacs.

4.1. Méthodologie utilisée pour les expérimentations exploratoires

Le processus ACE-V discuté précédemment (section 2.3.2.) est la méthode d'analyse exclusive dans le cadre d'une comparaison trace papillaire – empreinte papillaire. Le logiciel web « Picture Annotation System » (PiAnoS) est un outil de formation en identification dactyloscopique créé par l'ESC de l'UNIL qui permet de pratiquer ce processus dans une interface appropriée. Il inclut un volet d'interprétation probabiliste qui favorise l'utilisation du LR dans le processus ACE-V. Cette approche n'est pas encore établie dans le domaine d'identification dactyloscopique au Québec.

En raison de l'absence d'empreintes papillaires restaurées dans le cadre du travail de recherche actuel avant le début du stage, l'étude exploratoire a été menée avec des photographies d'empreintes papillaires du projet de doctorat intitulé « Comparison of Epidermal and Dermal Fingerprints Collected from Thiel-embalmed Bodies » par Veronika Dzetkucicová, de l'Université de Dundee. Ce projet avait, entre autres, pour objectif de prélever et de comparer les empreintes papillaires dermiques et épidermiques de corps embaumés par la méthode Thiel [17]. La qualité des empreintes papillaires obtenues a été évaluée par la doctorante en utilisant la procédure des

autorités écossaises pour l'évaluation de la qualité des traces/empreintes papillaires. L'une des trois catégories de qualité a été attribuée à chaque empreinte papillaire obtenue : (1) inadéquate à la comparaison, (2) adéquate pour comparaison manuelle et (3) adéquate pour la comparaison avec IDENT1, soit la base de données biométrique centrale du Royaume-Uni incluant les fiches décadactylaires de prévenus [17]. Au total, 28 empreintes papillaires dermiques et épidermiques (14 paires) ont été analysées dans le cadre de l'étude exploratoire. Seules les empreintes papillaires de catégories 2 et 3 ont été utilisées et les photographies des empreintes sont toutes disponibles au lien suivant : <https://discovery.dundee.ac.uk/en/studentTheses/comparison-of-epidermal-and-dermal-fingerprints-collected-from-th>.

Dans le processus ACE-V, les empreintes papillaires dermiques ont été considérées comme les traces indiciaires alors que les empreintes papillaires épidermiques comme les empreintes de comparaison. Toutes les étapes du processus ACE-V ont été complétées, excepté la vérification, et la version 4.6.0 du logiciel web PiAnoS a été utilisée. Cette version permet d'utiliser un calculateur de rapport de vraisemblance lors de la phase d'analyse (ESLR) et lors de la phase de comparaison (LR). D'autres outils du volet d'interprétation probabiliste ont également été explorés, par exemple la grille de distribution du score AFIS (*Automated Fingerprint Identification System*), la grille de distorsion et le rang obtenu. Pour le ESLR, environ 500 « pseudo-traces » déformées sont fabriquées selon différentes distorsions naturelles possibles d'un doigt sur une surface, correspondant à l'élasticité naturelle de la peau ou à la forme de la surface. Une « pseudo-trace » est une empreinte créée avec la configuration de minuties données sur la trace indiciaire (c.-à-d. l'empreinte papillaire dermique), identifiée alors par analogie comme l'empreinte de comparaison. Un score AFIS est calculé pour chaque « pseudo-trace » en fonction de la comparaison effectuée avec la trace indiciaire. La distribution des scores AFIS obtenus (~ 500) est produite et réfère à la

variabilité intrasource (même source). En ce qui concerne la variation intersource, la configuration de minuties sur la trace indiciaire est comparée à une banque d'environ 1 million d'empreintes papillaires (XÉNA) et un score AFIS est calculé en fonction de ces comparaisons. Une discrimination des empreintes papillaires comparées de XÉNA, notamment en fonction du dessin général et du doigt potentiel, peut être appliquée pour obtenir un ESLR plus représentatif. La distribution des scores AFIS obtenus correspond à la variabilité intersource (sources différentes).

Pour le LR, le même principe s'applique que le ESLR, mais il n'y a pas de « pseudos-traces » fabriquées, car l'empreinte de comparaison est connue. Elle correspond à l'empreinte papillaire épidermique de l'empreinte dermique analysée. Le score AFIS, les distributions intra et intersource sont obtenus avec la comparaison de la configuration de minuties sur la trace indiciaire et l'empreinte de comparaison. Plus les caractéristiques observées sur la trace indiciaire sont rares, plus l'(ES)LR doit augmenter [21]. Donc, l'(ES)LR peut être compris comme un critère de performance de similarité entre la trace indiciaire et l'empreinte de comparaison : Plus la valeur est haute, plus les entités comparées sont « similaires » alors que plus la valeur est proche de 0, plus les entités comparées sont « différentes ». Dans le cadre de cette étude exploratoire, le LR a été utilisé de la façon qu'il l'est normalement en identification dactyloscopique, c.-à-d. lors d'une comparaison entre une trace indiciaire et une empreinte de comparaison. Le ESLR a donc été considéré comme critère de la qualité de la restauration avant toute comparaison.

4.2. Résultats préliminaires obtenus

Le volet d'interprétation probabiliste du logiciel PiAnoS propose une comparaison non seulement qualitative, mais aussi quantitative des empreintes papillaires comparées. Lors de l'étape d'analyse du processus ACE-V, une grille de distribution des scores AFIS (Figure 12) entre la trace indiciaire (l'empreinte papillaire dermique) et l'empreinte de comparaison (simulée par des « pseudotracés ») est produite dans le rapport de cas. Un tableau de données pour la trace indiciaire (l'empreinte papillaire dermique), incluant le rapport de vraisemblance attendu (ESLR) (Figure 13), est produit dans le rapport de cas.

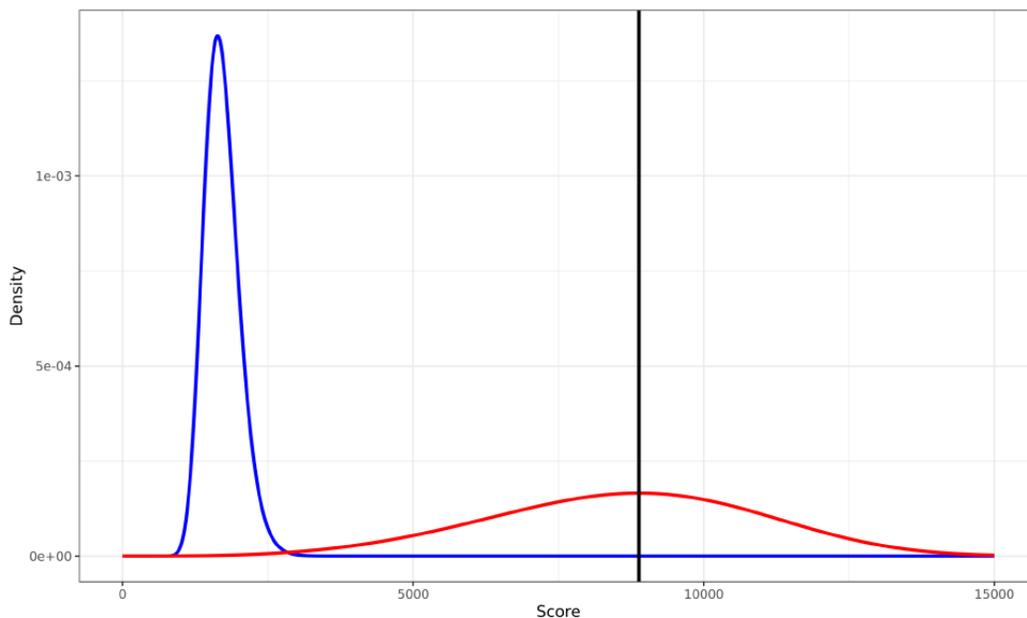


Figure 12. – Exemple d'une grille de distribution des scores AFIS d'une empreinte papillaire dermique produite lors du rapport de cas à l'étape d'analyse. La courbe en bleue représente la variabilité intersource et la courbe en rouge représente la variabilité intrasource. Celles-ci permettent d'évaluer le ESLR. La barre verticale noire concorde avec la valeur moyenne des scores AFIS de la variabilité intrasource (ligne 8 du tableau à la figure 13).

AFIS maxwithin score	8886
AFIS evidence score	12651
Number of minutiae	15
Expected Likelihood Ratio (ESLR)	$568.19420 \times 10^{+12}$
Log Expected Likelihood Ratio (ESLR)	14.75450
Within fit : distribution	weibull
Within fit : shape	4.14394
Within fit : scale	9498.58500
Within fit : number	737
Between fit : distribution	lnorm
Between fit : meanlog	7.43058
Between fit : sdlog	0.17556
Between : db selection	All
Between : finger selection	All
Between : number	935550
Distributions overlap	0.00817
qqr^2	0.93500

Figure 13. – Exemple d’un tableau de données d’une empreinte papillaire dermique (trace indiciaire) produit lors du rapport de cas à l’étape d’analyse. Le ESLR est indiqué à la quatrième ligne du tableau.

Lors de l’étape de comparaison du processus ACE-V, une grille de distribution des scores AFIS (Figure 14) entre la trace indiciaire (l’empreinte papillaire dermique) et l’empreinte de comparaison (l’empreinte papillaire épidermique) est produite dans le rapport de cas. Un tableau de données pour l’empreinte de comparaison (l’empreinte papillaire épidermique), incluant le rapport de vraisemblance calibré (LR) et le rang (Figure 15), est produit dans le rapport de cas.

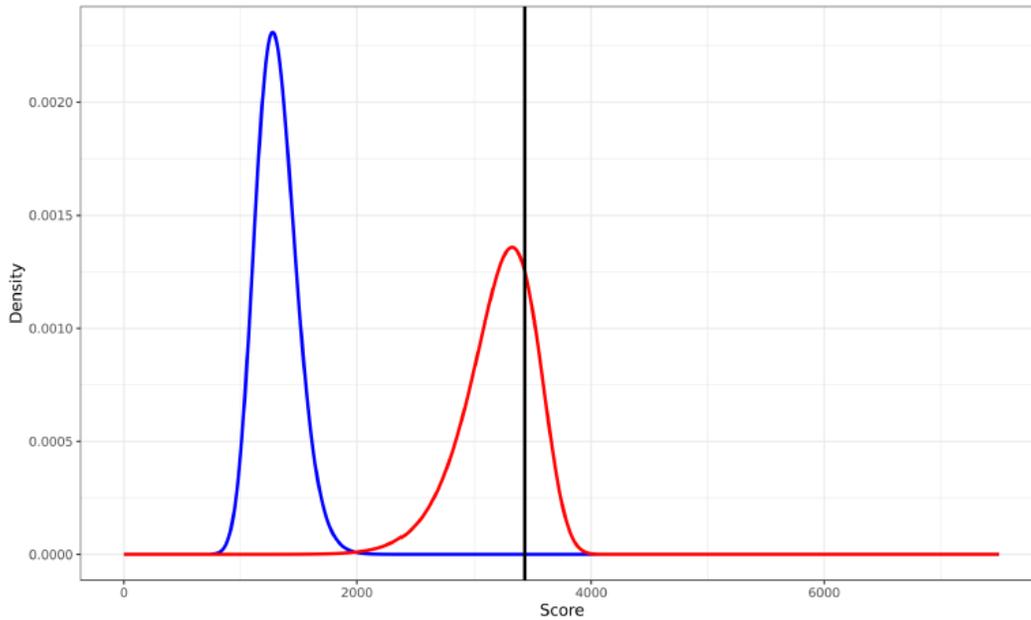


Figure 14. – Exemple d’une grille de distribution du score AFIS entre l’empreinte papillaire dermique (trace indiciaire) et l’empreinte papillaire épidermique (empreinte de comparaison) produite lors du rapport de cas à l’étape de comparaison. La courbe en bleu représente la variabilité intersource et la courbe en rouge représente la variabilité intrasource. Celles-ci permettent d’évaluer le LR. La barre verticale noire concorde avec le score AFIS obtenu de la comparaison entre la trace indiciaire et l’empreinte de comparaison du présent cas (ligne 12 du tableau à la figure 15).

AFIS evidence score	3429
Number of minutiae	6
Numerator	1.25250×10^{-3}
Denominator	3.74963×10^{-15}
Raw likelihood Ratio	$334.03190 \times 10^{+9}$
Calibrated likelihood Ratio (LR)	$17.84692 \times 10^{+9}$
Log Calibrated likelihood Ratio (LR)	10.25156
Rank	1
Diff. with top-non-match	819
Within fit : distribution	weibull
Within fit : shape	12.31184
Within fit : scale	3343.94252
Within fit : number	684
Between fit : distribution	lnorm
Between fit : meanlog	7.17020
Between fit : sdlog	0.13406
Between : db selection	All
Between : finger selection	All
Between : number	935550
Distributions overlap	0.00242
sp-within	0.74396
sp-between	1.00000
δLR	4822156334.32564
qqr^2	0.97387
dm	$2.30396 \times 10^{+16}$
Bending Energy	0.00222

Figure 15. – Exemple d’un tableau de données produit lors du rapport de cas à l’étape de comparaison entre une empreinte papillaire dermique (trace indiciaire) et l’empreinte papillaire épidermique (empreinte de comparaison). Le LR est indiqué à la sixième ligne du tableau et le rang à la huitième ligne.

Au total, 10 ESLR et six LR ont été obtenus en raison du minimum de quatre minuties appariées requis par le logiciel PiAnoS, de la qualité des photographies ou des empreintes papillaires dermiques. Ceux-ci sont présentés dans le tableau 5. Le rang du score AFIS pour la comparaison entre la trace indiciaire et l’empreinte de comparaison des six paires avec un LR est également présenté dans le tableau 5.

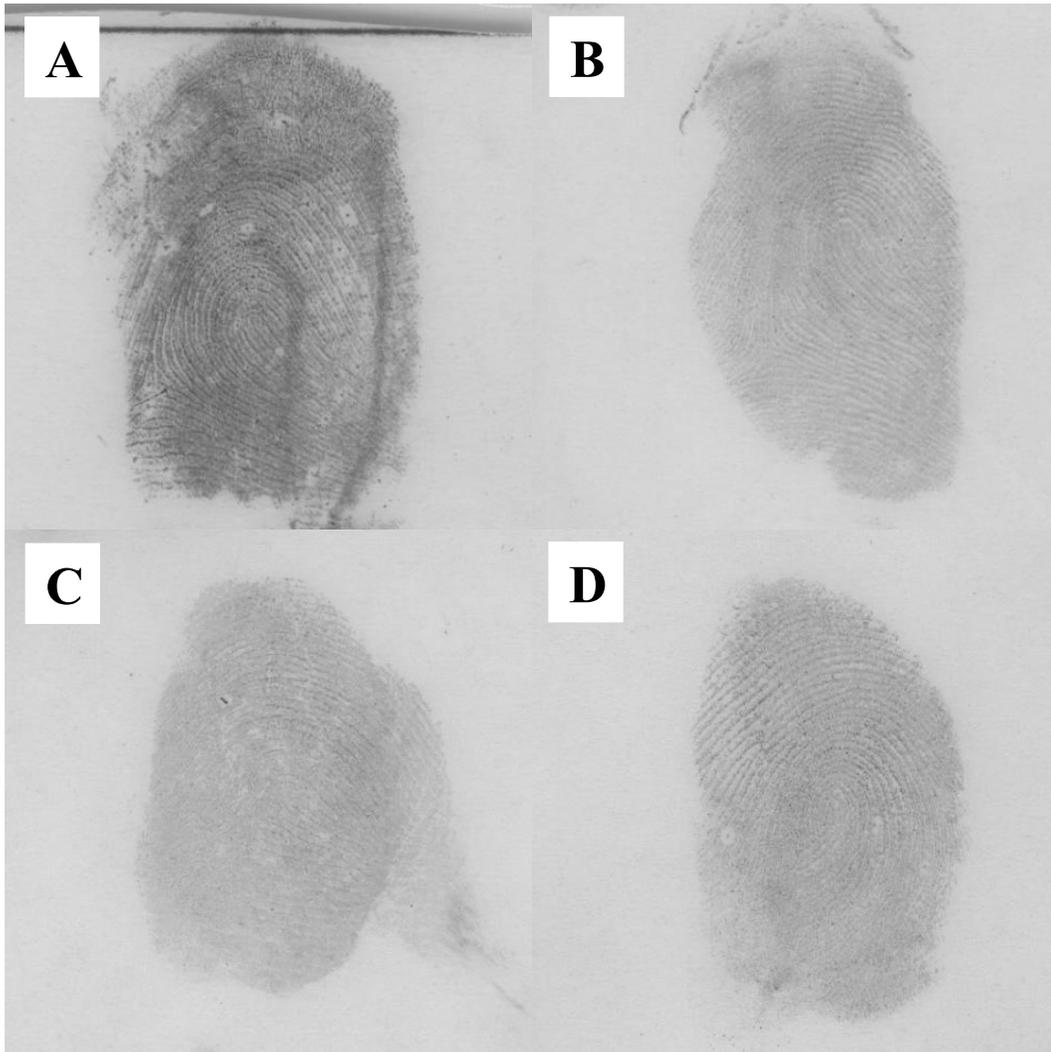
Table 5. – Résultats du rapport de vraisemblance obtenu lors de la phase d'analyse (ESLR) et du rapport de vraisemblance calibré (LR) et du rang obtenu lors de la phase de comparaison.

*Les URN d'identification des empreintes papillaires dermiques et épidermiques sont les numéros d'identification attribués par la doctorante dans le cadre de son projet [17].

URN Identification empreinte papillaire dermique*	URN Identification empreinte papillaire épidermique*	Rapport de vraisemblance espéré (ESLR)	Rapport de vraisemblance calibré (LR)	Rang
0321	0305	---	---	---
0572	0560	$1,19946 \times 10^{+6}$	---	---
0775	0755	---	---	---
0874	0858	$132,74360 \times 10^{+6}$	$128,16210 \times 10^{+0}$	419
1081	1069	$191,65730 \times 10^{+6}$	---	---
1453	1441	$70,06467 \times 10^{+9}$	---	---
1553	1537	$2,27252 \times 10^{+6}$	$21,13653 \times 10^{+0}$	924
1601	1581	---	---	---
1888	1876	$13,13341 \times 10^{+18}$	$23,15573 \times 10^{+6}$	1
2407	2396	$568,19420 \times 10^{+12}$	$17,84692 \times 10^{+9}$	1
2567	2547	$12,09314 \times 10^{+9}$	$12,89854 \times 10^{+3}$	2
3118	3098	$957,32540 \times 10^{+6}$	---	---
3171	3151	$127,57560 \times 10^{+6}$	$38,09707 \times 10^{+3}$	1
3317	3305	---	---	---

Le ESLR semble un bon indicateur de l'évaluation de la qualité des empreintes papillaires, par exemple les empreintes dermiques 1888 et 2407 (Figure 16A-B) étaient de meilleure qualité que les autres empreintes dermiques et les ESLR obtenus soutiennent cette observation. L'absence de ESLR souligne la qualité moindre des empreintes papillaires dermiques 0321 (Figure 16G), 0775 (Figure 16H), 1601 et 3317 que les autres empreintes. Les ESLR obtenus pour les empreintes dermiques 0572, 0874 (Figure 16E), 1081 (Figure 16F), 1553, 3118 et 3171 permettent de les

différencier des empreintes dermiques n'ayant aucun ESLR (0321, 0775, 1601 et 3317). Cependant, la qualité légèrement meilleure des empreintes 1453 et 2567 (Figure 16C-D) comparativement à ces dernières est appuyée par les ESLR obtenus.



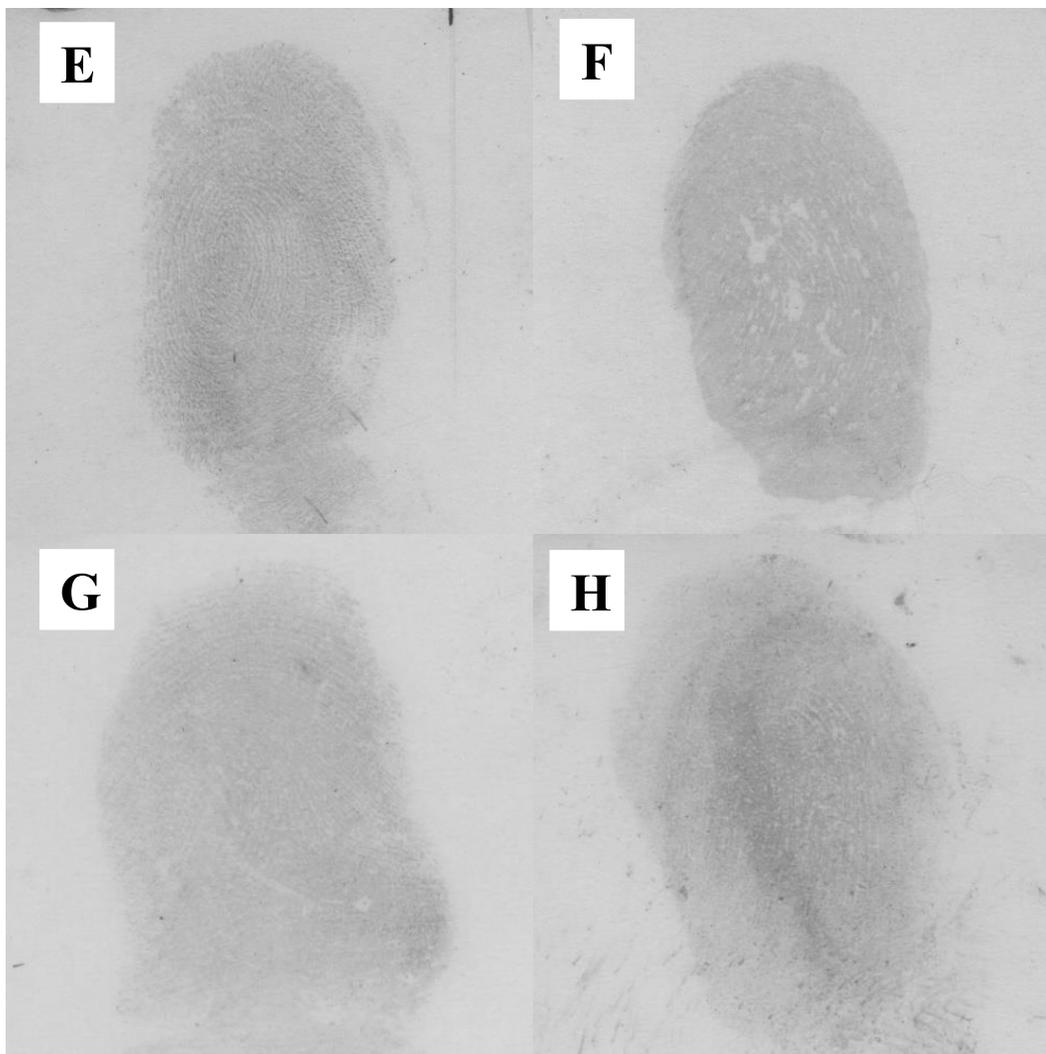


Figure 16. – Les photographies des empreintes papillaires dermiques ont été prises de la thèse de Dzetkucicová, V. (2021) [17]. Les empreintes ont été restaurées par la méthode Thiel et prélevées avec de la poudre dactyloscopique. A) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 1888. B) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 2407. C) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 1453. D) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 2567. E) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 0874. F) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 1081. G) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 0321. H) Photographie de l’empreinte papillaire dermique URN 0775.

Finalement, une grille de distorsion (Figure 16) est produite dans le rapport de cas lors de l'étape de comparaison. Celle-ci contribue à visualiser la distorsion élastique nécessaire pour parfaitement aligner les minuties qui ont été appariées sur la trace indiciaire et l'empreinte de comparaison. Cette grille favorise la comparaison de la trace indiciaire (l'empreinte papillaire dermique) et de l'empreinte de comparaison (l'empreinte papillaire épidermique). Elle est d'autant plus intéressante, car elle pourrait permettre d'évaluer qualitativement l'efficacité des méthodes dactyloscopiques.

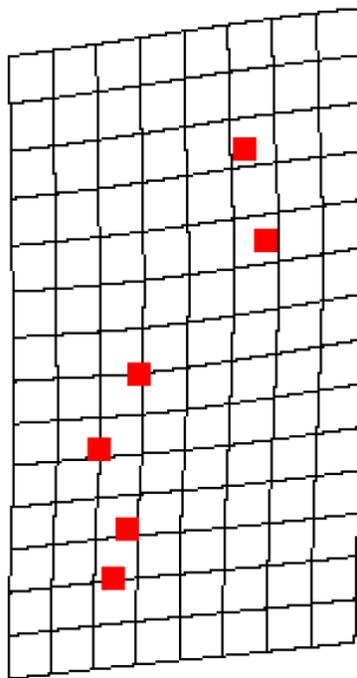


Figure 17. – Exemple d'une grille de distorsion produite lors du rapport de cas à l'étape de comparaison entre une empreinte papillaire dermique et d'une empreinte papillaire épidermique.

Chapitre 5 – Discussion générale

5.1. Article scientifique

Les résultats sur la restauration et le prélèvement des empreintes papillaires ont permis d'aboutir à des conclusions clés. Le déroulement des procédures expérimentées et les résultats obtenus à la suite des deux essais expérimentaux détaillés dans l'article scientifique sont présentés à l'Annexe E (Tableau E1). Premièrement, les variations saisonnières ont semblé avoir joué un rôle sur la décomposition des doigts. En effet, les donneurs de l'étude d'été ont montré des changements *post mortem* plus rapidement dans le processus de décomposition des mains et des doigts que les donneurs d'automne/hiver. Les conditions estivales ont favorisé les changements externes *post mortem*, alors que les conditions extrêmes en automne/hiver ont contribué à leur diminution, mais à l'opposé de la croyance populaire [46,98,105,119,120], n'ont pas conduit à une préservation complète des tissus mous. La restauration et le prélèvement des empreintes papillaires après l'hiver ont été obtenus sur le terrain lors de cette étude, contrairement en été. Ces dernières ont été réalisées par des méthodes moins invasives et destructrices, en raison de changements externes *post mortem* moins considérables et d'une exposition réduite à des variables incontrôlables comme ce fut le cas lors de l'été [15,46,183-185]. Les méthodes de restauration pour les deux donneurs de l'essai d'été ont fortement été limitées sur le terrain. Des méthodes plus intensives (destructives) et de longue durée auraient pu être envisagées, telles qu'une réhydratation de plus de 24 heures ou une injection sous-cutanée avec des solutions d'agents d'embaumement [5,7,23,31]. Or, les objectifs de ce projet se concentraient sur les méthodes pouvant être réalisées sur le terrain, justifiant les résultats et conclusions présentées dans l'article scientifique. Le diagramme de flux de travail propose entre autre ces méthodes pour les doigts de catégorie 4 ou 5 (Figure 5).

Deuxièmement, les méthodes présentement utilisées par les corps policiers provinciaux (pas toujours accessibles dans la littérature) ont montré du potentiel, mais celles favorisées par les praticiens forensiques (accessibles dans la littérature) ont donné généralement de meilleurs résultats. D'une part, la méthode d'injection sous-cutanée avec de l'air seul (présentement utilisée par les corps policiers provinciaux) a donné des résultats rapides, alors que l'injection avec la solution de glycérine et d'eau (70/30) (favorisée par les praticiens forensiques) a pris quelques minutes avant de repulper les rides. Cependant, l'air seul crée une surface relativement instable pour l'encrage et nécessite une légère pression constante de l'opérateur, ce qui n'est pas le cas avec la solution de glycérine et d'eau. D'une autre part, la réhydratation avec la solution de carbonate de sodium (favorisée par les praticiens forensiques) a fourni les résultats les plus optimaux, tout comme l'étude d'Iwakami *et al.* (2013) [23]. La réhydratation avec la solution d'assouplissant et d'eau (présentement utilisée par les corps policiers provinciaux) a offert des résultats encourageants, mais le caractère variable et inconnu de la composition d'un assouplissant ne permettrait pas d'obtenir des résultats reproductibles, contrairement à la solution de carbonate de sodium dont la recette est connue et constante. Finalement, la « méthode du gant de peau » axée sur l'épiderme contribue à obtenir des empreintes papillaires de manière simple, rapide et efficace.

Bien que la comparaison qualitative des méthodes présentement utilisées par les corps policiers provinciaux et des méthodes favorisées par les praticiens forensiques a été réalisée (section 3.5.2.), ce travail de recherche et l'étude expérimentale qui en découle ne peuvent prétendre avoir optimisé les méthodes existantes comme prévu. D'un côté, les résultats ont montré que les méthodes de restauration et de prélèvement d'empreintes papillaires pouvaient être adaptées pour une application pratique dans des contextes forensiques réels. À l'opposé de plusieurs méthodes publiées, aucun doigt ou main de donneur n'a été amputé dans le cadre de ce travail de recherche,

conformément aux contraintes éthiques de l'établissement REST[ES], pour offrir une approche peu invasive. D'un autre côté, l'exposition aux variables incontrôlables, notamment liées aux variations biologiques humaines, le temps écoulé depuis la mort et les conditions météorologiques ont limité leur application et leur optimisation sur le terrain [15,46,183-185]. Également, la conservation ou le degré de décomposition de la peau, très variable après la mort en raison des variables précédentes, oblige dans certains cas l'utilisation d'une méthode de restauration plus intensive réalisée en laboratoire ou à la morgue.

Troisièmement, à l'aide des méthodes de prélèvement expérimentées (l'encrage, le moulage et la photographie), les résultats de l'étude expérimentale ont permis d'établir la méthode plus appropriée pour prélever des empreintes papillaires de restes humains. Basées sur les recommandations des praticiens forensiques dans la littérature [4,6,15,31,40,188], les méthodes d'encrage et de moulage se sont avérées les mieux adaptées à une application pratique, mais ayant chacune des limites d'utilisation. En effet, l'encrage a fourni des résultats optimaux pour les doigts dans les premiers stades de décomposition (Catégorie 1-3 [Tableau 2]), mais la présence de fluides de décomposition ou de substances grasses sur le bout des doigts a empêché une adhérence adéquate de l'encre sur la peau, malgré un nettoyage et séchage approprié. Les résultats ont montré que le moulage offre la possibilité d'obtenir plusieurs moules d'empreintes papillaires à divers stades de décomposition (Catégorie 1-5 [Tableau 2]). Le temps de séchage du Mikrosil, néanmoins, doit être prolongé afin de permettre au produit de sécher correctement, étant donné qu'il est appliqué dans un environnement incontrôlable (c.-à-d. à l'extérieur), ce qui pourrait potentiellement améliorer le contraste entre les crêtes et les sillons du moule. La méthode de prélèvement d'empreintes papillaires la plus optimale, finalement, a été la photographie numérique.

À la suite des résultats de l'étude expérimentale, des recommandations pour soutenir les praticiens forensiques dans leur prise de décision lors d'une enquête forensique au Québec ont été proposées. D'une part, plusieurs systèmes de notation sont disponibles dans la littérature pour évaluer l'étendue de la décomposition des restes humains dans des contextes forensiques (section 2.2.1.). Dans ces approches, le corps humain est divisé en différentes régions anatomiques (principalement tête-cou, tronc et membres), mais les mains, et donc les doigts, ne sont généralement pas considérés ou notés individuellement, car ils sont fréquemment inclus dans la définition des membres [46,49,97,98,126,128,130,135,205-207]. Pour combler ce manque dans la littérature actuelle, un système de notation qualitative (Tableau 2), inspiré des méthodes de Megyesi *et al.* (2005) [98] [73] et Ribéreau-Gayon *et al.* (2023) [135], a été développé. Ce système de notation pourrait aider les praticiens forensiques à évaluer les changements externes *post mortem* des doigts et à utiliser ces informations comme éléments de triage pour faciliter la détermination de la ou des méthodes à privilégier en fonction des niveaux de préservation ou dégradation des doigts. D'autre part, un diagramme de flux de travail (Figure 5), pour la restauration et le prélèvement sur le terrain des empreintes papillaires sur des restes humains décomposés, a également été développé et adapté de celui établi par Mulawka (2014) [7]. Un diagramme de flux de travail permet une meilleure visualisation de toutes les options possibles pour restaurer et prélever les empreintes papillaires selon la catégorie du système de notation (Tableau 2). Certaines méthodes suggérées dans la littérature, présentées à la section 3.5.1 et qui n'ont pas été testées au cours de la présente étude, ont également été incluses dans le flux de travail pour proposer toutes les options possibles aux praticiens forensiques. Les recommandations ont été développées pour les conditions climatiques du sud du Québec, par conséquent, leurs applications à d'autres zones géographiques et conditions expérimentales nécessiteront une évaluation dans le futur. Pecsí *et al.* (2020) souligne entre autres

l'objection de chercheurs d'extrapoler des données de décomposition à des régions écogéographiques incomparables.

Une contrainte de ce travail de recherche réside dans le nombre limité de doigts disponibles pour chaque ensemble de méthodes de restauration et de prélèvement d'empreintes papillaires. Chaque méthode de restauration a été appliquée sur un minimum de deux doigts, mais il n'a pas toujours été possible d'obtenir les empreintes papillaires de tous les doigts, notamment en raison de la décomposition avancée de certains doigts et l'exposition à des variables incontrôlables. La comparaison des méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires doit donc faire preuve de nuances. Une conséquence directe du nombre limité de traces est l'impossibilité de produire des statistiques significatives dans le cadre d'une étude à court terme, comme celle-ci. Excluant la variabilité régionale de la décomposition humaine, les recherches en taphonomie forensique sont particulièrement confrontées à ce type de limitation, dû aux restrictions légales, éthiques et financières liées à la mise en place d'un site de recherche (niveau provincial et national), restrictions à propos des installations et ressources disponibles, etc. [46,122,123] Des expériences longitudinales à long terme (par exemple, 3 à 5 ans) pourraient compléter la présente étude en analysant un plus grand nombre de doigts, générant ainsi des comparaisons plus robustes entre les méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires. En considérant la nouveauté du site REST[ES], les donneurs ne sont actuellement déposés qu'en surface, sans vêtements et en position couchée, dans le but de réduire la variabilité et de recueillir des données de base, mais d'autres arrangements seront étudiés au REST[ES] dans les années prochaines [122]. Dans le cadre précis de ce travail de recherche, divers scénarios expérimentaux (p. ex. avoir les mains vêtues, avec une variation de mitaines, enterrer les restes humains, etc.) devraient également être

considérés chaque saison pour tenter de refléter la diversité des scénarios forensiques dans les enquêtes policières au Québec, et potentiellement dans des climats comparables.

5.2. Résultats supplémentaires

Les résultats de l'étude expérimentale exploratoire avec le logiciel PiAnoS semblent montrer du potentiel pour établir une méthode objective et détaillée. D'un côté, la grille de distribution des scores AFIS (Figures 12 et 14) et la grille de distorsion (Figure 16), permettent de visualiser l'intra et l'intervariabilité de la trace indiciaire et l'empreinte de comparaison. Premièrement, la grille de distribution du score AFIS illustre les variabilités entre la trace indiciaire, c.-à-d. l'empreinte papillaire dermique, et l'empreinte de comparaison, c.-à-d. simulée par des « pseudos-trace » lors de l'étape d'analyse ou l'empreinte papillaire épidermique lors de l'étape de comparaison. Deuxièmement, la grille de distorsion quant à elle permet de déterminer si la déformation observée est considérée comme cohérente ou aberrante afin de parfaitement aligner les minuties qui ont été appariées sur les empreintes papillaires comparées. Les deux grilles proposent une comparaison qualitative des empreintes papillaires dermiques et épidermiques qui pourrait potentiellement être transposée dans le contexte de ce travail de recherche afin d'évaluer l'efficacité des méthodes de restauration et de prélèvement.

D'un autre côté, le rapport de vraisemblance calibré (LR) propose la valeur probante d'une configuration de minuties précise, lors de la comparaison de la trace indiciaire avec l'empreinte de comparaison. Si le LR établit la valeur d'une association entre une trace indiciaire (empreinte restaurée) et une empreinte de comparaison, il peut difficilement quantifier l'efficacité des méthodes de restauration. Au mieux, les valeurs de LR obtenues, supérieures à 1 (Tableau 5),

rendent vraisemblable que l'empreinte papillaire dermique correspond à l'empreinte papillaire épidermique. En revanche, le rapport de vraisemblance espéré (ESLR) propre à la trace indiciaire (empreinte restaurée) indique aussi une information sur la qualité de la restauration, car il ne tient pas compte d'une association possible avec une empreinte de comparaison proposée. L'application de cette hypothèse sur un jeu de données extérieur à notre expérimentation soutient le potentiel de l'ESLR comme quantificateur de l'efficacité des méthodes de restauration et prélèvement des empreintes papillaires. Son utilisation s'inscrit normalement dans la méthode de pré-évaluation de cas forensiques développée par Cook *et al.* (1988) [153]. Établi lors de la phase d'analyse du processus ACE-V, il propose une estimation du LR attendu de la configuration de minutie sur la trace indiciaire avant qu'une comparaison soit réalisée [21,153,218]. Il peut donc être considéré comme un critère de la qualité de la restauration. De fait, les résultats soutiennent que le ESLR semble un bon indicateur de la qualité, au regard des comparaisons effectuées sur le jeu de données de l'université de Dundee.

Pour autant, les ESLR sont des mesures relatives (non absolues) liées à la similarité entre la trace indiciaire et l'empreinte de comparaison, car ils sont dépendants de la base de connaissances, la banque d'empreintes papillaires XÉNA. Or, si cette base de connaissances évolue (p. ex. en augmentant ou diminuant la taille de la population cible), le ESLR pourrait varier. Il est, de ce fait, aussi également limité dans le temps. Par exemple, si on considère que la comparaison de ESLR provenant de deux restaurations à un ou deux années de séparation risquerait d'être erronée. Le ESLR semble montrer du potentiel pour quantifier la qualité des empreintes papillaires, mais davantage d'étude expérimentale permettrait de mieux comprendre les mécanismes de calculs qu'il implique.

Chapitre 6 – Conclusion

Selon le degré de conservation ou décomposition des restes humains, les empreintes papillaires sont une des méthodes d'identification disponibles comme étant les moins chronophages et coûteuses. L'intention de ce travail de recherche était d'explorer l'influence du climat provincial sur l'identification et d'expérimenter l'efficacité de méthodes de restauration et de prélèvement des empreintes papillaires à différents moments du processus de décomposition. Le premier objectif, étant d'explorer l'influence du climat du sud du Québec sur la restauration et le prélèvement d'empreintes papillaires de restes humains en décomposition en milieu naturel, a été atteint. En effet, une série d'études expérimentales sur des donneurs du site REST[ES] au cours de l'été (conditions climatiques estivales) et de l'hiver (conditions climatiques hivernales) ont été réalisées. Les résultats ont montré que la décomposition des doigts semble être influencée par les variations saisonnières. Les conditions climatiques ont permis la restauration et le prélèvement d'empreintes papillaires après l'hiver de manière moins invasive et destructrice qu'en été, où des variables incontrôlables ont limité l'application de ces méthodes.

Le deuxième objectif de ce travail de recherche, soit d'expérimenter les méthodes de restauration afin d'établir un protocole d'optimisation, a été partiellement atteint. Les diverses méthodes de restauration identifiées lors de la revue de littérature ont été comparées dans un contexte climatique québécois, en milieu naturel et à différents moments du processus de décomposition. Certaines méthodes actuellement employées par les corps policiers provinciaux ont semblé montrer du potentiel, mais les méthodes favorisées par les praticiens forensiques ont données les résultats les plus optimaux dans le cadre de l'étude expérimentale. Cependant, l'optimisation des méthodes de

restauration et de prélèvement n'a pas été réalisée, en raison de l'exposition à des variables incontrôlables et de la variabilité de la décomposition humaine.

Le troisième objectif de ce travail de recherche, étant de déterminer quelle méthode de prélèvement ou séquence serait la plus appropriée pour prélever des empreintes papillaires de restes humains exposés en milieu naturel au Québec, a été atteint. Les résultats ont montré que les méthodes de restauration et de prélèvement d'empreintes papillaires pouvaient être adaptées pour une application pratique dans des contextes forensiques réels. Bien que ce travail de recherche soit exploratoire, son cadre expérimental rigoureux sous des conditions contrôlées a contribué à fournir des recommandations pour soutenir les praticiens forensiques dans leur prise de décision lors d'une enquête forensique au Québec. Entre autres, un système de notation, dérivé de Megyesi *et al.* (2005) [98] et Ribéreau-Gayon *et al.* [135], ainsi qu'un diagramme de flux de travail ont été élaborés dans le cadre de l'étude expérimentale. Ceux-ci pourraient aider les experts forensiques à évaluer les changements externes *post mortem* des doigts et les soutenir dans la détermination de la ou des méthodes à privilégier en fonction des niveaux de préservation/dégradation des doigts.

Enfin, le quatrième objectif de ce travail de recherche, soit de quantifier la qualité des empreintes papillaires obtenues après restauration, a mené à une solution inattendue originale de quantification de la qualité de la restauration. Les résultats de l'étude expérimentale exploratoire avec le logiciel PiAnoS et ses outils du volet d'interprétation probabiliste proposent une comparaison qualitative et quantitative des empreintes papillaires dermiques et épidermiques. L'application des outils pourrait potentiellement être transposée dans le contexte de ce travail de recherche afin d'évaluer l'efficacité des méthodes de restauration et de prélèvement. Ils contribuent à mettre au point une méthode plus objective, détaillée et structurée pour évaluer l'efficacité des méthodes de restauration. Le ESLR a été proposé comme outil de quantification de la qualité des empreintes

papillaires obtenues après restauration. Ce rapport de probabilités pourrait potentiellement répondre à la problématique liée à la compréhension de la qualité de la trace qui persiste en dactyloscopie.

Pour finir, ce travail de recherche a apporté de nouvelles connaissances sur la décomposition des doigts chez les individus décédés au Québec, sur les défis de la restauration et du prélèvement des empreintes papillaires à partir de restes humains en décomposition. Les résultats pourraient aider les enquêteurs forensiques provinciaux dans leur tâche de déterminer la ou les méthodes de prise d'empreintes papillaires à privilégier à des fins d'identification dans les enquêtes impliquant des restes humains non identifiés, grâce à un examen visuel amélioré et une interprétation enrichie des changements externes *post mortem* des doigts.

Références bibliographiques

1. Gouvernement du Canada. Disparus-Canada: Renseignements généraux, Fiche de renseignements 2021 [28 Octobre 2022]. Available from: <https://www.canadasmissing.ca/pubs/2021/index-fra.htm>
2. Gouvernement du Canada, Statistique Canada. Tableau 35-10-0071-01: Nombre et taux de victimes d'homicide, selon la région métropolitaine de recensement 2021 [28 Octobre 2022]. Available from: <https://doi.org/10.25318/3510007101-fra>
3. Cattaneo C, De Angelis D, Porta D, et al. Personal identification of cadavers and human remains. In: Schmitt A, Cunha E, Pinheiro J, editors. Forensic anthropology and medicine: Complementary sciences from recovery to cause of death. Totowa; NJ: Humana Press; 2006. p. 359-379. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-59745-099-7_15
4. Cutro BT. Recording living and postmortem friction ridge exemplars. In: Holder EH, Robinson LO, Laub JH, editors. The fingerprint sourcebook. Washington; WA: National Institute of Justice; 2011: 1-18.
5. Gahr B, Drewitz M, Vöth R, et al. Quality improvement of fingerprints of decayed corpses by local thanatopractical processing (Thanatoprint). GMS Interdisciplinary plastic and reconstructive surgery DGPW. 2013;2. DOI: <https://doi.org/10.3205/iprs000035>
6. Czubak W, Czubak A, Konopka T. Fingerprinting of corpses undergoing early post-mortem changes. Problems of Forensic Sciences. 2015;102:71-79.
7. Mulawka M. Postmortem fingerprinting and unidentified human remains. Waltham, MA: Elsevier Inc.; 2014. (Miller LS, editor. Forensic studies for criminal justice).
8. Black S, Walker G, Brooks C, et al. Disaster victim identification: the practitioner's guide. Dundee: Dundee University Press; 2009.
9. Fieldhouse S, Stow K. The identification of missing persons using fingerprints. In: Morewitz SJ, Sturdy Colls C, editors. Handbook of missing persons. Cham; Switzerland: Springer International Publishing; 2016. p. 389-413. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-40199-7_26
10. Kim Y-S, Yoon K-S, Eom Y-B, et al. An innovative fingerprinting procedure for human identification. Journal Experimental Biomedical Science. 2009;15:187-197.
11. Khoo LS, Hasmi AH, Mahmood MS, et al. Underwater DVI: Simple fingerprint technique for positive identification. Forensic Science International. 2016;266:e4-e9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.08.019>

12. Johnson BT, Riemen JAJM. Digital capture of fingerprints in a disaster victim identification setting: a review and case study. *Forensic Sciences Research*. 2019;4(4):293-302. DOI: <https://doi.org/10.1080/20961790.2018.1521327>
13. Fields R, Molina KD. A novel approach for fingerprinting mummified hands. *Journal of Forensic Sciences*. 2008;53(4):952-955. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2008.00768.x>
14. Bolme DS, Tokola RA, Boehnen CB, et al. Impact of environmental factors on biometric matching during human decomposition. 2016 IEEE 8th International Conference on Biometrics Theory, Applications and Systems (BTAS); 2016 6-9 Sept. 2016. DOI: <https://doi.org/10.1109/BTAS.2016.7791177>
15. Wójcik A, Rogoża E, Drzewiecka K, et al. Fingerprinting and improvement of the readability of the fingerprints of corpses. *Problemy Kryminalist*. 2014;286(4):86-91. DOI: <https://doi.org/10.34836/pk.2014.286.8>
16. Cadd S, Islam M, Manson P, et al. Fingerprint composition and aging: A literature review. *Science & Justice*. 2015;55(4):219-238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2015.02.004>
17. Dzetkulicová V. Comparison of epidermal and dermal fingerprints collected from thiel-embalmed bodies [Thesis]. Dundee, Scotland: University of Dundee; 2021.
18. González M, Gorziza RP, de Cássia Mariotti K, et al. Methodologies applied to fingerprint analysis. *Journal of Forensic Sciences*. 2020;65(4):1040-1048. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14313>
19. Forensic Science Regulator. Codes of practice and conduct: Friction Ridge Detail (Fingerprint) Examination - Terminology, Definitions and Acronyms. Birmingham, United Kingdom:2020.
20. Margot P. Traçologie: la trace, vecteur fondamental de la police scientifique. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*. 2014;67(2):72-97.
21. Champod C, Lennard C, Margot P, et al. *Traces et empreintes digitales: traité de dactyloscopie*. 1 ed. Lausanne, Suisse: Presses polytechniques et universitaires romandes; 2017. (Collection sciences forensiques).
22. Cummins H, Midlo C. Finger prints, palms and soles. *The Journal of Nervous and Mental Disease*. 1945;101(6):620.
23. Iwakami E, Uchigasaki S, Tie J. Restoration of fingerprints from a mummified cadaver. *Journal of Forensic Research*. 2013;4(6). DOI: <https://doi.org/10.4172/2157-7145.S6-001>
24. Wilder HH, Wentworth B. *Personal identification - Methods for the identification of individuals, living or dead*. 2nd (1st Boston: Richard G. Badger, 1918) ed. Cooke TG, editor. Chicago, IL: The Fingerprint Publishing Association; 1932.

25. INTERPOL Tsunami Evaluation Working Group. The DVI Response to the South East asian tsunami between December 2004 and February 2006. France:2007. p. 151.
26. Morgan OW, Sribanditmongkol P, Perera C, et al. Mass fatality management following the South asian ssunami Disaster: Case studies in Thailand, Indonesia, and Sri Lanka. PLOS Medicine. 2006;3(6):e195. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.0030195>
27. De Valck E. Major incident response: collecting ante-mortem data. Forensic science international. 2006;159 Suppl 1:S15-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.02.004>
28. Almog J, Cantu A, Champod C, et al. Guidelines for the assessment of fingermark detection techniques International Fingerprint Research Group (IFRG). Journal of Forensic Identification. 2014;64(2):174-197.
29. Bandey HL, Bleay SM, Bowman VJ, et al. Fingermark visualisation manual. 1 ed. London, United Kingdom: Home Office Centre for Applied Science and Technology; 2014.
30. Fritz P, Frick A, Van Bronswijk W, et al. Variability and subjectivity in the grading process for evaluating the performance of latent fingermark detection techniques. Journal of Forensic Identification. 2015;65(5):851-867.
31. Kahana T, Grande A, Tancredi D, et al. Fingerprinting the deceased: Traditional and new techniques. Journal of Forensic Sciences. 2001;46(4):908-912. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS15067J>
32. Zugibe FT, Costello JT. A new method for softening mummified fingers. Journal of Forensic Sciences. 1986;31(2):726-31. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS12306J>
33. Chen C-C, Yang C-K, Chen C-Y, et al. Comparison of rehydration techniques for fingerprinting the deceased after mummification. Journal of Forensic Sciences. 2017;62(1):205-208. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13237>
34. Schotsmans EMJ, Márquez-Grant N, Forbes SL. Taphonomy of human remains: Forensic analysis of the dead and the depositional environment. Schotsmans EMJ, Márquez-Grant N, Forbes SL, editors. Oxford, United Kingdom: John Wiley & Sons Ltd; 2017
35. Haglund WD, Sorg MH. Forensic taphonomy: The postmortem fate of human remains. Haglund WD, Sorg MH, editors. New York, NY: CRC Press; 1997.
36. Knobel GJ. Taking fingerprints from a decomposed body using the "indirect cadaver hand skin-glove method". South African Medical Journal. 2005;95(9):665-6. DOI: <https://doi.org/10.7196/SAMJ.1818>
37. Morgan LO, Johnson M, Cornelison JB, et al. Autopsy fingerprint technique using fingerprint powder. Journal of Forensic Sciences. 2018;63(1):262-265. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13532>

38. Morgan LO, Johnson M, Cornelison JB, et al. Two novel methods for enhancing postmortem fingerprint recovery from mummified remains. *Journal of Forensic Sciences*. 2019;64(2):602-606. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13876>
39. Rutty GN, Stringer K, Turk EE. Electronic fingerprinting of the dead. *International Journal of Legal Medicine*. 2008;122(1):77-80. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-007-0158-6>
40. Saviano JD. Obtaining identifiable fingerprints from mummified hands: Two quick and accurate methods. *Journal of Forensic Identification*. 2000;50(1):13-19.
41. Schmidt CW, Nawrocki SP, Williamson MA, et al. Obtaining fingerprints from mummified fingers: A method for tissue rehydration adapted from the archeological literature. *Journal of Forensic Sciences*. 2000;45(4):874-875. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS14787J>.
42. Schuliar Y, Michaut JF, Crispino F. Physico-chemical treatment for fingerprint identification. *Journal of Forensic Identification*. 2000;50(3):264-270.
43. Tomboc R, Schrader M. Obtaining fingerprint and palmprint impressions from decomposed bodies or burn victims using the mikrosil casting method. *Journal of Forensic Identification*. 2005;55(4):471-479.
44. Uhle AJ, Leas RL. The boiling technique: A method for obtaining quality postmortem impressions from deteriorating friction ridge skin. *Forensic Science Communications*. 2007;57:358-369.
45. Modeste KI, Anderson B. Using fingerprint powder to record friction ridge details from a cadaver. *Journal of Forensic Identification*. 2009;59(3):302.
46. Mann R, Bass W, Meadows L. Time since death and decomposition of the human body: Variables and observations in case and experimental field studies. *Journal of Forensic Sciences*. 1990;35(1):103-111. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS12806J>
47. Simmons T, Cross P. Forensic taphonomy. In: Siegel JA, Saukko PJ, Houck MM, editors. *Encyclopedia of forensic sciences*. 2nd ed: Academic Press; 2012. p. 12-17.
48. Zhou C, Byard RW. Factors and processes causing accelerated decomposition in human cadavers – An overview. *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2011;18(1):6-9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2010.10.003>
49. Janaway RC, Percival SL, Wilson AS. Decomposition of human remains. In: Percival SL, editor. *Microbiology and aging: Clinical manifestations*. Totowa, NJ: Humana Press; 2009. p. 313-334. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-59745-327-1_14
50. Drahansky M, Dolezel M, Urbanek J, et al. Influence of skin diseases on fingerprint recognition. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*. 2012;2012. DOI: <https://doi.org/10.1155/2012/626148>

51. Tortora GJ, Derrickson BH. Principles of anatomy and physiology. 15th ed. New Jersey, NJ: John Wiley & Sons; 2018.
52. Jablonski NG, Chaplin G. Human skin pigmentation as an adaptation to UV radiation. Proceedings of the National Academy of Sciences. 2010;107(supplement_2):8962-8968. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0914628107>
53. Baroni A, Buommino E, De Gregorio V, et al. Structure and function of the epidermis related to barrier properties. Clinics in Dermatology. 2012;30(3):257-262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clindermatol.2011.08.007>
54. Powell J. Skin physiology. Women's Health Medicine. 2006;3(3):130-133. DOI: <https://doi.org/10.1383/wohm.2006.3.3.130>
55. Metze D, Luger T. Nervous system and function. In: Freinkel RKaW, D. T., editor. The biology of the skin. New York, NY: The Parthenon Publishing Group; 2001. p. 153-176.
56. Maceo AV. Anatomy and physiology of adult friction ridge skin. The Fingerprint Sourcebook. Washington, WA: National Institute of Justice; 2011:2-26.
57. Montagna W, Parakkal PF. The structure and function of skin. 3rd ed. London, United Kingdom: Academic Press; 1974.
58. Habif TP. Clinical dermatology: A color guide to diagnosis and therapy. 4th ed. Hong Kong, China: Mosby Elsevier Inc.; 2004.
59. Tobin DJ. Introduction to skin aging. Journal of Tissue Viability. 2017;26(1):37-46. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jtv.2016.03.002>
60. Bossen A, Lehmann R, Meier C. Internal fingerprint identification with optical coherence tomography. IEEE Photonics Technology Letters. 2010;22(7):507-509. DOI: <https://doi.org/10.1109/LPT.2010.2041347>
61. Oltulu P, Ince B, Kokbudak N, et al. Measurement of epidermis, dermis, and total skin thicknesses from six different body regions with a new ethical histometric technique. Turkish Journal of Plastic Surgery. 2018;26(2):56-61. DOI: https://doi.org/10.4103/tjps.TJPS_2_17
62. Haake A, Scott GA, Holbrook KA. Structure and function of the skin: Overview of the epidermis and dermis. In: Freinkel, RK, Woodley, DT, editors. The biology of the skin. New York, NY: The Parthenon Publishing Group; 2001. p. 19-46.
63. Wertheim K. Embryology and morphology of friction ridge skin. The Fingerprint Sourcebook. Washington, WA: National Institute of Justice; 2011. p. 1-26.
64. Wertheim K, Maceo AV. The critical stage of friction ridge and pattern formation. Journal of Forensic Identification. 2002;52(1):35-85.

65. Penrose LS, Ohara PT. The development of the epidermal ridges. *Journal of Medical Genetics*. 1973;10(3):201-8. DOI: <https://doi.org/10.1136/jmg.10.3.201>
66. Ashbaugh DR. Quantitative-qualitative friction ridge analysis: An introduction to basic and advanced ridgeology. 1 ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 1999.
67. Chacko LW, Vaidya MC. The dermal papillae and ridge patterns in human volar skin. *Acta Anatomica (Basel)*. 1968;70(1):99-108. DOI: <https://doi.org/10.1159/000143119>
68. Kücken M. Models for fingerprint pattern formation. *Forensic Science International*. 2007;171(2-3):85-96. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.02.025>
69. Okajima M. Development of dermal ridges in the fetus. *Journal of Medical Genetics*. 1975;12(3):243-250. DOI: <https://doi.org/10.1136/jmg.12.3.243>
70. Babler WJ. Embryologic development of epidermal ridges and their configurations. *Birth Defects Original Article Series*. 1991;27(2):95-112.
71. Babler WJ. Prenatal development of dermatoglyphic digital patterns: Associations with epidermal ridge, volar pad and bone morphology. *Collegium Antropologicum*. 1987;11(2):297-303.
72. Bonnevie K. Studies on papillary patterns of human fingers. *Journal of Genetics*. 1924;15(1):1-111.
73. Cummins H. Epidermal-ridge configurations in developmental defects, with particular reference to the ontogenetic factors which condition ridge direction. *American Journal of Anatomy*. 1926;38(1):89-151. DOI: <https://doi.org/10.1002/aja.1000380105>
74. Penrose LS, Loesch D. Dermatoglyphic sole patterns: A new attempt at classification. *Human Biology*. 1969;41(3):427-48.
75. Hale AR. Morphogenesis of volar skin in the human fetus. *American Journal of Anatomy*. 1952;91(1):147-181. DOI: <https://doi.org/10.1002/aja.1000910105>
76. Okajima M. Dermal and epidermal structures of the volar skin. *Birth Defects: Original Article Series*. 1979;15(6):179-198.
77. Galton F. Personal identification and description II. *Nature*; 1888.
78. Galton F. *Finger prints*. London, United Kingdom: Macmillan and Compagny; 1892.
79. Herschel WJ. The origin of finger-printing. Milford H, editor. London, United Kingdom: Oxford University Press; 1916.
80. Cummins H. Attempts to alter and obliterate finger-prints. *Journal of Criminal Law and Criminology*. 1935;25(6):982–991. DOI: <https://doi.org/10.2307/1134845>

81. Yoon S, Feng J, Jain AK. Altered fingerprints: Analysis and detection. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2012;34(3). DOI: <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2011.161>
82. Stucker M, Geil M, Kyeck S, et al. Interpapillary lines -The variable part of the human fingerprint. *Journal of Forensic Sciences*. 2001;46(4):857-861. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS15058J>
83. Kaushal N, Kaushal P. Human identification and fingerprints: A review. *Journal of Biometrics and Biostatistics*. 2011;2. DOI: <https://doi.org/10.4172/2155-6180.1000123>
84. Cowger JF. *Friction ridge skin: Comparison and identification of fingerprints*. 1 ed. Boca Raton, FL: CRC Press; 1992.
85. Nagesh KR, Bathwal S, Ashoka B. A preliminary study of pores on epidermal ridges: Are there any sex differences and age related changes? *Journal of Forensic and Legal Medicine*. 2011;18(7):302-305. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2011.06.005>
86. Kligman AM, Zheng P, Lavker RM. The anatomy and pathogenesis of wrinkles. *British Journal of Dermatology*. 1985;113(1):37-42. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2133.1985.tb02042.x>
87. Lavker RM, Zheng P, Dong G. Morphology of aged skin. *Clinics in Geriatric Medicine*. 1989;5(1):53-67. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0749-0690\(18\)30695-5](https://doi.org/10.1016/S0749-0690(18)30695-5)
88. Federal Bureau of Investigation. Altered fingerprints: A challenge to law enforcement identification efforts: FBI Law Enforcement Bulletin; 2015 [22 november 2022]. Available from: <https://leb.fbi.gov/spotlights/forensic-spotlight-altered-fingerprints-a-challenge-to-law-enforcement-identification-efforts>
89. Haraksim R, Anthonioz A, Champod C, et al., editors. Altered fingerprint detection – Algorithm performance evaluation. 4th International Conference on Biometrics and Forensics (IWBF); 2016; Limassol, Cyprus. DOI: <https://doi.org/10.1109/IWBF.2016.7449673>
90. Caruso JL. Decomposition changes in bodies recovered from water. *Academic Forensic Pathology*. 2016;6(1):19-27. DOI: <https://doi.org/10.23907/2016.003>
91. Haglund WD, Sorg MH. Advancing forensic taphonomy: Purpose, theory, and process. In: Haglund WD, Sorg MH, editors. *Advances in forensic taphonomy: method, theory, and archaeological perspectives*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2002. p. 3-29.
92. Clark M, Worrell M, Pless J. Postmortem changes in soft tissues. In: Sorg MH, Haglund WD, editors. *Forensic taphonomy: The postmortem fate of human remains*. New York, NY: CRC Press; 1997. p. 151-160.

93. Goff ML. Early post-mortem changes and stages of decomposition in exposed cadavers. *Experimental and Applied Acarology*. 2009;49(1):21-36. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-009-9284-9>
94. Goff ML. Early postmortem changes and stages of decomposition. In: Amendt J, Goff ML, Campobasso CP, et al., editors. *Current concepts in forensic entomology*. London, United Kingdom: Springer, Dordrecht; 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9684-6_1
95. Micozzi MS. *Postmortem changes in human and animal remains: A systematic approach*. Springfield, IL: Charles C. Thomas; 1991.
96. Connor M, Baigent C, Hansen ES. Measuring desiccation using qualitative changes: A step toward determining regional decomposition sequences. *Journal of Forensic Sciences*. 2019;64(4):1004-1011. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14003>
97. Cockle DL, Bell LS. The environmental variables that impact human decomposition in terrestrially exposed contexts within Canada. *Science & Justice*. 2017;57(2):107-117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2016.11.001>
98. Megyesi MS, Nawrocki SP, Haskell NH. Using accumulated degree-days to estimate the postmortem interval from decomposed human remains. *Journal of Forensic Sciences*. 2005;50(3):618-26. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS2004017>
99. Payne JA. A summer carrion study of the baby pig *Sus Scrofa* Linnaeus. *Ecology*. 1965;46(5):592-602. DOI: <https://doi.org/10.2307/1934999>
100. Gill-King H. Chemical and ultrastructural aspects of decomposition. In: Haglund WD, Sorg MH, editors. *Forensic taphonomy: The postmortem fate of human remains*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1997. p. 93-108.
101. Galloway A, Birkby WH, Jones AM, et al. Decay rates of human remains in an arid environment. *Journal of Forensic Science*. 1989;34(3):607-616. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS12680J>
102. Lord WD, Goff ML. Forensic entomology: Application of entomological methods to the investigation of death. In: Froede RC, editor. *Handbook of forensic pathology*. 2nd ed. Illinois, IL: College of American Pathologists; 2003.
103. Maisonhaute J-É, Forbes SL. Decomposition and insect succession on human cadavers in a humid, continental (Dfb) climate (Quebec, Canada). *International Journal of Legal Medicine*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02903-0>
104. Schotsmans EM, Van de Voorde W, De Winne J, et al. The impact of shallow burial on differential decomposition to the body: A temperate case study. *Forensic Science International*. 2011;206(1-3):e43-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.07.036>
105. Vass AA. Beyond the grave - Understanding human decomposition. *Microbiology today*. 2001;28:190-193.

106. Forbes SL. Decomposition chemistry in a burial environment. In: Tibbett M, Carter DO, editors. *Soil analysis in forensic taphonomy: Chemical and biological effects of buried human remains*. Boca Raton, FL: CRC Press; 2008. p. 203-223.
107. Gebhart FTF, Brogdon BG, Zech W-D, et al. Gas at postmortem computed tomography – An evaluation of 73 non-putrefied trauma and non-trauma cases. *Forensic Science International*. 2012;222(1):162-169. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.05.020>
108. Sharanowski BJ, Walker EG, Anderson GS. Insect succession and decomposition patterns on shaded and sunlit carrion in Saskatchewan in three different seasons. *Forensic Science International*. 2008;179(2):219-240. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2008.05.019>
109. Forbes SL, Perrault KA, Comstock JL. Microscopic post-mortem changes: The chemistry of decomposition. In: Schotsmans EMJ, Márquez-Grant N, Forbes SL, editors. *Taphonomy of human remains: Forensic analysis of the dead and the depositional environment*: John Wiley & Sons; 2017. p. 26-38. DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118953358.ch2>
110. Nolan AND, Mead RJ, Maker G, et al. A review of the biochemical products produced during mammalian decomposition with the purpose of determining the post-mortem interval. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2020;52(4):477-488. DOI: <https://doi.org/10.1080/00450618.2019.1589571>
111. Hamilton SJ, Green MA. Gross post-mortem changes in the human body. In: Schotsmans EMJ, Márquez-Grant N, Forbes SL, editors. *Taphonomy of human remains: Forensic analysis of the dead and the depositional*: John Wiley & Sons; 2017. p. 9-25.
112. Cockle DL. Human decomposition and the factors that affect it: A retrospective study of death scenes in Canada [Thesis]. British Columbia, Canada: Université Simon Fraser; 2013.
113. Ribéreau-Gayon A. The biological decomposition process of human corpses in marine environments and its potential to estimate the postmortem submersion interval [Thesis]. London, United Kingdom: University College London; 2019.
114. Ferreira MT, Cunha E. Can we infer post mortem interval on the basis of decomposition rate? A case from a Portuguese cemetery. *Forensic Science International*. 2013;226(1-3):298.e1-6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.01.006>
115. Matuszewski S, Konwerski S, Frątczak K, et al. Effect of body mass and clothing on decomposition of pig carcasses. *International Journal of Legal Medicine*. 2014;128(6):1039-1048. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-014-0965-5>
116. Spicka A, Johnson R, Bushing J, et al. Carcass mass can influence rate of decomposition and release of ninhydrin-reactive nitrogen into gravesoil. *Forensic Science International*. 2011;209(1):80-85. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.01.002>
117. Simmons T, Cross PA, Adlam RE, et al. The influence of insects on decomposition rate in buried and surface remains. *Journal of Forensic Sciences*. 2010;55(4):889-892. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2010.01402.x>

118. O'Brien CR, Appleton AJ, Forbes SL. Comparison of taphonomic progression due to the necrophagic activity of geographically disparate scavenging guilds. *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 2017;50(1):42-53. DOI: <https://doi.org/10.1080/00085030.2017.1260894>
119. Micozzi M. Frozen environments and soft tissue preservation. In: Haglund WD, Sorg MH, editor. *Forensic taphonomy: The postmortem fate of human remains*. Boca Raton, FL: CRC Press; 1997. p. 171-180.
120. Vass AA, Barshick SA, Sega G, et al. Decomposition chemistry of human remains: A new methodology for determining the postmortem interval. *Journal of Forensic Science*. 2002;47(3):542-553. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS15294J>
121. Séguin K, Durand-Guévin A, Lavallée C, et al. The taphonomic impact of scavenger guilds in southern Quebec during summer and fall in two distinct habitats. *Journal of Forensic Sciences*. 2022;67(2):460-470. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14929>
122. Pecsí EL, Bronchti G, Crispino F, et al. Perspectives on the establishment of a canadian human taphonomic facility: The experience of REST[ES]. *Forensic Science International: Synergy*. 2020;2:287-292. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.09.001>
123. Forbes SL. Body farms. *Forensic Science, Medicine and Pathology*. 2017;13(4):477-479. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-017-9924-z>
124. Kottek M, Grieser J, Beck C, et al. World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*. 2006;15(3):259–263. DOI: <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>
125. Peel MC, Finlayson BL, McMahon TA. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2007;11(5):1633-1644. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-11-1633-2007>
126. Komar DA. Decay rates in a cold climate region: A review of cases involving advanced decomposition from the medical examiner's office in Edmonton, Alberta. *Journal of Forensic Sciences*. 1998;43(1):57-61. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS16090J>
127. Hobischak NR, Anderson GS. Freshwater-related death investigations in British Columbia in 1995–1996. A review of coroners cases. *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 1999;32(2-3):97-106. DOI: <https://doi.org/10.1080/00085030.1999.10757492>
128. Petrik MS, Hobischak NR, Anderson GS. Examination of factors surrounding human decomposition in freshwater: A review of body recoveries and coroner cases in British Columbia. *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 2004;37(1):9-17. DOI: <https://doi.org/10.1080/00085030.2004.10757565>
129. Cockle DL, Bell LS. Human decomposition and the reliability of a ‘Universal’ model for post mortem interval estimations. *Forensic Science International*. 2015;253:136.e1-136.e9. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.05.018>

130. Anderson GS, Hobischak NR. Decomposition of carrion in the marine environment in British Columbia, Canada. *International Journal of Legal Medicine*. 2004;118(4):206-209. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-004-0447-2>
131. Anderson GS, Vanlaerhoven SL. Initial studies on insect succession on carrion in Southwestern British Columbia. *Journal of Forensic Sciences*. 1996;41(4):617-625. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS13964J>
132. Maisonhaute J-É, Forbes SL. Decomposition process and arthropod succession on pig carcasses in Quebec (Canada). *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 2021;54(1):1-26. DOI: <https://doi.org/10.1080/00085030.2020.1820799>
133. Hobischak NR, VanLaerhoven SL, Anderson GS. Successional patterns of diversity in insect fauna on carrion in sun and shade in the Boreal Forest Region of Canada, near Edmonton, Alberta. *The Canadian Entomologist*. 2006;138(3):376-383. DOI: <https://doi.org/10.4039/n04-086>
134. Bygarski K, LeBlanc HN. Decomposition and arthropod succession in Whitehorse, Yukon territory, Canada, Canada. *Journal of Forensic Sciences*. 2013;58(2):413-418. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12032>
135. Ribéreau-Gayon A, Carter DO, Forbes SL. Developing a new scoring method to evaluate human decomposition in a humid, continental (Dfb) climate in Quebec. *Journal of Forensic Sciences*. 2023(0):1-13. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15201>
136. Makristathis A, Schwarzmeier J, Mader RM, et al. Fatty acid composition and preservation of the Tyrolean Iceman and other mummies. *Journal of Lipid Research*. 2002;43(12):2056-2061. DOI: <https://doi.org/10.1194/jlr.M100424-JLR200>
137. Pinheiro J. Decay process of a cadaver. In: Schmitt A, Cunha E, Pinheiro J, editors. *Forensic anthropology and medicine: Complementary sciences from recovery to cause of death*. New Jersey, NJ: Humana Press; 2006. p. 85-116. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-1-59745-099-7>
138. Richardson L, Kade H. Readable fingerprints from mummified or putrefied specimens. *Journal of Forensic Sciences*. 1972;17(2):325-328. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS10686J>
139. Vanderkolk JR. ACE+V: A model. *Journal of Forensic Identification*. 2004;54(1):45-52.
140. Vanderkolk JR. Examination Process. In: Holder EH, Robinson LO, Laub JH, editors. *The fingerprint sourcebook*. Washington, WA: National Institute of Justice; 2011. p. 1-26.
141. Henry ER. *Classification and uses of finger prints*. 4th ed. London, United Kingdom: George Routledge and Sons; 1900.
142. Vucetich J. *Dactiloscopia comparada. El nuevo sistema argentino*. La Plata, Argentina: Jacobo Peuser; 1904.

143. Brewer SB. ACE-V Examination method training manual [Memoire]. Sacramento, CA: California State University; 2014.
144. Olsen RD. Friction ridge characteristics and points of identity: An unresolved dichotomy of terms. *Journal of Forensic Identification*. 1981;41(3):195-197.
145. Ashbaugh DR. Ridgeology-modern evaluative friction ridge identification. In: *Forensic Identification Support Section, editor. Fingerprint whorld*. Canada: Royal Canadian Mounted Police; 1991. p. 14-16.
146. Ashbaugh DR. Palmar flexion crease identification. *Journal of Forensic Identification*. 1991;41:255-273.
147. Anthonioz A, Egli N, Champod C, et al. Investigation of the reproducibility of third-level characteristics. *Journal of Forensic Identification*. 2011;61(2):171-192.
148. Federal Bureau of Investigation. *The science of fingerprints: Classification and uses*. Washington; WA: U.S. Department of Justice, Federal Bureau of Investigation; 1984. p.131-159
149. Locard E. La preuve judiciaire par les empreintes digitales. *Archives d'anthropologie criminelle, de médecine légale et de psychologie normale et pathologique*. 1914;29(145):321-348.
150. Anthonioz A, Egli N, Champod C, et al. Level 3 details and their role in fingerprint identification: A survey among practitioners. *Journal of Forensic Identification*. 2008;58(5):562-589.
151. Triplett M, Cooney L. The etiology of ACE-V and its proper use: An exploration of the relationship between ACE-V and the scientific method of hypothesis testing. *Journal of Forensic Identification*. 2006;56(3):345-355.
152. Speckels C. Can ACE-V Be Validated ? *Journal of Forensic Identification*. 2011;6(3):201-209.
153. Cook R, Evett I, Jackson GR, et al. A model for case assessment and interpretation. *Science and Justice*. 1998;38(3):151-156.
154. Langenberg G. A performance study of the ACE-V process: A pilot study to measure the accuracy, precision, reproducibility, repeatability, and biasability of conclusions resulting from the ACE-V process. *Journal of Forensic Identification*. 2009;59(2):219-257.
155. Schiffer B, Champod C. The potential (negative) influence of observational biases at the analysis stage of fingerprint individualisation. *Forensic Science International*. 2007;167(2-3):116-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.06.036>

156. Dror IE, Champod C, Langenburg G, et al. Cognitive issues in fingerprint analysis: Inter- and intra-expert consistency and the effect of a ‘target’ comparison. *Forensic Science International*. 2011;208(1-3):10-17. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.10.013>
157. Ulery BT, Hicklin AR, Roberts MA, et al. Changes in latent fingerprint examiners’ markup between analysis and comparison. *Forensic Science International*. 2015;247:54-61. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.11.021>
158. National Research Council. *Strengthening forensic science in the United States: A path forward*. Washington, WA: National Academies Press; 2009. p. 328.
159. Champod C, Chamberlain P. Fingerprints. In: Fraser J, Williams R, editors. *Handbook of forensic science*. London; United Kingdom: Routledge; 2009. p. 57-83.
160. Cole SA. Forensics without uniqueness, conclusions without individualization: the new epistemology of forensic identification. *Law, probability and risk*. 2009;8(3):233-255. DOI: <https://doi.org/10.1093/lpr/mgp016>
161. Neumann C, Champod C, Genessay T, et al. Improving the understanding and the reliability of the concept of ‘sufficiency’ in friction ridge examination: Fundamental research to improve understanding of the accuracy, reliability, and measurement validity of forensic science disciplines. National Institute of Justice Report. Washington WA:2013.
162. Neumann C, Champod C, Puch-Solis R, et al. Computation of likelihood ratios in fingerprint identification for configurations of any number of minutiae. *Journal of Forensic Sciences*. 2006;52(6):1255-1266. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00266.x>
163. Neumann C, Champod C, Puch-Solis R, et al. Computation of likelihood ratios in fingerprint identification for configurations of any number of minutiae. *Journal of Forensic Sciences*. 2007;52(1):54-64. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00327.x>
164. Adam C. *Forensic evidence in court: Evaluation and scientific opinion*. West Sussex, United Kingdom: John Wiley & Sons; 2016.
165. Champod C. Fingerprint identification: Advances since the 2009 National Research Council report. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2015;370(1674):20140259. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2014.0259>
166. Black JP. Is There a Need for 100 % Verification (Review) of Latent Print Examination Conclusions? *Journal of Forensic Identification*. 2012;62(1):80-100.
167. Cook R, Evett IW, Jackson G, et al. A hierarchy of propositions: deciding which level to address in casework. *Science & Justice*. 1998;38(4):231-239. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(98\)72117-3](https://doi.org/10.1016/S1355-0306(98)72117-3)
168. Cook R, Evett IW, Jackson G, et al. Case pre-assessment and review in a two-way transfer case. *Science & Justice*. 1999;39(2):103-111. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(99\)72028-9](https://doi.org/10.1016/S1355-0306(99)72028-9)

169. Evett IW, Jackson G, Lambert JA. More on the hierarchy of propositions: exploring the distinction between explanations and propositions. *Science & Justice*. 2000;40(1):3-10. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(00\)71926-5](https://doi.org/10.1016/S1355-0306(00)71926-5)
170. Edmond G, Thompson MB, Tangen JM. A guide to interpreting forensic testimony: scientific approaches to fingerprint evidence. *Law, Probability and Risk*. 2013;13(1):1-25. DOI: <https://doi.org/10.1093/lpr/mgt011>
171. Cole SA. Individualization is dead, long live individualization! Reforms of reporting practices for fingerprint analysis in the United States. *Law, Probability and Risk*. 2014;13(2):117-150. DOI: <https://doi.org/10.1093/lpr/mgt014>
172. Crispino F, Muehlethaler C, Cadola L. Vraisemblable n'est pas probable. De la nécessité d'une sémantique rigoureuse entre scientifiques et juristes. *Revue canadienne de justice et droit* 95. 2020;2(1):95-102.
173. De Finetti B. Bayesianism: Its Unifying Role for Both the Foundations and Applications of Statistics. *International Statistical Review*. 1974;42(2):117-130. DOI: <https://doi.org/10.2307/1403075>
174. Aitken CGG, Taroni F. *Statistics and the evaluation of evidence for forensic scientists*. 2nd ed. Barnett V, editor. Chichester, United Kingdom: John Wiley & Sons; 2004.
175. Taroni F, Champod C, Margot P. Forerunners of Bayesianism in Early Forensic Science. *Jurimetrics Journal*. 1998;38(2):183-200.
176. Finkelstein MO, Fairley WB. A Bayesian Approach to Identification Evidence. *Harvard Law Review*. 1970;83(3):489-517. DOI: <https://doi.org/10.2307/1339656>
177. Willis S, Kenna L, Dermott S, et al. ENFSI guideline for evaluative reporting in forensic science. 2015.
178. Champod C, Evett IW. Evidence interpretation: A logical approach. *Wiley Encyclopedia of Forensic Science*. Vol. 2: Jamieson, A., Moenssens, A.; 2009. p. 968-976. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470061589.fsa122>
179. Stoney DA. *Quantitative assessment of fingerprint individuality [Thesis]*. Berkeley, CA: University of California, Berkeley; 1985.
180. Rice KA. Printing of the underside of the epidermal surface of decomposed fingers. *Journal of Forensic Identification*. 1988;38(3):98-100.
181. Haglund WD. A technique to enhance fingerprinting of mummified fingers. *Journal of Forensic Sciences*. 1988;33(5):1244-1248. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS12559J>

182. Marais AAS, Dool AH. Rehydration and restoration of fingerprint ridge detail in mummified post-mortem tissue: Literature review and investigation of a simplified formulation. *Journal of Forensic Sciences*. 2021;66:2252-2260. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14795>
183. Bass WM. Outdoor decomposition rates in Tennessee. In: Haglund W. D., Sorg MH, editors. *Forensic taphonomy: the postmortem fate of human remains*. Boca Raton, FL: Taylor & Francis; 1996. p. 181-186. DOI: <https://doi.org/10.1201/9781439821923.CH12>
184. Comstock JL, Desaulniers JP, LeBlanc HN, et al. New decomposition stages to describe scenarios involving the partial and complete exclusion of insects. *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 2015;48(1):1-19. DOI: <https://doi.org/10.1080/00085030.2014.929850>
185. Rodriguez WC, Bass WM. Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. *Journal of Forensic Sciences*. 1985;30(3):836-52. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS11017J>
186. Cook S. The use of embalming fluids in the restoration of mummified fingers. *Journal of Forensic Identification*. 1996;46(5):529-541.
187. Principe AH, Verbeke DJ. Fingerprinting of the deceased by the dusting-tape method. *The Journal of Criminal Law, Criminology, and Police Science*. 1972;63(3):439-443. DOI: <https://doi.org/10.2307/1142072>
188. Rice KA. Re-hydration and printing of mummified fingers. *Journal of Forensic Identification*. 1988;38(4):152-156.
189. Ast FW, Kernbach-Wightton G, Kampmann H, et al. Fatal aviation accidents in Lower Saxony from 1979 to 1996. *Forensic Science International*. 2001;119(1):68-71. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(00\)00398-4](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(00)00398-4)
190. Introna F, Di Vella G, Campobasso CP. Migrant deaths and the Kater Radez I wreck: from recovery of the relict to marine taphonomic findings and identification of the victims. *International Journal of Legal Medicine*. 2013;127(4):871-879. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-012-0807-2>
191. Kahana T, Almog J, Levy J, et al. Marine taphonomy: Adipocere formation in a series of bodies recovered from a single shipwreck. *Journal of Forensic Science*. 1999;44(5):897-901. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS12012J>
192. Mundorff AZ. Integrating forensic anthropology into disaster victim identification. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2012;8(2):131-139. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-011-9275-0>

193. Ribéreau-Gayon A, Rando C, Schuliar Y, et al. Extensive unusual lesions on a large number of immersed human victims found to be from cookiecutter sharks (*Isistius* spp.): An examination of the Yemania plane crash. *International Journal of Legal Medicine*. 2017;131(2):423-432. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-016-1449-6>
194. Schuliar Y, Knudsen PJT. Role of forensic pathologists in mass disasters. *Forensic Science, Medicine, and Pathology*. 2012;8(2):164-173. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-011-9300-3>
195. Vidoli GM, Mundorff AZ. Victim fragmentation patterns and seat location supplements crash data: American Airlines flight 587. *Aviation, space, and environmental medicine*. 2012;83(4):412-417. DOI: <https://doi.org/10.3357/ASEM.3155.2012>
196. Government of Quebec, Ministry of the Environment and the Fight against Climate Change. Climatic data; Climate data summary 2022 [8 September 2022]. Available from: <https://environnement.gouv.qc.ca/climat/donnees/OQcarte.asp>
197. Government of Quebec, Ministry of Labour, Employment and Social Solidarity. Civil Code of Quebec, CQLR CCQ-1991, c. 64, a. 42; I.N. 2014-05-01, c. 4, s. 6 2016 [15 October 2021]. Available from: <http://legisquebec.gouv.qc.ca/en/showdoc/cs/ccq-1991>
198. Government of Quebec, Ministry of Labour, Employment and Social Solidarity. Act Respecting Medical Laboratories and Organ and Tissue Conservation, Chapter L-0.2 2001 [15 October 2021]. Available from: <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/en/document/cs/l-0.2>
199. Government of Quebec, Ministry of Labour, Employment and Social Solidarity. Public Health Act, Chapter S-2.2 2001 [15 October 2021]. Available from: <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/en/document/cs/s-2.2>
200. Forbes SL, Samson C, Watson CJ. Seasonal impact of scavenger guilds as taphonomic agents in central and northern Ontario, Canada. *Journal of Forensic Sciences*. 2022;67(6):2203-2217. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15122>.
201. Knobel Z, Ueland M, Nizio KD, et al. A comparison of human and pig decomposition rates and odour profiles in an Australian environment. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2019;51(5):557-572. DOI: <https://doi.org/10.1080/00450618.2018.1439100>
202. Dabbs GR, Bytheway JA, Connor M. Comparing the scoring of human decomposition from digital images to scoring using on-site observations. *Journal of Forensic Sciences*. 2017;62(5):1292-1296. DOI: <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13409>
203. Ribéreau-Gayon A, Rando C, Morgan RM, et al. The suitability of visual taphonomic methods for digital photographs: An experimental approach with pig carcasses in a tropical climate. *Science & Justice*. 2018;58(3):167-176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2017.12.001>

204. Zahari F, Harun A, Nasrijal NMH. A systematic literature review on the usage of digital photography at crime scene investigation process. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*. 2022;13(6):2061-2069. DOI: <https://doi.org/10.47750/pnr.2022.13.S06.269>
205. Bunch AW. The impact of cold climate on the decomposition process. *Journal of Forensic Identification*. 2009;59(1):26-44.
206. Gaudio D, De Luca L, Cirielli V, et al. Postmortem analysis of WWI human remains from Italian glaciers in rare environmental conditions. *Archaeological and Anthropological Sciences*. 2019;11(6):2569-2580. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12520-018-0691-x>
207. Prieto JL, Magaña C, Ubelaker DH. Interpretation of postmortem change in cadavers in Spain. *Journal of Forensic Sciences*. 2004;49(5):918-23. DOI: <https://doi.org/10.1520/JFS2003337>
208. Miller RD. Recovery of usable fingerprint patterns from damaged postmortem friction ridge skin. *Journal of Forensic Identification*. 1995;45(6):602-605.
209. Knaap W, Turner J, Gallant A, et al. Fingerprinting a 2,500-year-old egyptian mummy. *Journal of Forensic Identification*. 2011;61:4-15.
210. Porta D, Maldarella M, Grandi M, et al. A new method of reproduction of fingerprints from corpses in a bad state of preservation using latex. *Journal of Forensic Sciences*. 2007;52(6):1319-1321. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2007.00557.x>
211. Sears VG, Bleay SM, Bandey HL, et al. A methodology for finger mark research. *Science & Justice*. 2012;52(3):145-160. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2011.10.006>
212. Iancu L, Carter DO, Junkins EN, et al. Using bacterial and necrophagous insect dynamics for post-mortem interval estimation during cold season: Novel case study in Romania. *Forensic Science International*. 2015 Sep;254:106-17. DOI : <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.07.024>
213. Lam R, Wilkinson D, Tse T, et al. Recommended protocols for fingerprint detection on Canadian polymer banknotes-Part I: Chemical development. *Journal of Forensic Identification*. 2014;64(4):375-401.
214. Chadwick S, Moret S, Jayashanka N, et al. Investigation of some of the factors influencing fingermark detection. *Forensic Science International*. 2018;289:381-389. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.06.014>
215. Fairley C, Bleay SM, Sears VG, et al. A comparison of multi-metal deposition processes utilising gold nanoparticles and an evaluation of their application to 'low yield' surfaces for finger mark development. *Forensic Science International*. 2012;217(1-3):5-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.09.018>

216. Bandey HL, Gibson AP. The Powders process, study 2: Evaluation of fingerprint powders on smooth surfaces. HOSDB Fingerprint Development and Imaging Newsletter. 2006;Publication No. 08/06:1-16.
217. Becue A, Moret S, Champod C, et al. Use of quantum dots in aqueous solution to detect blood fingerprints on non-porous surfaces. *Forensic Science International*. 2009;191(1):36-41. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.06.005>
218. Jackson G, Jones PJ. Case Assessment and Interpretation. In: Jamieson A, Moenssens A, editors. *Wiley encyclopedia of forensic science*; 2009. p. 483-496. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470061589.fsa124>
219. Hernandez G, Hess GL. Rehydrating mummified hands: The pima county experience. *Academic Forensic Pathology*. 2014;4(1):114-117. DOI: <https://doi.org/10.23907/2014.019>.
220. Yager N, Amin A. Fingerprint classification: A review. *Pattern Analysis and Applications*. 2004;7(1):77-93. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10044-004-0204-7>

Annexe A

Table A1. – Les méthodes de restauration des empreintes papillaires en fonction de l'état du corps et la couche de peau ciblée dans la littérature publiée. ¹Dans la colonne de l'état du corps, D signifie décomposition avancée et M signifie momification.

Méthodes de restauration	État du corps ¹	Couche de la peau ciblée	Références
Méthode du gant de peau	D	Épiderme	Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3] Mulawka (2014) [7] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Khoo <i>et al.</i> (2016) [11] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Knobel (2005) [36] Miller (1995) [208]
		Derme	Mulawka (2014) [7] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Kim <i>et al.</i> (2009) [10] Uhle and Leas (2007) [44] Miller (1995) [208]
Injection sous-cutanée	D	Épiderme	Glycérine/eau Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3] Czubak <i>et al.</i> (2015) [6] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Miller (1995) [208]
		Derme	M Gahr <i>et al.</i> (2013) [5] Mulawka (2014) [7] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Miller (1995) [208]
			Solution saline Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3]
Réhydratation	D	Épiderme	Agents d'embaumement Iwakami <i>et al.</i> (2013) [23] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31] Haglund (1988) [181] Cook (1996) [186]
		Derme	M Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Zugibe and Costello (1986) [32] Schuliar <i>et al.</i> (2000) [42]

Formaldéhyde	Cutro (2011) [4] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31] Miller (1995) [208]
Éthanol	Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31]
Hydroxyde de sodium	Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3] Cutro (2011) [4] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Iwakami <i>et al.</i> (2013) [23] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31] Rice (1988) [188] Hernandez and Hess (2014) [219]
Hydroxyde d'ammonium	Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31] Chen <i>et al.</i> (2017) [33]
Hydroxyde de potassium	Cutro (2011) [4] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31] Chen <i>et al.</i> (2017) [33]
Urée	Chen <i>et al.</i> (2017) [33]
Carbonate de sodium	Mulawka (2014) [7] Iwakami <i>et al.</i> (2013) [23] Chen <i>et al.</i> (2017) [33] Schmidt <i>et al.</i> (2000) [41]
Eau chaude du robinet	Fields and Molina (2008) [13] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Chen <i>et al.</i> (2017) [33]

Table A2. – Les méthodes prélèvement des empreintes papillaires en fonction de l'état du corps et la couche de peau ciblée dans la littérature publiée. ¹Dans la colonne de l'état du corps, D signifie décomposition avancée, CD signifie en commencement de décomposition, M signifie momification et AR signifie après restauration.

Méthodes de prélèvement		État du corps ¹	Couche de la peau ciblée	Références	
Photographie sous divers éclairages		D	Épiderme	Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3] Cutro (2011) [4] Mulawka (2014) [7] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31]	
		M	Derme	Chen <i>et al.</i> (2017) [33] Morgan <i>et al.</i> (2019) [38] Saviano (2000) [40] Tomboc and Schrader (2005) [43] Modeste and Anderson (2009) [45] Rice (1988) [180] Principe and Verbeke (1972) [187] Miller (1995) [208]	
	Lecteur portable automatique		D	Épiderme	Mulawka (2014) [7] Johnson and Reimen (2019) [12]
			M		Bolme <i>et al.</i> (2016) [14] Rutty <i>et al.</i> (2008) [39]
	Encrage Encre dactyloscopique		CD	Épiderme Derme	Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3] Cutro (2011) [4] Czubak <i>et al.</i> (2015) [6] Mulawka (2014) [7] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Khoo <i>et al.</i> (2016) [11] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Iwakami <i>et al.</i> (2013) [23] Kahana <i>et al.</i> (2001) [31] Chen <i>et al.</i> (2017) [33] Schmidt <i>et al.</i> (2000) [41] Schuliar <i>et al.</i> (2000) [42] Rice (1988) [180]
			AR		

				Haglund (1988) [181] Miller (1995) [208] Porta <i>et al.</i> (2007) [210]
Poudrage	Poudre dactyloscopique	CD AR	Épiderme Derme	Czubak <i>et al.</i> (2015) [6] Mulawka (2014) [7] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Morgan <i>et al.</i> (2018) [37] Tomboc and Schrader (2005) [43] Uhle and Leas (2007) [44] Modeste and Anderson (2009) [45] Rice (1988) [180] Principe and Verbeke (1972) [187]
	Poudre de bébé			Morgan <i>et al.</i> (2019) [38]
Moulage	Silicone	CD AR	Épiderme Derme	Cutro (2011) [4] Mulawka (2014) [7] Fieldhouse and Stow (2016) [9] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Iwakami <i>et al.</i> (2013) [23] Tomboc and Schrader (2005) [43] Knaap <i>et al.</i> (2011) [209]
	Latex			Cattaneo <i>et al.</i> (2006) [3] Wójcik <i>et al.</i> (2014) [15] Porta <i>et al.</i> (2007) [210]
	Pâte à modeler			Kahana <i>et al.</i> (2001) [31] Saviano (2000) [40]

Annexe B

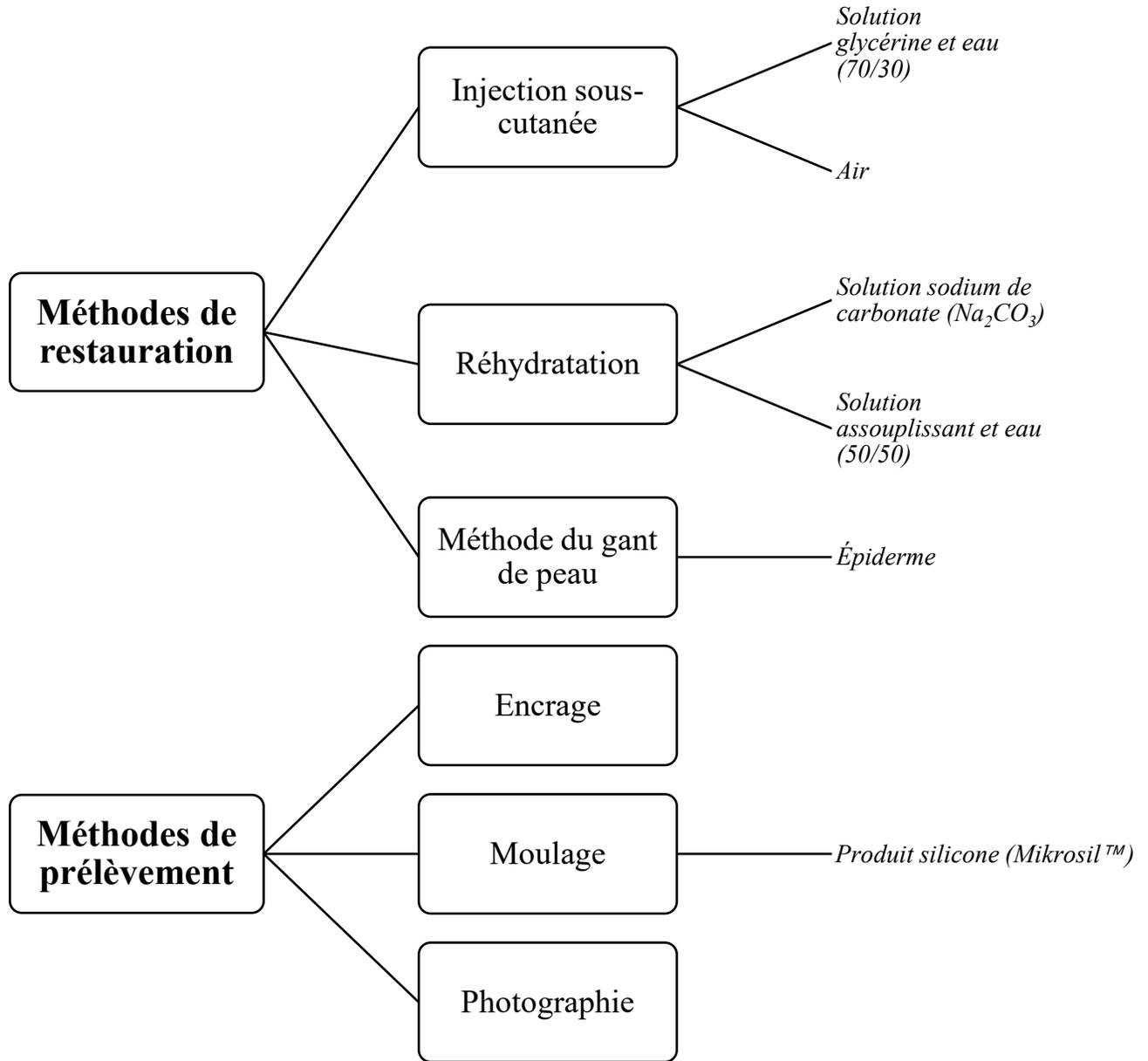


Figure B1. – Les méthodes de restauration et de prélèvement expérimentées dans la présente recherche.

Annexe C

Table C1. – Définition et illustrations des trois dessins généraux principaux présent dans la littérature et caractérisant le niveau 1 d'informations des traces/empreintes papillaires.

Dessin général	Définition [9,21,220]	Illustrations [148]
Boucle	<p>Lorsqu'une ou plusieurs crêtes papillaires entrent dans la zone papillaire d'un côté vers le noyau, se recourbent sur elles-mêmes et sortent de la zone papillaire du même côté d'où elles proviennent (minimum d'une crête papillaire).</p> <p>Elle contient un delta.</p> <p>Lorsqu'elles s'inclinent vers la droite sur la main droite, il s'agit d'une boucle ulnaire (<i>idem</i> pour une boucle à gauche sur la main gauche).</p> <p>Lorsqu'elles s'inclinent vers la droite sur la main gauche, il s'agit d'une boucle radiale (<i>idem</i> pour une boucle à gauche sur la main droite).</p>	<div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Figure C1. – Représentation d'un dessin papillaire de type boucle à gauche.</p> <div style="text-align: center;">  </div> <p style="text-align: center;">Figure C2. – Représentation d'un dessin papillaire de type boucle à droite.</p>

Verticille

Lorsqu'il y a une formation de crêtes papillaires où une ou plusieurs crêtes forment au moins un circuit complet de 360°.

Il contient un minimum de deux deltas.

Il existe de différents types de verticille, qui doivent tous au moins se conformer à la définition de base. Ils apparaissent assez différents des uns des autres.

Des exemples de différents types de verticille comprennent les verticilles simples, boucle à poche centrale, boucle jumelée (double boucle), à poche latérale, composites et verticilles accidentels.



Figure C3. – Représentation d'un dessin papillaire de type verticille simple.



Figure C4. – Représentation d'un dessin papillaire de type boucle jumelée.

Arc

Lorsque les crêtes papillaires entrent d'un côté de la zone papillaire, se courbent légèrement vers le centre et sortent du côté opposé de la zone papillaire.

Il ne contient ni deltas ni noyaux identifiables.

Différents types d'arc peuvent inclure simple, en tente et approximatif.



Figure C5. – Représentation d'un dessin papillaire de type arc simple.



Figure C6. – Représentation d'un dessin papillaire de type arc en tente.

Annexe D

Table D1. – Informations médicales reliées aux quatre donneurs pour les essais été et automne/hiver.

Trial	Donneur	Âge	Sexe	Poids (kg)	Taille (cm)	IMC	Cause du décès	Prise de traitements médicamenteux	Présence de plaies/blessures <i>perimortem</i>
Été	1	91	M	80	170	27,6	Cancer métastatique du poumon et de la prostate	Non disponible	Aucune
	2	93	F	60	153	25,6	Déconditionnement [sédentarité] et démence	Synthroid® et médicament pour dormir	Thrombose membre inférieur probable
Automne/hiver	3	54	M	44	163	16,5	Cancer pulmonaire avec métastases	Non disponible	Aucune
	4	73	F	60	155	24,9	Néoplasie pulmonaire	Venlafaxine XR, Alendronate	Aucune

Annexe E

Table E1. – Résultats obtenus des restaurations et des prélèvements réalisés pour les quatre donneurs lors des deux essais expérimentaux. ¹Dans la colonne doigts, G signifie gauche et D signifie droit. ²Dans la colonne de la méthode de restauration, R signifie réhydratation et I signifie injection sous-cutanée. ³Dans la colonne résultats, EP signifie empreinte papillaire.

Essais	Donneur	État de décomposition des doigts	Doigts ¹	Méthode de restauration ²	Méthode de prélèvement	Résultat ³
Été	1	Épiderme absent, laissant le derme exposé et desséché	Pouce G	R avec carbonate de sodium	Moulage & photographie	EP non observée
			Index G			
	Majeur G					
	Annulaire G					
			Pouce D	R avec assouplissant/ eau	Photographie	
			Index D			
			Majeur D			
			Annulaire D			
			Auriculaire D			
	2	Épiderme absent, laissant le derme exposé et flexible	Pouce G	I avec air	Moulage & photographie	EP non observée
Index G						
Majeur G						
Annulaire G						
			Auriculaire G			
			Pouce D	Aucune		
			Index D			
			Majeur D			
			Annulaire D			
			Auriculaire D			

Automne/hiver	3	Épiderme présent et flexible, avec début d'exposition du derme	Pouce G	R avec assouplissant/ eau	Encrage & photographie	EP non observée
			Index G	Gant de peau & R avec assouplissant/ eau	Photographie	EP exploitable
			Majeur G	R avec assouplissant/ eau		EP observée
			Annulaire G	R avec carbonate de sodium	Encrage & photographie	EP non observée
			Auriculaire G	R avec assouplissant/ eau		
		Pouce D	Aucune	Moulage & photographie	EP observée	
		Index D				
		Majeur D				
		Annulaire D				
		Auriculaire D				
	4	Épiderme absent, laissant le derme exposé et flexible	Pouce G	R avec carbonate de sodium	Photographie	EP non observée
			Index G	R avec assouplissant/ eau	Moulage & photographie	EP observée
			Majeur G			
			Annulaire G	R avec assouplissant/ eau & I avec air	Photographie	EP observée
Auriculaire G						
Pouce D			R avec carbonate de sodium	Moulage & photographie	EP non observée	
Index D			R avec carbonate de sodium & I avec glycérine/eau	Encrage & photographie	EP observée	
Majeur D			R avec assouplissant/ eau & I avec glycérine/eau	Moulage & photographie	EP observée	
Annulaire D	Auriculaire D	Manquant	Manquant			