

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES

**Recherche exploratoire : La fiabilité et les limites de l'accréditation dans le domaine de
l'analyse des traces de sang**

**MÉMOIRE PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE DE LA
MAÎTRISE EN SCIENCE FORENSIQUE**

**PAR
LAURENCE FILIATRAULT**

MARS 2025

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À TROIS-RIVIÈRES
MAITRISE EN SCIENCE FORENSIQUE

Direction de recherche :

Frank Crispino

directeur de recherche

Jury d'évaluation

Denis Werner

membre de jury

Daniel Attinger

membre de jury

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.

Résumé

Apparue à la fin du XIX^e siècle, l'analyse morphologique des traces de sang est aujourd'hui une discipline disposant d'associations de praticiens et de procédures formalisées, visant à reconstruire la dynamique d'une scène sanglante au profit du décideur de fait. Pour autant, la fiabilité des conclusions des experts en traces de sang est questionnée. Les rapports NAS [*National Academy of Sciences*] (US National Research Council, 2009) et Hart House (Pollanen et al., 2013) vont même jusqu'à qualifier la discipline de pseudoscience (*junk science*). Parmi leurs recommandations, ils soutiennent la mise en place de certifications des praticiens et d'accréditation des laboratoires pour pallier ces critiques, principale voie suivie par ces institutions et professionnels.

Pour autant, peu d'études se sont intéressées aux effets des processus d'assurance qualité, plus spécifiquement à l'accréditation et à la certification dans le domaine de l'analyse des traces de sang. Un questionnaire en ligne anglais et français a été transmis à différentes associations, laboratoires et regroupements de science forensique qui l'ont diffusé à la communauté des analystes en traces de sang. En l'espace de 5 mois, 165 connexions aux sondages ont été répertoriées avec 17 questionnaires exploitables. Ces réponses des participants ont été analysées qualitativement, selon trois axes factorisés par leurs années d'expérience et leur profession.

Concomitamment, nonobstant les biais cognitifs présents lors des expertises de traces de sang relevés par Laber et al. (2014), une fouille des données mises à disposition lors d'une *black box study* de Hicklin et al. (2021) nous a permis d'explorer la force probante des classifications de patrons de traces de sang.

La présente recherche exploratoire vise à mieux comprendre la perception qu'ont les praticiens des processus d'assurance qualité en analyse des traces de sang et son impact sur la fiabilité des conclusions expertales, confrontées aux données empiriques disponibles.

Mots-clés : Trace ; Rapport de vraisemblance ; Analyses des traces de sang ; Assurance Qualité ; Accréditation ; Certification.

Abstract

Bloodstain Pattern Analysis (BPA) emerged at the end of the 19th century and has since become a well-established field with recognized practitioner associations and standardised procedures. The aim being to reconstruct the dynamic of a bloody scene for the benefit of the decision-maker. Nevertheless, the reliability of bloodstain experts' conclusions is questioned. The NAS report [National Academy of Sciences] (US National Research Council, 2009) and Hart House Report (Pollanen et al., 2013) go so far as to qualify the field as junk science. Among their recommendations, they advocate for the implementation of practitioner certification and laboratory accreditation as means of addressing these criticisms, the main path followed by these institutions and professionals.

However, few studies have focused on the effect of quality assurance processes, particularly in relation to accreditation and certification in the field of bloodstain pattern analysis. An online questionnaire was sent to various forensic science associations, laboratories, and groups who then distributed it to the community of bloodstain pattern analysts. Over the course of five months, 165 connections to the survey were recorded, with 17 surveys deemed eligible. The qualitative analysis of the participants' responses was conducted along three axes, with the participants' years of experience and profession serving as factors.

Simultaneously, notwithstanding the cognitive bias present in the bloodstain pattern analysis raised by Laber and al. (2014), the research of the available data of Hicklin and al. (2021) black box study enabled us to investigate the probative force of bloodstain pattern classification.

The present exploratory research aims to gain a deeper understanding of practitioners' perception of quality assurance processes in BPA and its impact on the reliability of experts' conclusions, confronted with available empirical data.

Keywords: Trace ; Likelihood ratio; Bloodstain Pattern Analysis ; Quality Assurance; Accreditation; Certification.

Table des matières

| | |
|--|------|
| Résumé | iv |
| Abstract..... | v |
| Table des matières | vi |
| Liste des figures..... | ix |
| Liste des tableaux | x |
| Liste des sigles et abréviations | xi |
| Note préalable..... | xii |
| Remerciements | xiii |
| Introduction | 14 |
| Chapitre 1 : L'analyse des traces de sang..... | 17 |
| 1.1 Historique..... | 17 |
| 1.2 Méthode(s) d'analyse actuelle(s) | 19 |
| 1.2.1 L'investigation..... | 20 |
| 1.2.2 L'identification des traces de sang | 22 |
| 1.2.3 L'étude des trajectoires..... | 26 |
| 1.2.4 La chronologie..... | 31 |
| 1.2.5 L'analyse brute | 31 |
| 1.2.6 Analyse contextuelle..... | 33 |
| 1.3 Fiabilité des résultats : l'appel à la qualité..... | 34 |
| Chapitre 2 : Assurance qualité et fiabilité des analyses des traces de sang..... | 36 |
| 2.1 L'assurance qualité et son application en science forensique..... | 36 |
| 2.2 L'assurance qualité en analyses des traces de sang | 40 |

| | | |
|--|---|-----|
| 2.3 | Fiabilité de l'analyse des traces de sang | 44 |
| 2.3.1 | <i>Reliability Assessment of Current Methods in Bloodstain Pattern Analysis</i> (Laber et al., 2014) | 45 |
| 2.3.2 | <i>Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts</i> (Hicklin et al., 2021) | 50 |
| 2.3.3 | Précision et reproductibilité..... | 54 |
| | Classification avec mécanisme présent : exemple du relevé 211 | 56 |
| | Classification avec mécanisme absent : exemple du mécanisme 647..... | 61 |
| | Analyse des résultats des classifications des relevés 211 et 647..... | 64 |
| | Mécanisme spécifique ? Exemple du relevé 481 | 67 |
| | Addendum (Analyses complémentaires de Hicklin et al. (2021)) | 71 |
| 2.4 | Une perception partagée par la communauté ? | 78 |
| Chapitre 3 : Perception de la pratique | | 79 |
| 3.1 | Méthode | 79 |
| 3.1.1 | Description du questionnaire..... | 80 |
| 3.1.2 | Sélection des participants..... | 82 |
| 3.1.3 | Analyse qualitative..... | 85 |
| 3.2 | Analyse du sondage | 86 |
| 3.2.1 | Qualifications et Formation..... | 86 |
| 3.2.2 | Connaissances des accréditations et des certifications..... | 91 |
| 3.2.3 | Principaux thèmes abordés..... | 95 |
| 3.2.4 | Analyse spécifique du concept de trace | 103 |
| | Participant 4..... | 103 |
| | Participant 6..... | 104 |
| 3.3 | Limites du sondage et de l'analyse qualitative | 104 |

| | |
|--|-----|
| Chapitre 4 : Discussion..... | 106 |
| 4.1 Confrontation du sondage avec notre étude. | 106 |
| 4.2 Une réelle fiabilité scientifique ? | 107 |
| 4.3 Rôle des accréditations, certifications : un problème plus général en science forensique..... | 107 |
| Chapitre 5 : Conclusion | 109 |
| Références | 111 |
| Annexes | 117 |
| 5.1 Approbation de Philippe Esperança..... | 117 |
| 5.2 Certificat d'éthique (3)..... | 119 |
| 5.3 Questionnaires Experts en traces de sang, version française : | 122 |
| 5.4 Questionnaire Experts en traces de sang, version anglophone : | 129 |
| 5.5 Listes des associations, des laboratoires et des regroupements contactés | 135 |
| Materials | 136 |
| Code R, sensibilité et sélectivité de la classification | 136 |
| Code R, figure 16 | 146 |
| Code R, sensibilité et sélectivité des questions..... | 150 |
| Code R, figure 19 | 158 |
| Code R, ANOVA | 161 |
| Recherche Bibliographique..... | 167 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Photographie d'une trace de sang avec un indice millimétrique | 21 |
| Figure 2. Traces de sang d'un modèle d'impact..... | 23 |
| Figure 3. Clé d'identification de Philippe Esperança pour la morphoanalyse des traces de sang..... | 25 |
| Figure 4. Vue de côté de l'angle d'impact | 28 |
| Figure 5. Graphique pour le calcul du point d'origine | 29 |
| Figure 6. Évolution de dépôt des traces de sang | 33 |
| Figure 7. Hiérarchie des Normes..... | 38 |
| Figure 8. Exemple d'un relevé de traces de sang fourni aux participants de l'étude de Hicklin et al (2021). (Relevé n° 327) | 50 |
| Figure 9. Processus d'assurance qualité que les participants possèdent ou ont effectué dans le cadre de leur fonction..... | 51 |
| Figure 10. Relevé des traces de sang n° 211..... | 57 |
| Figure 11. Sensibilité de la phase de classification (mécanisme présent)..... | 59 |
| Figure 12. Sensibilité de la phase de classification avec les numéros des relevés (Mécanismes présents) | 60 |
| Figure 13. Relevé des traces de sang n° 647..... | 62 |
| Figure 14. Sélectivité de la phase de classification (mécanisme absent) | 63 |
| Figure 15. Relevé des traces de sang n° 481 | 67 |
| Figure 16. Valeurs des LR selon les faux positifs du relevé 481. | 70 |
| Figure 17. Sensibilités des experts (activité présente)..... | 72 |
| Figure 18. Sélectivité des experts (activité absente) | 73 |
| Figure 19. Valeur des LR "activité" selon les faux positifs du relevé n° 211 | 76 |
| Figure 20. Aperçu des participants retenus et de leur expérience (n=17) | 85 |
| Figure 21. Distribution des réponses des répondants concernant leurs qualifications académiques (n=17) | 89 |
| Figure 22. Nuage de mots des principaux thèmes ressortant de l'analyse des questionnaires des participants..... | 98 |

Liste des tableaux

| | |
|--|-----------|
| Tableau 1. Tests présomptifs pouvant être utilisés avec les traces latentes de sang | 22 |
| Tableau 2. Classification des patrons de Stuart James | 32 |
| Tableau 3. Classification des modèles de traces de sang de Philippe Esperança..... | 33 |
| Tableau 4. Distribution des réponses aux questions dans la publication de Laber et al (2014). | 46 |
| Tableau 5. Distribution des réponses des participants de l'étude de Laber et al (2014). lors de la classification des surfaces rigides | 47 |
| Tableau 6. Distribution des réponses aux demandes de classification dans l'article de Hicklin et al., (2021). | 52 |
| Tableau 7. Distribution des réponses aux questions dans l'article de Hicklin et al., (2021). | 53 |
| Tableau 8. Matrice de confusion des performances des experts lors de la phase de classification..... | 55 |
| Tableau 9. Réponses des 19 participants pour chaque mécanisme du relevé n° 211 | 57 |
| Tableau 10. Table de contingence du relevé n° 211 | 65 |
| Tableau 11. Table de contingence du relevé n° 647..... | 66 |
| Tableau 12. Table de contingence du relevé n° 481..... | 67 |
| Tableau 13. Matrice de confusions des performances des experts lors de la phase de questions..... | 71 |
| Tableau 14. Table de contingence des questions du relevé n° 211 | 74 |
| Tableau 15. Table de contingence des questions du relevé n° 807 | 77 |
| Tableau 16. Valeur des LR calculés pour les différents relevés..... | 78 |
| Tableau 17. Profils des répondants..... | 84 |
| Tableau 18. Distribution des réponses des participants concernant leurs qualifications et perceptions des exigences académiques (n=17)..... | 88 |
| Tableau 19. Compréhension des participants des processus d'accréditation et de certification..... | 94 |
| Tableau 20. Liste des Codes/Thèmes extraits de l'analyse qualitative des questionnaires | 96 |

Liste des sigles et abréviations

ANSI/ASB – American National Standards Institute/Academy Standards Board

ASCLD – American Society of Crime Laboratory Directors

ASTM – American Society for Testing and Materials

ABC (GKE) – American Board of Criminalistics (General Knowledge Examination)

BPA – Bloodstain Pattern Analysis

FN – Faux Négatif

FP – Faux positif

GRSF – Groupe de Recherche en Science Forensique

IABPA – International Association of Bloodstain Pattern Analysts

IAI – International Association for Identification

ISO – Organisation internationale de normalisation

ISO 17025 – ISO/IEC 17025:2017 Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais

ISO 17020 – ISO/IEC 17020 : 2012 Évaluation de la conformité — Exigences pour le fonctionnement de différents types d'organismes procédant à l'inspection

LAC – Laboratoire d'analyses Criminalistiques

LSJML – Laboratoire des Sciences judiciaires et de médecine légale

MAFS – Midwestern Association of Forensic Scientists

NAS – National Academy of Sciences

OSAC – Organization of scientific area committees for forensic science

QMS – Système de management de la qualité

SWGSTAIN – Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis

UQTR – Université du Québec à Trois-Rivières

Note préalable

Les données autorisées à être archivées par le certificat éthique, la recherche bibliographique (414 articles) et les routines R utilisées dans ce mémoire sont déposées dans un répertoire *Materials* de sa version numérique définitive accessible sur COGNITIO, dépôt institutionnel de l'UQTR.

Remerciements

C'est avec grande humilité que je remercie l'ensemble des personnes ayant aidé de près ou de loin à la réussite de ce projet de recherche.

Je souhaite tout d'abord remercier mon directeur de recherche, le professeur Frank Crispino de l'Université du Québec à Trois-Rivières, pour son soutien et ses conseils tout au long de mon parcours.

Je désire ensuite remercier Vincent Mousseau pour l'aide qu'il m'a apportée en me guidant lors de mes recherches sur l'analyse qualitative.

Je tiens aussi à remercier Philippe Esperança pour ses connaissances sur l'analyse des traces de sang, qu'il m'a généreusement partagé.

Finalement, je me dois d'exprimer ma reconnaissance envers mes parents et ma famille qui m'entendent parler de ce projet depuis le début de mon parcours. Leur soutien indéfectible et leurs encouragements ont été une source précieuse de réconfort, notamment dans les moments où la motivation venait à faiblir.

Introduction

L'analyse des traces de sang est apparue à la fin du XIX^e siècle. Depuis, la discipline a été le sujet de nombreux livres, articles et recherche pour comprendre sa pratique. Ces expertises sont fréquemment utilisées en cours de justice pour aider le décideur des faits à reconstruire la dynamique d'une scène de crime sanglante. Et pourtant, à l'instar d'autres disciplines forensiques, la fiabilité de ces expertises est questionnée.

Le rapport NAS (US National Research Council, 2009), sorti en 2009 aux États-Unis identifie certains problèmes majeurs en science forensique :

- Disparité dans la communauté (différentes opportunités de financements, d'accès aux instruments, de disponibilité du personnel compétent, etc.) ;
- Manque de normalisation, certification et accréditation ;
- Large spectre de discipline en sciences forensiques ;
- Problème dans l'interprétation des analyses forensiques ;
- Besoin de recherche pour établir les limites et les mesures de performance ou fournir une base scientifique solide ;
- Admissions différentes de preuves forensiques en cour de justice ;
- Réalité politique (État, local, fédéral ?).

En 2013, un rapport canadien similaire, dit le rapport Hart House, corrobore la version américaine (Pollanen et al., 2013) :

- Absence d'une agence nationale pour financer la recherche en science forensique ;
- Absence d'une culture de recherche dans la communauté ;
- Éparpillement de la communauté dans le territoire ;
- Mosaïque d'agences aux différents paliers de gouvernement (complexité d'une stratégie unifiée) ;
- Variation dans la formation offerte aux praticiens ;
- L'attestation des experts n'est pas constante et légalement requise.

Le NAS report offre 13 recommandations officielles à apporter à la communauté, soit :

1. La création d'une entité fédérale, le *National Institute of Forensic Science (NIFS)* pour promouvoir le développement de la science forensique ;
2. L'établissement d'une terminologie standard et d'un modèle de rapport par le NIFS ;
3. Le financement par le NIFS de la recherche révisé par les pairs sur la fiabilité, la validité et l'exactitude ;
4. Le retrait des laboratoires privés sous la juridiction des forces de l'ordre
5. L'encouragement par le NIFS de la recherche sur les biais cognitifs et les erreurs humaines et le développement des *Standard operating procedures (SOP)* ;
6. Le développement d'outils pour avancer la validation, la fiabilité, le partage d'information, les *proficiency testing* et établir des protocoles pour l'investigation ;
7. L'accréditation des laboratoires et la certification des praticiens devraient être obligatoires ;
8. La mise en œuvre de processus d'assurance qualité et de procédures de contrôle de la qualité ;
9. L'établissement d'un code éthique national par le NIFS ;
10. L'amélioration et le développement des programmes d'éducation gradué par le NIFS ;
11. L'amélioration des investigations médico-légales sur les décès (coroner) ;
12. L'établissement et l'interopérabilité d'une base de données nationale des traces digitales (AFIS) ;
13. La préparation des scientifiques et investigateurs de scène de crime pour une intervention sur des situations de sécurité nationale.

Quant au rapport Hart House, il se concentre sur quatre axes : la recherche, l'éducation et la formation, les bonnes pratiques, et l'administration et la réglementation. Ces recommandations préconisent une culture de recherche soutenue par des financements et des programmes

universitaires, et une meilleure collaboration entre la recherche et la pratique. En matière d'éducation, elles soulignent l'importance de la formation continue et multiculturelle, ainsi que le développement de programmes de recherche avancés et de formations en ligne. Pour les meilleures pratiques, elles recommandent l'adoption de normes et de lignes directrices, la certification des praticiens, l'accréditation des laboratoires et l'adoption d'un code de l'éthique professionnelle, tout en reconnaissant et en minimisant les biais. Enfin, en administration, elles appellent à des accords entre secteurs publics et privés, à un financement adéquat, à l'amélioration des politiques d'investigation sur les décès (coroner), et au développement de normes et de programmes de révision par les pairs dans les disciplines de la science forensique.

Concernant l'analyse des traces de sang, ces rapports vont jusqu'à la qualifier de *junk science*, soit de la pseudoscience. Limitée à l'analyse des traces de sang, cette recherche se concentre sur les recommandations s'y appliquant, proposant la mise en place des processus de certifications des praticiens et d'accréditation des laboratoires. À notre connaissance, peu d'études s'intéressent à l'impact de ces processus d'assurance qualité sur la fiabilité de ces analyses.

À cet effet, après avoir présenté la méthode utilisée dans la discipline (chapitre 1), nous analyserons les politiques de mise en œuvre d'assurance qualité et les confronterons à la notion de fiabilité des expertises en traces de sang (chapitre 2). Ces résultats seront comparés à la perception du rôle de l'assurance qualité par le milieu de la pratique (chapitre 3), afin de tenter de répondre aux hypothèses (chapitre 4) suivantes :

- 1) Les processus d'assurance qualité mis en œuvre lors de l'analyse des traces de sang sont soutenus et compris par les exécutants ;
- 2) Les processus d'assurance qualité mis en œuvre lors de l'analyse des traces de sang sont suffisants pour emporter la confiance ;
- 3) Les processus d'assurance qualité mis en œuvre lors de l'analyse des traces de sang intègrent l'incertitude propre à la trace. En effet, la trace en elle-même est un spécimen imparfait, « incomplet dont la qualité s'amenuise encore avec le temps » (Margot, 2014).

Chapitre 1 : L'analyse des traces de sang

Un individu moyen possède environ 70 ml de sang par kilogramme, en considérant les variations dans la population il s'agit d'environ 4 à 8 L de sang total. Une perte de 40 % du volume total du sang est fatale, à moins que des soins soient apportés dans les plus brefs délais (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019; James et al., 2005). Des agents externes tels que des médicaments ou le niveau d'alcool dans le sang, peuvent prévenir la coagulation et modifier la quantité de sang perdue, transformant ainsi une blessure normale en blessure fatale (James et al., 2005).

Lors de la présence de sang sur une scène de crime, deux types d'analyses doivent être effectuées : l'identification de la source du sang avec l'ADN et l'analyse des traces de sang. Également connu comme la morphoanalyse de traces de sang (morpho), *Bloodstain Pattern Analysis* en anglais ou « BPA », l'analyse des traces de sang observe les projections et dépôts pour en reconstituer leur dynamique.

1.1 Historique

Dès le début des années 1800, il est possible de retrouver des écrits décrivant l'apparence du sang dans différentes situations. En 1863, T. R. Beck et J. B. Beck effectuent une association entre l'apparence et l'emplacement des traces de sang sur la scène et les blessures d'une victime (Beck & Beck, 1863, pp. 134-138). Jusque dans les années 1890, les références disponibles reflètent les balbutiements de la discipline concernant les caractéristiques des traces de sang, leurs classifications et les conclusions à en tirer (MacDonell, 1992).

En 1893, Hans Gross publie son livre *Handbuch für Untersuchungsrichter als System der Kriminalistik* qui intègre des informations sur le traitement des traces de sang sur une scène de crime. En 1895, le Dr E. Piotrowski publie *Concerning Origin, Shape, Direction, and Distribution of Bloodstains Following Blow Injuries to the Head*. Cette étude des traces de sang, à la suite de lésions à la tête, est l'un des travaux pionniers, qui confirme le lien entre la blessure sanglante et les traces observées (De Forest et al., 2021; Esperança, 2019; James et al., 2005; MacDonell, 1992).

Au cours du 20^{ème} siècle, la quantité de travaux dans le domaine augmente considérablement. L'analyse des traces de sang reçoit de nombreuses contributions scientifiques avec l'apport d'articles, de recherches et de livres. Parmi ceux-ci, les travaux du Dr V. Balthazard en 1939 sont à la base de techniques encore utilisées de nos jours. Sa publication *Étude des gouttes de sang projeté* apporte une étude quasi exhaustive des gouttes de sang et une méthode mathématique pour le calcul de la trajectoire d'une projection de sang (Balthazard et al., 1939; Bevel & Gardner, 2008; De Forest et al., 2021; Esperança, 2019).

Le procès en appel du Dr Sam Sheppard en 1955 aux États-Unis précipite l'essor de l'analyse des traces de sang (De Forest et al., 2021; Esperança, 2019; James et al., 2005). Les conclusions soumises par le Professeur Paul L. Kirk dans son affidavit basé sur les patrons des traces de sang observés sur la scène de crime affranchissent le Dr Sheppard du meurtre de sa femme (Wolson, 2016). La démarche scientifique en analyse des traces de sang est mise en avant lors du procès.

En 1971, Herbert Leon MacDonell et Lorraine Fiske Bialousz publient leur étude *Flight Characteristics and Stain Patterns of Human Blood*. Cet écrit marque le début des publications d'une discipline en cours de définition, l'analyse des traces de sang telle qu'elle apparait de nos jours. Quelque temps plus tard, en 1973, MacDonell établit le premier programme de formation de base en traces de sang (De Forest et al., 2021; Esperança, 2019; James et al., 2005; Koen & Goetz, 2017).

En 1983, MacDonell et 22 étudiants de son cours avancé en traces de sang établissent l'*International Association of Bloodstain Pattern Analysts*, l'IABPA, qui promeut l'analyse des traces de sang dans le monde (International Association of Bloodstain Pattern Analysts, 2024a). En 1990, l'*International Association of Identification*, l'IAI, inclut les traces de sang dans les disciplines de la science forensique (Bevel & Gardner, 2008).

En 2002, le FBI forme le *Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis* (SWGSTAIN) pour définir des lignes de conduite en analyse des traces de sang (Bevel & Gardner, 2008). Le SWGSTAIN a depuis arrêté ses activités. Les membres américains qui constituait ce groupe ont été inclus dans l'*Organization Of Scientific Area Committees*,

l'OSAC/NIST établit en 2014, qui publie des standards de normalisation de la pratique au États-Unis (Esperança, 2019; National Institute of Standards and Technology, 2023).

1.2 Méthode(s) d'analyse actuelle(s)

Essentiellement, cette section 1.2 prend par défaut la trame et de nombreux éléments extraits du livre de Philippe Esperança, Morphoanalyse des traces de sang (Esperança, 2019). Ne sont ici indiquées que les autres références le complétant.

L'analyse des traces de sang vise à inférer l'origine et la dynamique des événements à l'origine de ces traces par l'analyse de leurs critères morphologiques (taille, forme, dispersion et distribution). La reconstruction d'une scène d'investigation par cette méthode vise à répondre aux questions où, quand, comment se sont produits les événements et les actions des individus impliqués (James et al., 2005). Par exemple, l'analyse d'une scène peut fournir des informations sur le type d'arme utilisée, le positionnement de l'agresseur par rapport à la victime et le nombre de coups portés à la victime.

Le sang étant un fluide complexe, une connaissance minimale de ses composantes est nécessaire pour effectuer une analyse :

1. Les globules blancs ou leucocytes servent de système immunitaire. Il s'agit du seul composant du sang possédant l'ADN nucléaire utilisé en science forensique.
2. Les globules rouges ou érythrocytes transportent l'oxygène avec la protéine d'hémoglobine spécifique au sang. Cette protéine est constituée de quatre unités d'hème possédant chacune un ion ferreux Fe^{2+} . Lorsque l'oxygène est en contact avec le sang, il se fixe au fer dans l'hème. En science forensique, ce cation ferreux est à l'origine de la réaction positive des tests présomptifs d'oxydoréduction aux traces de sang latente.
3. Les plaquettes ou thrombocytes contribuent à la coagulation pour cesser les saignements.
4. Le fibrinogène est une protéine agissant lors de la coagulation qui contribue à la formation de caillot. Ce caillot peut rendre difficile la réaction aux tests présomptifs d'oxydoréduction.

5. Le plasma est un liquide visqueux qui représente 55 % du volume total du sang. Le liquide jaune-rose restant après la coagulation du sang est dénommé sérum, il s'agit du plasma qui est dépouillé de ses éléments figurés.

Il existe plusieurs approches possibles pour l'investigation d'une scène comportant des traces de sang, toutes présentées comme scientifiques (Bevel & Gardner, 2008; De Forest et al., 2021; James et al., 2005). Bevel et Gardner (pp. 89-93) définissent la méthode scientifique comme « un processus circulaire défini », utilisée pour résoudre des problèmes complexes. La méthode scientifique peut être résumée comme comportant les étapes suivantes :

- Observation ;
- Formulation de la question de recherche ;
- Recherche préalable ;
- Hypothèse ;
- Prévission ;
- Expérimentation ou collecte de données ;
- Analyse des données ;
- Conclusion ;
- Communication ;
- Révision et Réplication.

La méthode vise à être reproductible et transparente. Son utilisation lors d'une expertise morphologique des traces de sang peut être séparée en six catégories, qui sont détaillées dans les sections suivantes (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019; James et al., 2005) :

1.2.1 L'investigation

L'investigation d'une scène débute avec l'observation de la scène de crime et la prise de photographies pour la documenter.

Figure 1. Photographie d'une trace de sang avec un indice millimétrique



Note. Figure adaptée de (Esperança, 2020a). Reproduit avec la permission de Philippe Esperança.

Toutes les traces de sang visibles doivent être documentées et photographiées avec un indice millimétrique (voir figure 1). Par la suite, l'expert procède à l'identification des modèles d'impact principalement, avec la localisation de leur zone d'origine (voir section 1.2.3). Finalement, selon les traces identifiées et leur dispersion, une analyse de la scène doit être effectuée pour inférer la présence de traces de sang latentes, éventuellement au moyen de tests présumptifs (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019).

Les tests présumptifs utilisent des substances, qui lorsqu'elles sont mises en contact avec des traces de sang latentes réagissent et produisent un changement de couleur ou une chimiluminescence. Il existe deux catégories de test présumptif utilisé avec le sang :

- Les tests d'oxydoréduction qui réagissent avec le cation ferreux Fe^{+2} dans l'hémoglobine ;
- Les colorants réagissant avec les protéines et les acides aminés.

Tableau 1. Tests présomptifs pouvant être utilisés avec les traces latentes de sang

| Tests Présomptifs | | |
|--|---|---|
| Hémoglobine/Oxydoréduction | | Acides Aminés et Protéines |
| Nom du test | Réaction | |
| Leucomalachite Vert (possiblement cancérigène) | Couleur bleue verte | <ul style="list-style-type: none"> - Rouge de Hongrie - Crystal violet - Noir Amido - Coomassie Brilliant Blue R250 - DFO (1,8 diazafluoren-9-one) - Ninhydrine - Crowles' Double Stain - Fluorescamine |
| Leucocrystal violet | Couleur mauve | |
| Fluorescéine | Couleur jaune-vert avec une source alternative à 450 nm | |
| Phénolphthaléine ou Kastle-Meyer (possiblement cancérigène) | Couleur rose | |
| Benzidine (cancérigène) | Couleur bleue | |
| o-Tolidine (possiblement cancérigène) | Couleur bleue verte | |
| TMB (tetramethylbenzidine) | Couleur verte à bleue verte | |
| Luminol (peut interférer avec la restitution de l'ADN) | Chimiluminescence bleue | |
| Bluestar | Chimiluminescence | |

Le tableau 1 comporte les principaux tests présomptifs pouvant être utilisés en analyse des traces de sang. Un bon test présomptif doit être rapidement préparé, facile d'usage, sélectif, spécifique et non toxique à l'utilisateur. Les tests utilisant les protéines et les acides aminés n'étant pas spécifiques au sang, il n'est recommandé de les utiliser qu'en dernier recours. La majorité des tests présomptifs utilisés sont ceux d'oxydoréduction qui réagissent avec l'hémoglobine (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019; James et al., 2005). Par la suite, pour confirmer que la substance ayant réagi au test présomptif est bien du sang humain, un test de confirmation est nécessaire.

1.2.2 L'identification des traces de sang

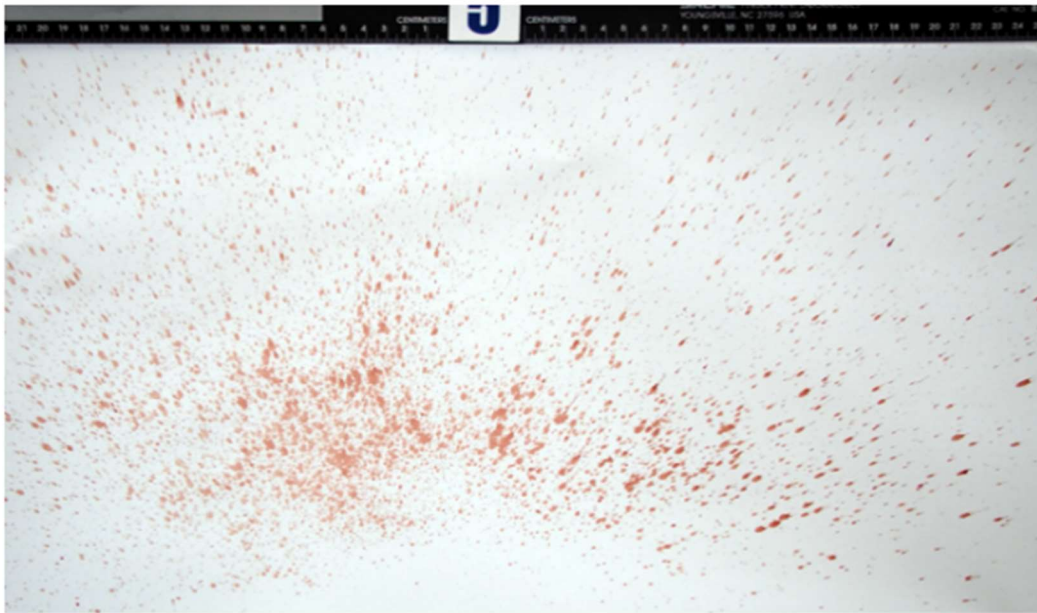
Les propriétés physiques du sang (viscosité, densité, tension de surface, etc.) influencent son comportement et avec les forces physiques en présence, contribuent à la création des traces.

La viscosité dynamique du sang est de 3 à 4 fois supérieure à celle de l'eau et elle est mesurée avec l'effet de cisaillement. L'effet de cisaillement est la force résultant du glissement

des particules de liquide de façon parallèle sous différentes contraintes (Britannica, 2024). Cette différence est due à la résistance du plasma et à la grande quantité de globules rouges. Lorsque la viscosité du sang augmente, il s'écoule plus difficilement. Cette propriété fait du sang un fluide non newtonien (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019; James et al., 2005; Wonder, 2007).

L'identification des patrons de sang s'effectue par les caractéristiques morphologiques des traces observées. Il est recommandé que les informations sur la forme, la taille, la distribution spatiale et la dispersion des traces dans l'environnement soient extraites sans connaître le contexte de l'enquête. Par exemple, les caractéristiques morphologiques du patron suivant (voir figure 2) sont des traces de forme ovoïdes à circulaire, de tailles inférieures à 3 mm avec une distribution radiale et des zones d'interruptions possibles (Esperança, 2020a).

Figure 2. Traces de sang d'un modèle d'impact



Note. Figure adaptée de (Esperança, 2020a). Reproduit avec la permission de Philippe Esperança

Ces informations qualitatives sont par la suite comparées à un atlas des différents patrons de traces de sang à l'aide d'une clé d'identification. Cinq éléments importants doivent être pris en considération pour une utilisation appropriée d'une clé d'identification :

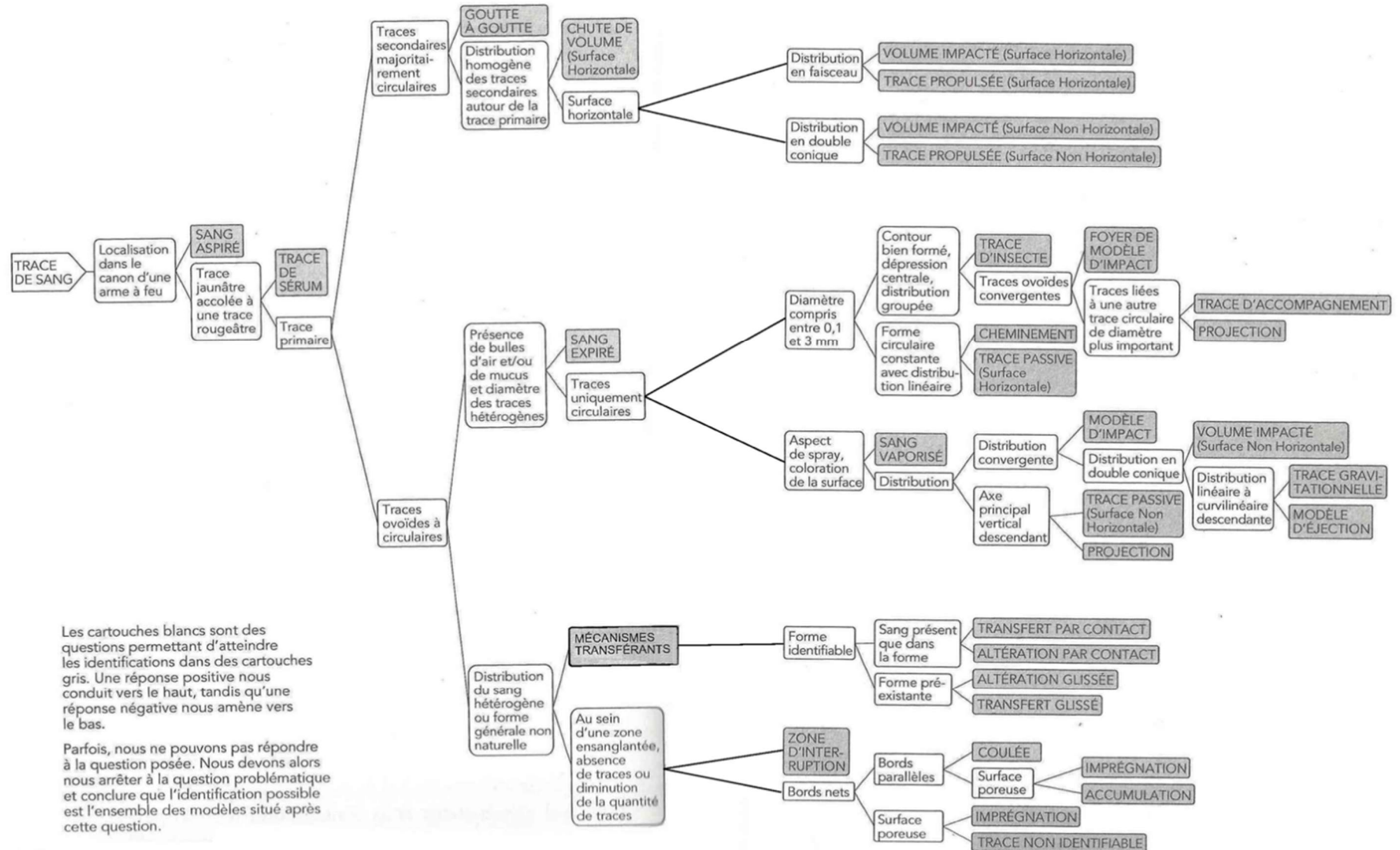
1. L'identification est effectuée par comparaison.

2. Les critères doivent être qualitatifs, tels que la forme et la dispersion des traces. Il n'est pas instructif d'utiliser des termes comparatifs tels que « plus gros que », qui incitent l'interprétation.
3. Les mesures précises ne prennent pas en compte la variabilité du sang et des substrats. Le critère de la taille n'est pas une valeur précise, mais une valeur limite (Gardner, 2006).
4. La surface étudiée impose une limite à l'interprétation possible des traces et peut modifier la forme observée.
5. Deux patrons de traces de sang peuvent être superposés et interagir entre eux. L'identification des deux patrons peut être restreinte dans une telle situation.

Lors de l'identification des traces de sang, il est important d'utiliser une terminologie commune pour prévenir des erreurs sémantiques. Depuis 2020, l'OSAC offre une norme concernant les termes et définitions en traces de sang qui est utilisé comme standard par la communauté. Cette norme est adaptée de la terminologie proposée en 2008 par le SWGSTAIN (AAFS Standards Board, 2017). L'IABPA offre une version française, parmi d'autres traductions, sur leur site internet (Groupe Francophone de Morphoanalyse, 2014).

L'utilisation d'une clé d'identification nécessite une référence, dans cet exemple la clé de Philippe Esperança est utilisée (voir figure 3). Les critères de la trace de sang sont déterminés en suivant les questions de la clé. Lors d'une réponse positive, le cheminement se poursuit vers le haut vers une autre question ou un patron associé. Le processus se poursuit jusqu'à ce que la trace soit identifiée ou que la réponse à une question ne soit pas définitive. Dans une telle situation, le patron de la trace est limité aux possibilités restantes dans les questions non répondues. Par exemple, s'il est impossible de définir si les bords sont parallèles, l'identification possible est un patron de coulée, d'imprégnation ou d'accumulation. Une brève description des patrons énoncés dans la clé d'identification de Philippe Esperança est disponible sur son site web <http://l-a-c.expert/> dans son atlas sous l'onglet documentation.

Figure 3. Clé d'identification de Philippe Esperança pour la morphoanalyse des traces de sang

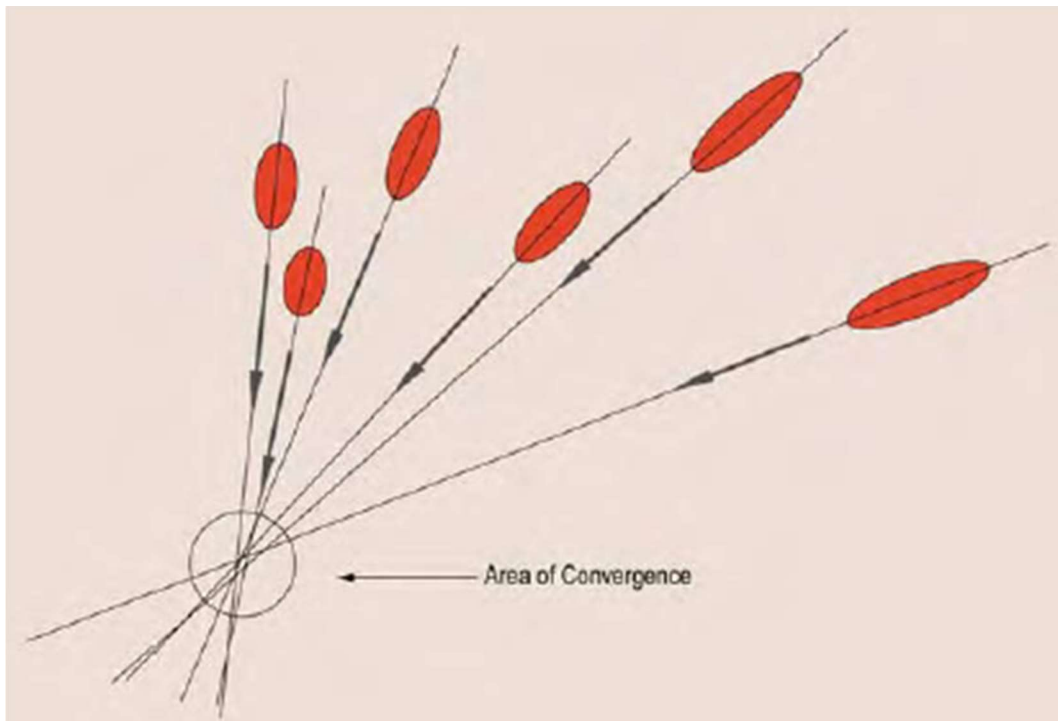


Note. Figure adaptée de (Esperança, 2020b). Reproduit avec la permission de Philippe Esperança

1.2.3 L'étude des trajectoires

Une fois identifié le type de traces de sang, à partir des connaissances modélisées des propriétés du sang et de son comportement dynamique, les actions ayant créé ces gouttes sont proposées. Lorsque les traces sont constituées de modèles d'impact, l'aire de convergence des patrons, les angles d'impact des traces de sang et le point d'origine des patrons sont évalués. Ce mode d'inférence est une abduction, à savoir la meilleure explication possible en observant l'effet (le type de la trace sous réserve qu'elle ait été correctement identifiée).

Figure 4. Aire de convergence d'un patron



Note. Tiré de « Principle of Bloodstain Pattern Analysis », par (James et al., 2005), fig [10.1]. © 2005 by Taylor & Francis Group, LLC.

La détermination de l'aire de convergence du patron modèle d'impact s'effectue avec les traces ovoïdes par une démarche essentiellement géométrique (voir figure 4). Dans un premier temps, les traces supposées provenir d'une même source au même moment permettent d'estimer l'aire de convergence. L'aire de convergence est une estimation dans le plan horizontal de la projection du point d'origine du sang lors de la création du patron. Pour la délimiter, des traces

ovoïdes bien définies et positionnées de tous les côtés du patron commun inféré sont choisies par l'analyste. Pour chacune des traces sélectionnées, une ligne est formée et étendue dans l'axe de longueur de la trace. La surface délimitée par le croisement de ces lignes indique l'aire de convergence (Carter, 2001; Esperança, 2019, pp. 96-97; James et al., 2005, pp. 217-218; Wonder, 2001). Il existe une méthode, publiée en 2013, utilisant une approche probabiliste pour estimer l'incertitude statistique dans la détermination de la position et la grosseur de l'aire de convergence (Camana, 2013). Cependant, cette méthode est peu utilisée par les analystes et il est, dans les faits, laissé à l'expert la définition de la grandeur de cette aire sur la seule base des croisements des grands axes des ellipses.

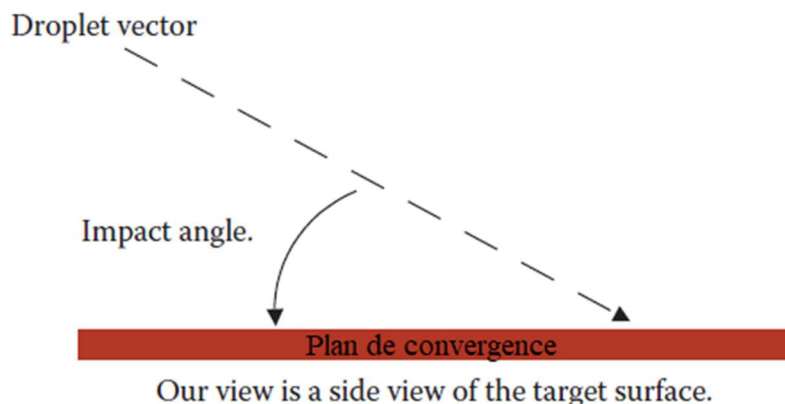
L'angle d'impact d'une trace est l'angle interne formé entre la trajectoire et la surface interceptant la goutte de sang, dans le plan de l'aire de convergence (voir figure 4). De nouveau, une approximation géométrique simple propose de le calculer en fonction de la largeur et d'une partie de la longueur de la trace. Une trace circulaire résulte d'un contact avec la surface à 90°, soit une goutte de sang tombant verticalement. Les équations mathématiques utilisées sont les suivantes :

$$\sin(\text{angle d'impact}) = \frac{\text{largeur}}{\text{longueur}}$$

$$\text{Angle} = \arcsin \left(\frac{\text{largeur}}{\text{longueur}} \right)$$

Ces calculs ne tiennent pas compte de la viscosité du sang et les résultats obtenus de cette façon sont une fois de plus des estimations. Par convention, les experts en trace de sang expriment la marge d'erreur possible due aux variations dans la trajectoire du sang en estimant celle-ci entre 5 à 7° (Bevel & Gardner, 2008, pp. 170-174). Il existe plusieurs méthodes pour mesurer la longueur et la largeur d'une trace, telle que l'utilisation d'une règle, un micromètre, une loupe photographique ou un compas séparateur.

Figure 4. Vue de côté de l'angle d'impact

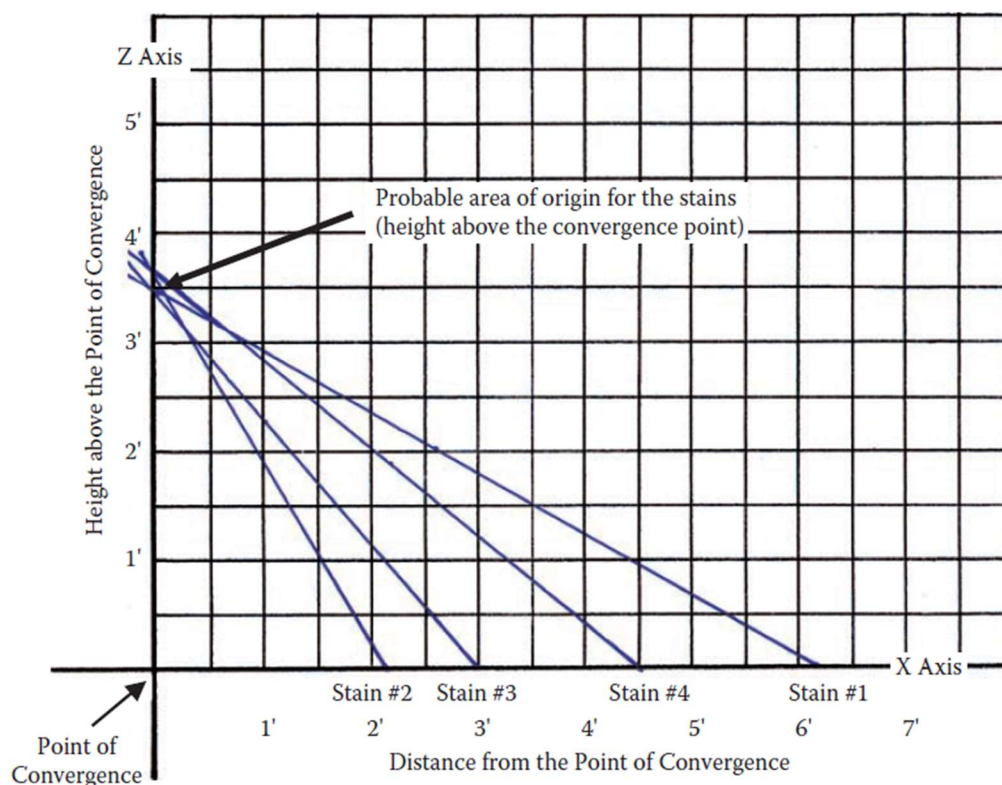


Note. Tiré de « Bloodstain Pattern Analysis : with an Introduction to crime scene reconstruction », par (Bevel & Gardner, 2008), fig [2.1]. © 2008 by Taylor & Francis Group, LLC

Dans un second temps, le point d'origine (axes x,y,z) des traces constituant le patron est situé dans un volume possédant un vecteur perpendiculaire (axe y) à celui de l'aire de convergence (axe x) à partir des informations de l'aire de convergence et de l'angle d'impact des traces. Il existe plusieurs méthodes pour arriver à calculer le volume d'origine d'un patron, souvent incorrectement traduit par aire d'origine (area of origin) à partir de la nomenclature anglo-saxonne. Le terme français employé par Esperança est plus approprié : Zone d'origine. Les principales méthodes sont expliquées ci-dessous.

La méthode graphique combine les informations de l'aire de convergence et de l'angle d'impact dans un graphique d'axes X et Z. Le « point » (0,0) représente l'aire de convergence évaluée précédemment. L'axe X rapporte, pour chaque trace considérée comme étant produite par la même source au même moment, la distance entre celle-ci et le point de convergence. L'axe Z représente la distance perpendiculaire à l'aire de convergence. Chaque trace est reliée à l'axe Z avec l'angle d'impact rapporté sur l'axe X. Lorsque toutes les traces sont reliées à l'axe Z, les lignes indiquent un volume d'origine du patron au-dessus du point de convergence [voir figure 5]. Cette situation est simplifiée, car une aire de convergence ne peut pas être représentée par un point (Bevel & Gardner, 2008; De Forest et al., 2021; James et al., 2005).

Figure 5. Graphique pour le calcul du point d'origine



Note. Tiré de « Bloodstain Pattern Analysis : with an Introduction to crime scene reconstruction », par (Bevel & Gardner, 2008), fig [8.34]. © 2008 by Taylor & Francis Group, LLC

La méthode trigonométrique utilise la fonction tangente dans un triangle rectangle pour calculer la hauteur à partir de l'aire de convergence. Le calcul de l'aire d'origine utilise la formule suivante (Bevel & Gardner, 2008; James et al., 2005) :

$$\tan(\text{angle d'impact}) = \frac{\text{Hauteur au dessus de l'aire de convergence}}{\text{Distance entre la trace et l'aire de convergence}}$$

Il suffit de manier l'équation pour isoler la hauteur et ainsi déterminer le point d'origine.

$$\text{Hauteur} = \tan(\text{angle d'impact}) \times \text{Distance entre la trace et l'aire de convergence}$$

La méthode des ficelles utilise les principes expliqués précédemment, mis en pratique en trois dimensions sur la scène de crime. Une ficelle est fixée à l'extrémité de la trace de sang. Un rapporteur d'angle laser est réglé sur l'angle d'impact vers la direction de l'aire de convergence. Le laser indique où fixer la seconde extrémité de la ficelle. Une fois qu'une ficelle est positionnée de cette manière pour toutes les traces de sang, un point d'origine est localisé dans la scène de crime. Cette méthode comporte de nombreux désavantages. Elle nécessite de manipuler les objets de la scène de crime et les traces de sang pour fixer les ficelles. L'utilisation du rapporteur d'angle laser diminue l'imprécision du positionnement de l'angle d'impact, mais ne prévient pas le fait que l'expert ajuste la ficelle pour qu'elles soient plus précises. De plus, la méthode est longue et fastidieuse à effectuer (Bevel & Gardner, 2008; James et al., 2005).

Peu importe la méthode utilisée, les incertitudes accumulées avec l'aire de convergence et l'angle d'impact sont évidentes. Des études récentes proposent l'utilisation de techniques novatrices utilisant, entre autres, la trajectoire de vol non newtonienne ou des trajectoires courbes pour quantifier l'incertitude du volume d'origine des traces de sang (Attinger et al., 2019; Laan et al., 2015; Li et al., 2021). Parallèlement depuis 1987, des logiciels sont de plus en plus utilisés pour remplacer ces méthodes de modélisation humaine, le premier d'entre eux étant *Trajectories*, par la suite connu sous le nom *BackTrack*TM (Bevel & Gardner, 2008). En 2024, [HemoSpat](#)TM, [HemoVision](#)TM, [Leica Map 360](#)TM et [Clotho AI](#)TM (Clotho AI; Home et al., 2021) constituent des aides à la décision des experts en traces de sang. La méthode majoritairement utilisée par ces logiciels pour déterminer le point d'origine s'inspire de la méthode des ficelles ou applique celle de la tangente, parfois corrigées par des modèles de trajectoires paraboliques (Home et al., 2021; Joris et al., 2022). Cependant, la question demeure : comment la technologie peut-elle corriger les incertitudes natives à cette analyse, par exemple, lors de la prise de décision qu'un patron provient d'une même source au même moment. De plus, ces mêmes logiciels utilisent fréquemment des estimations sans en vérifier leur légitimité, telles que des trajectoires qui sont des droites et des murs perpendiculaires les uns aux autres.

Quoiqu'il en soit, le volume d'origine des traces de sang reste une estimation. Le résultat recherché peut varier en largeur et en longueur, il ne se résume pas à un point. Il est d'ailleurs recommandé de présenter la hauteur du point d'origine comme l'encadrement d'une zone avec

des valeurs minima et maxima associées à des angles limites du patron. Cela est encore plus important lors de l'utilisation de logiciel, car il y a un manque sérieux dans l'estimation de la hauteur (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019). Ainsi, ne peut-on raisonnablement s'interroger sur la justesse de la méthode ?

1.2.4 La chronologie

La chronologie est importante pour établir le déroulement des événements. L'interaction entre les patrons et le moment du dépôt du sang produit un flux séquentiel (Bevel & Gardner, 2008). Différents patrons de traces de sang peuvent se chevaucher selon le moment de leur création. Lorsque des interactions ont lieu, il peut être difficile d'identifier les patrons individuels, mais cela peut informer sur la chronologie des événements. Lorsqu'il est impossible de définir la chronologie, les patrons sont considérés comme mélangés. Lorsque les patrons sont identifiables et que la chronologie peut être définie, les patrons sont considérés comme étant en interaction. Il s'agit de modèles difficiles à interpréter, il est important de bien documenter le processus.

La reconstruction de la dynamique à partir des traces de sang est fastidieuse. Elle demande de supposer des inférences incertaines entre deux patrons analysés. Par exemple, un patron d'accumulation de sang doit avoir lieu avant un patron de transfert (voir l'atlas de Philippe Esperança : <http://l-a-c.expert/>). Cependant, il peut être difficile de déterminer si d'autres événements ont eu lieu entre le dépôt du premier patron et le transfert. L'ensemble de la scène de crime doit ainsi être interprété pour considérer les grandes lignes de la séquence et les relations entre les événements (Bevel & Gardner, 2008).

1.2.5 L'analyse brute

Lors de l'analyse brute, les informations recueillies lors des étapes précédentes sont mises en commun et analysées dans le contexte de la scène de crime. C'est à cette étape que l'analyste émet et développe des hypothèses sur les événements ayant créé les patrons. Ces hypothèses sont validées avec la littérature et des expériences en laboratoire (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019).

Pour aider, les patrons peuvent être classifiés dans des groupes selon les phénomènes menant à leur création. Il existe plusieurs modèles de classifications des patrons, qui divergent dans les phénomènes de création. Deux classifications dominent la discipline :

- Passive, Transfert, Traces projetées. Introduite par Bevel et Gardner en 2002
- Passive/Gravité, Traces projetées, Traces altérées (voir tableau 2) ; introduite par Stuart James en 2005.

Tableau 2. Classification des patrons de Stuart James

| Traces de sang | | |
|--|--|---|
| Passive/Gravité | Traces projetées | Traces altérées |
| <ul style="list-style-type: none"> – Contact – Goutte à goutte – Écoulement – Imprégnation/accumulation – Chute de volume | <ul style="list-style-type: none"> – Mécanisme impactant – Mécanisme secondaire – Mécanisme projetant | <ul style="list-style-type: none"> – Coagulé – Dilué – Séché – Diffusé – Trace d’insecte – Séquence – Interruption |

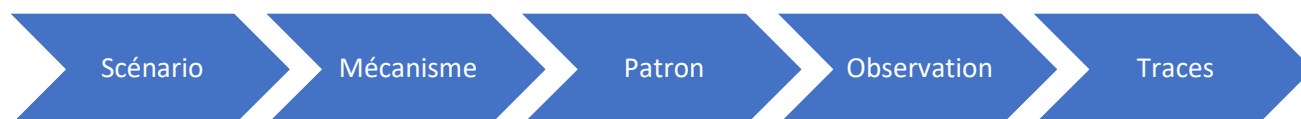
Il existe des désaccords sur ces classifications, particulièrement avec les transferts. En 2019, Philippe Esperança propose un troisième modèle de classification pour tenter de pallier ce désaccord avec quatre phénomènes : passifs, actifs, transférant et altérants [voir tableau 3] (Esperança, 2019, p. 66).

Tableau 3. Classification des modèles de traces de sang de Philippe Esperança

| Traces de sang | | | |
|--|--|---|--|
| Phénomènes passifs | Phénomènes actifs | Phénomènes transférant | Phénomènes altérants |
| <ul style="list-style-type: none"> • Trace passive : <ul style="list-style-type: none"> – goutte à goutte – trace d’accompagnement – cheminement • Coulée • Accumulation : <ul style="list-style-type: none"> – imprégnation • Chute de volume | <ul style="list-style-type: none"> • Projection : <ul style="list-style-type: none"> – foyer du modèle d’impact – modèle d’éjection – stop d’éjection – projection positive – rétroprojection – sang vaporisé – trace gravitationnelle – modèle d’impact • Volume impacté • Propulsion : <ul style="list-style-type: none"> – sang propulsé – sang expiré | <ul style="list-style-type: none"> • Transfert glissé • Altération glissée • Transfert par contact • Altération par contact | <ul style="list-style-type: none"> • Caillot sanguin • Trace de sérum • Sang aspiré • Trace d’insecte • zone d’interruption |

1.2.6 Analyse contextuelle

Différentes étapes sont réalisées lors de l’analyse morphologique des traces de sang. L’analyste commence par procéder à une observation des traces de sang. À partir de cette observation, il infère ou identifie un patron de traces de sang. Une fois le patron identifié, il extrait les informations nécessaires pour proposer le ou les mécanismes ayant créé ce patron. La dernière étape est de proposer un scénario de création cohérent avec les informations collectées (voir figure 6).

Figure 6. Évolution de dépôt des traces de sang

L’analyse contextuelle est une analyse globale de la scène de crime, complétant les étapes décrites précédemment. À l’analyse brute sont ajoutées des informations supplémentaires, cela peut comprendre le rapport du médecin légiste, les résultats des tests ADN, les constatations

initiales lors de l'arrivée des premiers intervenants, etc. Toutes ces informations sont combinées pour rédiger un rapport complet pour le client. Il est important de noter que la morphoanalyse des traces de sang est une discipline corroborative d'hypothèse (Bevel & Gardner, 2008; Esperança, 2019). Les explications et déclarations des éventuels mis en cause peuvent être prises en compte et confrontées aux observations et explications apportées pour déterminer la compatibilité.

1.3 Fiabilité des résultats : l'appel à la qualité

Le *NAS report* et le *Hart House report* soulignent la complexité de l'interprétation des patrons de traces de sang et les nombreuses sources de variabilité dans les analyses. Les qualifications disponibles pour les experts ne possèdent aucune exigence académique. Les ateliers de formation enseignent la théorie de base de l'analyse des traces de sang, mais ils ne remplacent pas l'apprentissage pratique sur les scènes d'investigation. La méthodologie employée par les experts comporte des limites. Au bilan, les conclusions de l'expertise ont des taux d'erreurs importants et les experts sont sujets à de multiples biais et à des partis pris (Pollanen et al., 2013; US National Research Council, 2009).

Dans leurs conclusions, les NAS et Hart House Reports offrent des recommandations à la communauté scientifique pour fiabiliser les expertises. Parmi ces recommandations se trouve l'instauration de politique d'assurance qualité et de procédures de contrôle dans les laboratoires, consacrées par des mesures d'accréditation et de certification, censées assurer la fiabilité de ces expertises d'analyse des traces de sang. (Pollanen et al., 2013, p. 103; US National Research Council, 2009, p. 25).

Suivant ces recommandations, de nombreux laboratoires se sont lancés dans l'accréditation de leur pratique et la certification de leurs praticiens. Les accréditations utilisées sont les normes ISO/IEC 17025 (exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais) et ISO/IEC 17020 (exigences pour le fonctionnement de différents types d'organismes procédant à l'inspection) (Doyle, 2020). Des organisations se sont aussi implantées pour faciliter le développement des bonnes pratiques et des standards. Entre autres, l'Organization of Scientific Area Committees (l'OSAC) aux États-Unis en 2014 (Jones et al., 2023).

Mais cette politique assure-t-elle pour autant la fiabilité des analyses ? Le chapitre suivant détaillera donc dans un premier temps la mise en œuvre de l'assurance qualité en science forensique et plus particulièrement dans le domaine de l'analyse des traces de sang. Dans un second temps, à la suite du refus de participation du laboratoire provincial à cette étude prétextant ne pouvoir se conformer aux conditions imposées par le comité d'éthique de l'université, une analyse de données publiées questionnera la notion de fiabilité des analyses des traces de sang.

Chapitre 2 : Assurance qualité et fiabilité des analyses des traces de sang

2.1 L'assurance qualité et son application en science forensique

En science forensique, les normes ISO/IEC 17025 : 2017 (Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais) et ISO/IEC 17020 : 2012 (Évaluation de la conformité — Exigences pour le fonctionnement de différents types d'organismes procédant à l'inspection) sont préconisées par la communauté comme canevas général de contrôle de la qualité des résultats d'expertise. Les normes ISO/IEC 17025 et ISO/IEC 17020 sont divisées en 8 sections couvrant les sujets suivants (Organisation internationale de normalisation, 2012, 2017) :

1. Domaine d'application ;
2. Références normatives ;
3. Termes et définitions ;
4. Exigences générales ;
5. Exigences structurelles ;
6. Exigences relatives aux ressources ;
7. Exigences relatives aux processus ;
8. Exigences relatives au système de management

La norme ISO 17025 ayant comme raison d'être la justesse des résultats, elle couvre des sections axées sur l'analytique avec des sous-sections et annexes différentes telles que :

- 6.3 Installations et conditions ambiantes ;
- 6.5 Traçabilité métrologique ;
- 7.3 Échantillonnage ;
- 7.4 Manutention des objets d'essai ou d'étalonnage ;
- 7.6 Évaluation de l'incertitude de mesure ;
- 7.7 Assurer la validité des résultats ;
- Annexe A, Traçabilité métrologique ;
- Annexe B, Options relatives au système de management.

Expliquant l'intérêt de certains laboratoires vers la norme ISO/IEC 17020 supposée gérer cette problématique sur l'interprétation des résultats, comme les sous-sections suivantes le démontrent :

- 6.1 Personnel ;
- 6.2 Installations et équipements ;
- 7.1 Méthodes et procédures d'inspection ;
- 7.4 Rapports d'inspection et certificats d'inspection ;
- Annexe A, Exigences d'indépendance concernant les organismes d'inspection ;
- Annexe B, Éléments optionnels des certificats et rapports d'inspection.

Ces deux normes sont une combinaison de management de la qualité et d'exigences techniques (Doyle, 2019a). ISO définit la qualité comme étant « l'aptitude d'un ensemble de caractéristiques intrinsèques d'un objet (produit, service, processus, personne, organisme, système ou ressource) à satisfaire des exigences » (Organisation internationale de normalisation, 2015).

Une norme est une référence spécifique publiée par un organisme de normalisation, comme ISO. Il s'agit d'un document établissant des ensembles d'exigences et de dispositions visant à atteindre le degré optimal de qualité dans un contexte donné (Doyle, 2019a). L'utilisation du terme standard pour faire référence à une norme est trompeuse. Un standard n'est pas un référentiel publié, il s'agit d'une convention adoptée par la majorité. Les deux termes sont fréquemment inversés, à cause de la traduction anglophone. Le terme anglais « *standard* » est une norme et le terme « *convention* » est un standard (Doray et al., 2015).

Les normes sont variées et hiérarchisées, allant du niveau un au niveau quatre (voir figure 7). Le premier niveau comprend les normes internationales telles qu'ISO/IEC 17020 et ISO/IEC 17025. Le deuxième niveau comprend des guides d'applications des normes de premier niveau, tandis que le troisième niveau inclut les lignes de conduite, des descriptions d'éléments précis de la norme et des processus d'analyses. Quant à lui, le quatrième niveau comprend les opérations de procédure standard (SOP) pour une activité (Doyle, 2020) et des explications des exigences développées par les niveaux deux et trois.

Figure 7. Hiérarchie des Normes



Note. Tirée de « A review of the current quality standards framework supporting forensic science: Risks and opportunities », par Doyle, 2020, Wiley Interdisciplinary Reviews : Forensic Science, (2), fig. [4] (<https://doi.org/10.1002/wfs2.1365>). ©2019 Wiley Periodicals, Inc.

La démonstration de la conformité des laboratoires aux normes internationales de premier niveau s'effectue par une accréditation. Il s'agit d'une « attestation formelle délivrée par un tiers, qui confirme la compétence d'un organisme à s'acquitter de certaines fonctions » (Conseil canadien des normes, 2023). L'entité est évaluée par rapport aux normes reconnues telles qu'ISO/IEC 17025, qui garantit l'impartialité, la compétence et la conformité (Doyle, 2019a). Le processus est continu et a comme objectif d'améliorer la qualité des résultats avec la mise en place de lignes de conduite assurant que le produit, service ou système satisfait les exigences de la norme (Conseil canadien des normes, 2023; Muse, 2008; Smith & Kidwell, 2000). Un laboratoire est ainsi accrédité par un organisme indépendant assurant qu'il travaille conformément selon une norme, ici ISO/IEC 17025 ou ISO/IEC 17020. L'objectif de l'accréditation est d'assurer la fiabilité des résultats, de démontrer l'amélioration de la qualité et d'augmenter la confiance des utilisateurs.

L'accréditation englobe un contrôle externe des activités affectant la fiabilité des expertises effectuées par le laboratoire. Plusieurs aspects des activités sont vérifiés, tel que (Smith & Kidwell, 2000) :

- L'adéquation des installations (sécurité, contamination, équipements) ;

- La certification des employés ;
 - Expertise, expérience, éducation continue
- La satisfaction du système qualité du laboratoire ;
 - Échantillon de contrôle, échantillon standard, calibration de l'équipement, entretien, procédure d'opération standard écrite, limite de détection et de quantification
- Les performances du laboratoire lors de tests de compétences ;
- La conformité du laboratoire aux normes établies.

L'assurance qualité est mise en place de façon proactive pour minimiser la variation dans les analyses à un niveau considéré acceptable. Le principe étant qu'en identifiant, mesurant, minimisant et contrôlant les variations, les résultats des analyses seront fiables et de qualité adaptée à l'objectif attendu (Doyle, 2019a; Organisation internationale de normalisation, 2015; Tilstone, 2010).

Au sein des laboratoires, les praticiens doivent démontrer leur compétence, soit leur « aptitude à mettre en pratique des connaissances et des savoir-faire pour obtenir les résultats escomptés » (Organisation internationale de normalisation, 2015). Leur compétence peut être démontrée de plusieurs façons ; avec des qualifications, des formations, un développement professionnel continu, etc. Après une démonstration satisfaisante, le praticien est certifié par une organisation externe indépendante (Doyle, 2019a, 2020; Muse, 2008). L'accréditation d'un laboratoire et la certification des experts peuvent être motivées par des exigences dans la législation, l'admissibilité dans un réseau professionnel ou l'amélioration du laboratoire (Doyle, 2019a; Ross & Neuteboom, 2022).

Les politiques d'assurance qualité combinées au contrôle qualité constituent le système de management de la qualité (QMS). Le QMS englobe l'établissement de politiques d'assurance qualité, d'objectifs qualité et les processus pour atteindre les objectifs du laboratoire. Pour atteindre ces objectifs, le management influe sur la structure, le fonctionnement, les rôles et responsabilités, les politiques, la planification, les pratiques, les règles, les convictions et les processus de l'organisme. Le QMS permet aux laboratoires de science forensique de se conformer aux normes reconnues internationalement, assurant la fiabilité des résultats. De plus, il

permet de renforcer la confiance des praticiens, de la direction et des clients envers les résultats des expertises (Doyle, 2019a; Organisation internationale de normalisation, 2015; Ross & Neuteboom, 2021).

La conformation à ces normes, reconnue par les accréditations et les certifications, permettrait donc d'assurer la fiabilité des conclusions. Mais qu'est-ce que la fiabilité ? Le dictionnaire Larousse la définit comme le « caractère de quelque chose de fiable » ou « la probabilité pour que [...] un équipement complet soit utilisé sans défaillance pendant une période de temps déterminée, dans des conditions opérationnelles spécifiées » (Larousse, 2024).

La définition de la fiabilité fait donc appel à différentes notions scientifiques. Par exemple, en science forensique lors de la phase analytique d'acquisition et de traitement des données, nonobstant la reproductibilité des résultats, la fiabilité fait référence à la précision, soit la proximité des résultats obtenus par différents experts utilisant une méthode identique. Dans le système judiciaire, lors de l'évaluation du témoignage d'expert, la fiabilité vise des résultats solides, dignes de confiance et fidèles à la réalité, elle fait donc référence à l'exactitude (Christensen et al., 2014; Doyle, 2019b; Smith & Neal, 2021; Stern et al., 2019). Pour être fiables, les conclusions attendues des experts se doivent d'être justes, c'est-à-dire exactes et précises.

2.2 L'assurance qualité en analyses des traces de sang

Au premier niveau des normes (voir figure 7), on retrouve les deux normes générales ISO/IEC 17025 et ISO/IEC 17020 dans le domaine de l'analyse des traces de sang (Doyle, 2019c). Un exemple des normes de niveau 2 serait la publication ILAC P15 qui fournit de l'information pour l'application de la norme ISO/IEC 17020 (ILAC, 2024). Alors qu'au niveau trois, le COFRAC a publié les documents INS REF et les guides techniques d'accréditation INS GTA pour la norme ISO/IEC 17020 (COFRAC, 2024). Pour le niveau quatre, il existe le registre de l'OSAC qui propose quatre normes de *l'American National Standards Institute* (ANSI) et/ou de *l'Academy Standards Board* (ASB) en analyse des traces de sang. Ces quatre normes, énoncées ci-dessous, sont SDO-publiées, cela signifie que les normes ont complété le processus de consensus externe (National Institute of Standards and Technology, 2024).

- *ANSI/ASB Standard 032, Standards for a Bloodstain Pattern Analyst's Training Program*, ajoutée le 5 janvier 2023 ;
- *ASB Technical Report 033, Terms and Definitions in Bloodstain Pattern Analysis*, ajoutée le 3 juin 2020 ;
- *ANSI/ASB Standard 157, Required Components for a Proficiency Testing Program in Bloodstain Pattern Analysis*, ajoutée le 2 avril 2024 ;
- *ANSI/ASB Standard 158, Standard for Developing Standard Operating Procedures in Bloodstain Pattern Analysis*, ajoutée le 7 novembre 2023.

Les deux premières normes se retrouvent sur le site de l'IABPA, une association plus ancienne que l'OSAC, qui les recommandent à ses plus de 600 membres à travers le monde (International Association of Bloodstain Pattern Analysts, 2024b). On y trouvait encore dernièrement (décembre 2022), trois autres normes :

- *ANSI/ASB Standard 030, Standard for a Quality Assurance Program in Bloodstain Pattern Analysis* ;
- *ANSI/ASB Standard 031, Standard for Report Writing in Bloodstain Pattern Analysis* ;
- *ANSI/ASB Standard 072, Standard for the validation of procedures in Bloodstain Pattern Analysis*.

Elles ont depuis été retirées du registre de l'OSAC, potentiellement à la suite d'un article critiquant le manque de validation des normes, la subversion des processus de leur développement et leur possible impact négatif sur la pratique (Morrison et al., 2020). Ces normes concernaient respectivement les exigences pour l'établissement et le maintien d'un programme d'assurance qualité documenté, les lignes de conduite pour la rédaction d'un rapport en analyse des traces de sang, et la validation des procédures et des nouveaux équipements en analyses des traces de sang (International Association of Bloodstain Pattern Analysts, 2024b).

Concernant les normes actives présentement, la norme ANSI/ASB 032 oriente les prestataires de services forensiques concernant la mise en place d'un programme de formation en traces de sang. Elle définit les exigences minimales pour l'éducation préalable à la formation

d'analystes en traces de sang, ainsi que la durée et les exigences de la formation d'un apprenti en traces de sang. Concernant l'éducation, l'individu doit être titulaire d'un baccalauréat, avoir suivi un cours de trigonométrie, ainsi que de posséder des compétences théoriques et de laboratoire dans les domaines de la biologie, la physique et la chimie. Pour ce qui est de la formation d'analystes en traces de sang, elle doit être documentée et conservée par l'employeur ou le praticien. Cette formation doit être supervisée par un analyste en traces de sang actif avec un minimum de trois années d'expérience (mentor). Elle doit couvrir plusieurs sujets pertinents à l'analyse des traces de sang tels que (American National Standards Institute/Academy Standards Board, 2020) :

- La santé et la sécurité ;
- Les composantes d'un système qualité ;
- L'historique de l'analyse des traces de sang ;
- Les comportements du sang sur tous types de substrats et en toute situation ;
- La méthode scientifique et les étapes d'analyses des traces de sang ;
- La documentation adéquate des traces de sang et d'une scène de crime ;
- La collecte et la préservation des traces de sang.

Après la formation, le postulant doit suivre un programme de mentorat pour un minimum d'un an. Il doit étudier des dossiers d'analyses de traces de sang complétés et observer les tâches de son mentor. Cela comprend les scènes de crime en traces de sang, le travail en laboratoire et le témoignage en cours de justice. Les compétences apprises lors de la formation doivent être évaluées lors de ce mentorat (American National Standards Institute/Academy Standards Board, 2020).

De plus, un analyste en trace de sang doit effectuer une formation continue. Il doit accomplir un minimum de huit heures de formation en traces de sang par année, se maintenir à jour concernant la littérature en traces de sang et devrait être membre d'une association ou organisation en traces de sang (American National Standards Institute/Academy Standards Board, 2020).

Pour ce qui est du rapport technique ASB 033, il contient une liste des termes et définitions utilisés en analyses des traces de sang. Le document décrit ce qu'est une trace de sang, un patron de trace de sang, les différents types de patrons et tous les termes reliés à l'analyse des traces de sang. Utilisés en conjonction avec les documents de traduction de l'IABPA, les termes sont définis dans 16 langues (American National Standards Institute/Academy Standards Board, 2017; Groupe Francophone de Morphoanalyse, 2014).

La norme ANSI/ASB 157 concerne les lignes de conduite pour le développement et l'adoption d'un programme de vérification des compétences. Cela comprend quelle capacité l'expert doit posséder pour effectuer des tâches en analyses des traces de sang. Par exemple, les individus doivent pouvoir reconnaître des patrons en traces de sang, calculer les angles d'impact, prendre des photographies de scène de crime adéquate, etc. Ces tests doivent être réalisés annuellement et évalués par un expert en traces de sang activement engagé dans le domaine (American National Standards Institute/Academy Standards Board, 2023a).

La norme ANSI/ASB 158 concerne les lignes de conduite sur le développement de procédures d'opérations standards. La norme spécifie des exigences concernant les équipements, les matériaux, les réactifs, les calculs, la documentation, la sécurité et la création des rapports (American National Standards Institute/Academy Standards Board, 2023b).

Concernant la discordance entre les normes affichées sur le site de l'IABPA et le site de l'OSAC, j'émetts l'hypothèse qu'il s'agit d'un manque de mise à jour du site de l'IABPA. En effet, les deux normes manquantes ont été publiées en avril 2024 et en novembre 2023. Il s'agit des plus récentes sur le site de l'OSAC (International Association of Bloodstain Pattern Analysts, 2024b; National Institute of Standards and Technology, 2024).

Cependant, ces normes restent américaines et les autres pays gardent toute liberté pour les adopter, s'en inspirer ou développer leurs propres normes de niveaux 2, 3 et 4 selon le canevas ISO/IEC 17025 ou ISO/IEC 17020. Par exemple, l'Europe dispose de ses propres normes publiées par l'ENFSI et le Royaume-Uni les voit énoncer par le *Forensic science Regulator* dans le code de pratique et de conduite (Doyle, 2019c).

2.3 Fiabilité de l'analyse des traces de sang

Notre recherche bibliographique de plus de 414 articles (disponible dans les *materials*) a identifié deux études pertinentes concernant les taux d'erreurs en analyse des traces de sang qui aborde la notion de fiabilité par les performances d'exactitude, de précision et de justesse. Il s'agit des études « *Reliability Assessment of Current Methods in Bloodstain Pattern Analysis* » par (Laber et al., 2014) et « *Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts* » par (Hicklin et al., 2021).

Ces deux études ont été effectuées à la suite des rapports NAS et Hart House. Les participants de ces études sont des experts opérationnels en analyse des traces de sang, représentatifs des praticiens en fonction active. Ces études évaluent les taux d'erreurs des praticiens en traces de sang, et non les taux d'erreur lors de l'utilisation d'un logiciel. Elles permettent d'évaluer la fiabilité de l'analyse en déterminant les taux d'erreur lors de l'identification des mécanismes sur les photographies.

Étant donné que ces études évaluent les taux d'erreur, il est nécessaire de définir ce qu'est un vrai positif et un faux positif. La définition que nous utiliserons dans ce travail est personnelle. Son objectif est d'intégrer les réponses indéterminées dans le calcul de la sensibilité et sélectivité tout en considérant les situations indésirables.

Un vrai positif est défini comme un patron correctement associé à son mécanisme de création sur la base de caractéristiques similaires partagées avec un patron de référence, telles que la forme, la taille, la distribution et la dispersion des traces de sang, etc. (Banks et al., 2021). Un faux positif est un patron associé à un mécanisme qui n'est pas celui de sa création, soit une mauvaise association prononcée entre un patron et un mécanisme. Un faux négatif est l'incapacité de déterminer un mécanisme à partir d'un patron observé. Bien que l'incapacité à déterminer un mécanisme à partir d'un patron observé soit souvent une sage décision, l'indétermination de l'analyste peut être considérée comme un faux négatif, puisqu'il n'a pas été en mesure de détecter le mécanisme.

La sélectivité est la probabilité de rejeter correctement un mécanisme lorsque celui-ci n'est pas à l'origine du patron. Elle correspond à $1 - \text{le taux de faux positifs}$. Ainsi, lorsque la sélectivité est égale à 1, le taux de faux positifs est égal à 0, ce qui signifie que l'observation du

patron permet de déterminer sans ambiguïté le mécanisme l'ayant généré, puisqu'il est impossible qu'il s'agisse d'un autre mécanisme. On parle alors de spécificité. Le pouvoir discriminant (PD) est la sélectivité :

$$\text{Pouvoir Discriminant (PD)} = \text{Sélectivité}$$

$$PD = 1 - \text{taux faux positifs}$$

Ainsi, lorsque les caractéristiques évaluées ne sont présentes que dans la situation investiguée, la sélectivité est de 1 (spécificité) et le PD est de 100 %.

Finalement, la sensibilité est la probabilité de détecter adéquatement un mécanisme lorsqu'il est à l'origine du patron, donc présent. Elle correspond à 1 - le taux de faux négatifs. Ainsi, lorsque la sensibilité est égale à 1, le taux de faux négatifs est égal à 0. La sensibilité est une mesure de la limite de la capacité de détection d'une méthode.

Une fois posés ces critères de performance des méthodes, plongeons-nous dans les deux publications indiquées.

2.3.1 *Reliability Assessment of Current Methods in Bloodstain Pattern Analysis (Laber et al., 2014)*

L'étude, effectuée pour le département de la Justice aux États-Unis, a comme objectif d'évaluer la fiabilité de l'identification de patrons de traces de sang effectuée par des participants ayant un minimum de cinq ans d'expérience, ayant complété une formation en traces de sang d'un minimum de 80 h et qualifiés d'experts en cour de justice. La certification des participants et leur emploi dans un laboratoire accrédité ne sont pas des conditions nécessaires à la participation à l'étude.

L'étude est effectuée en deux phases distinctes. Participant à la première phase 27 analystes en traces de sang de l'Amérique du Nord, de l'Europe et de l'Australie. Des patrons de traces de sang sont produits sur trois substrats rigides non absorbants : de la peinture, du papier peint et des *chipboard* (panneau de particule de bois aggloméré). En ce qui concerne la seconde phase, 30 analystes provenant des mêmes régions participent. Les patrons de traces de

sang sont produits sur trois substrats en tissus : des pantalons habillés en polyester, des jeans en denim bleus et des pantalons de survêtement en coton gris.

Pour chacune des phases, chaque participant reçoit plusieurs photographies de patrons de traces de sang et une liste de différents mécanismes. Deux questions sont posées aux participants, l'une de classification unique, l'autre de classifications multiples. La première question requiert d'identifier parmi la liste de mécanismes lequel correspond le mieux au patron observé. La deuxième question demande si plusieurs autres mécanismes expliquent le mieux les traces de sang constituant le patron, avec la possibilité de modifier leur réponse initiale. Une erreur est effectuée lorsque le mécanisme à l'origine des traces de sang n'a pas été trouvé et qu'un autre mécanisme a été proposé, constituant alors un faux positif. Il est aussi possible pour l'analyste de n'émettre aucune identification et de répondre que le patron est non concluant, ce qui n'est pas considéré comme un faux négatif, puisque la réponse n'est pas considérée comme une erreur. Les taux de faux positifs se situent entre 14 % et 21 % pour la classification unique et entre 13 % et 24 % pour la classification multiple (voir le tableau 4).

Tableau 4. Distribution des réponses aux questions dans la publication de Laber et al (2014).

| Substrat | Classification unique | | Classification multiple | |
|------------------|-----------------------|--------|-------------------------|--------|
| | Rigide | Tissus | Rigide | Tissus |
| Taux de réussite | 26,2% | 26,3% | 69,5% | 62,3% |
| Taux d'erreur | 20,6% | 14,7% | 13,1% | 23,4% |
| Non concluant | 53,2% | 58,9% | 17,4% | 14,3% |

Note. Données extraites de l'article « Reliability Assessment of Current Methods in Bloodstain Pattern Analysis » par (Laber et al., 2014).

Dans cette étude, le mécanisme de création du patron de traces de sang présenté aux participants est toujours présent. Avec ces données, il est possible d'en extraire la sensibilité.

$$\text{Sensibilité} = \text{taux}(\text{Vrais Positifs})$$

$$\text{taux (Vrais Positifs)}_{\text{Rigide}} = \left(\frac{26.2}{26.2 + 53.2} \right) = 0.3299$$

$$Sensibilité_{Rigide} = 33\%$$

La sensibilité en classification unique est de l'ordre de 33 % pour les surfaces rigides et de 31 % pour les tissus. Pour ce qui est de la classification multiple, la sensibilité est de l'ordre de 80 % pour les surfaces rigides et de 81 % pour les tissus. On observe une augmentation importante de la sensibilité lors de la classification multiple. En analysant plus en profondeur les données fournies par les auteurs de l'étude, il est possible de déterminer quelle est la cause de cette augmentation de la sensibilité.

Tableau 5. Distribution des réponses des participants de l'étude de Laber et al (2014). lors de la classification des surfaces rigides

| | Unique | Multiple |
|---------------|--------|----------|
| Réussite | 108 | 287 |
| Erreur | 85 | 54 |
| Non concluant | 219 | 72 |
| Total | 412 | 413 |

Note. Données extraites de l'article « Reliability Assessment of Current Methods in Bloodstain Pattern Analysis » par (Laber et al., 2014).

Parmi les 193 participants ayant offert une identification lors de la classification unique sur les surfaces rigides, 85 ont tort, cela équivaut donc à un taux d'erreur de 44 % (tableau 5). Toutefois, dans la classification multiple, 54 des 341 participants ayant offert une identification ont tort, ce qui équivaut à un taux d'erreur de 16 %. De plus, les auteurs de l'étude spécifient que, parmi les 85 réponses erronées de la phase de classification unique, 52 % d'entre eux ont par la suite correctement identifié le patron lors de la classification multiple, soit 45 participants. Les 341 réponses concluantes de la phase de classification multiple peuvent être développées comme suit :

287 bonnes réponses :

- 108 bonnes réponses initialement trouvées en classification unique ;
- 45 bonnes réponses corrigées, auparavant erronées lors de la classification unique ;
- 134 bonnes réponses, initialement non concluantes en classification unique.

54 mauvaises réponses :

- 40 mauvaises réponses de la classification unique maintenues en classification multiple ;
- 14 mauvaises réponses, initialement non concluantes en classification unique.

En tout, 148 participants qui n'avaient fourni aucune réponse lors de la première phase se sont prononcés sur un ou des mécanismes lors de la deuxième phase. De ces 148 participants, 14 ont produit une mauvaise réponse. Au bilan, le taux de succès avec les surfaces rigides pour les participants ayant offert une classification multiple est de 90 %, alors qu'il est de 56 % pour la classification unique.

$$\frac{134 \text{ bonnes réponses}}{148 \text{ nouveaux participants}} = 90\%$$

Lors de la classification unique sur les tissus, parmi les 131 participants ayant offert une identification, 47 ont tort, cela équivaut à un taux d'erreur de 36 %. Alors que dans la classification multiple, des 275 participants ayant offert une identification, 75 ont tort, ce qui équivaut à un taux d'erreur de 27 %. De plus, les auteurs de l'étude ajoutent que, parmi les 47 réponses erronées de la phase de classification unique, 23 % d'entre eux ont par la suite correctement identifié le patron lors de la classification multiple, soit 11 participants. Les 275 réponses concluantes de la phase de classification multiple peuvent être développées comme suit :

200 bonnes réponses :

- 84 bonnes réponses initialement trouvées en classification unique ;
- 11 bonnes réponses corrigées, auparavant erronées lors de la classification unique ;
- 105 bonnes réponses, initialement non concluantes en classification unique.

75 mauvaises réponses :

- 36 mauvaises réponses de la classification unique maintenues en classification multiple ;
- 39 mauvaises réponses, initialement non concluantes en classification unique.

En tout, 144 participants qui s'étaient retenus de répondre lors de la première phase se sont prononcés sur un ou des mécanismes lors de la deuxième. De ces 144 participants, 39 ont produit une mauvaise réponse. Au bilan, le taux de succès, sur les tissus, pour les participants ayant offert une classification multiple est de 75 %, alors qu'il est de 64 % pour la classification unique.

Les conditions expérimentales de Laber et al. (2014), peinent cependant à se rapprocher des situations rencontrées lors des expertises. Si la classification unique ressemble à une question spécifique posée à un analyste, force est de constater que le bon mécanisme doit être inclus. La classification multiple peut paraître similaire à un dossier d'expertises plus complet où différentes hypothèses de mécanisme sont étudiées, cependant l'une d'entre elles doit tout de même contenir le bon mécanisme.

En se basant sur les conditions de cette étude, lorsque les analystes sont libres de donner leurs conclusions, le taux de réussite est de 90 % sur les surfaces rigides et de 75 % sur les tissus (expérience de la classification multiple). Toutefois, lorsque les analystes sont restreints à un seul mécanisme, le taux de réussite n'est que de 56 % sur les surfaces rigides et de 64 % sur les tissus.

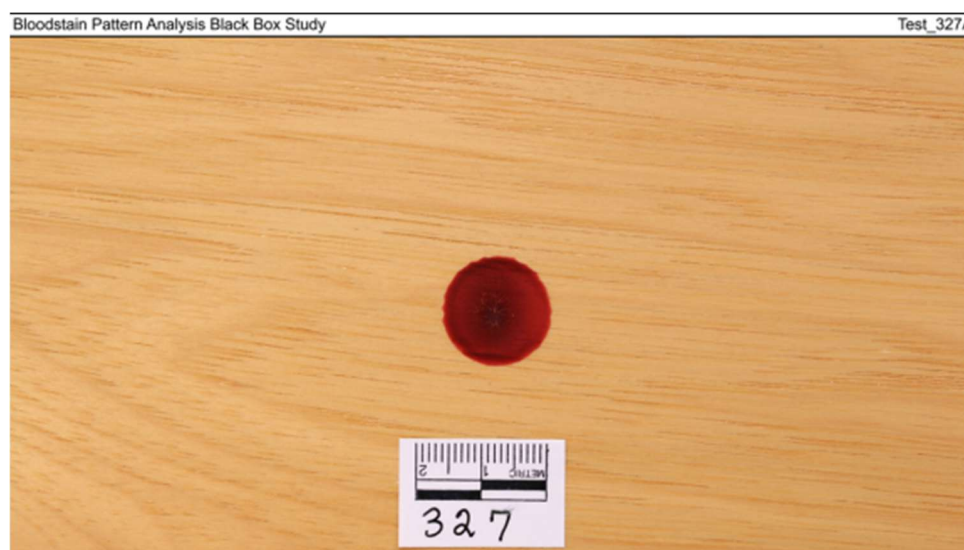
De plus, parmi les réponses erronées des surfaces rigides (54) et des tissus (75), respectivement 40 et 36 proviennent de la classification unique et ont été maintenues. De plus, respectivement 26 et 18 de ces erreurs maintenues sont restées le choix unique des analystes alors que leur était offerte la possibilité de proposer d'autres mécanismes. N'observe-t-on pas alors un biais d'ancrage soit une influence de la première impression, un maintien de la première décision (Furnham & Boo, 2011) ? Voire l'effet de Dunning Kruger, soit un effet de sur confiance, de surestimation de soi et de ses compétences dans un domaine (Dunning, 2022) ?

Finalement, dans une dernière partie de l'étude, des informations contextuelles sont ajoutées aux patrons présentés aux participants pour créer des contextes biaisés positivement ou négativement. Ces informations peuvent être neutres, dirigées vers une classification appropriée ou dirigées vers une classification erronée. Lorsque les informations dirigent vers la classification appropriée, les taux d'erreur diminuent. À l'inverse, lorsque les informations dirigent vers une classification erronée, les taux d'erreur augmentent. Nous sommes ici face au biais de disponibilité (Tversky & Kahneman, 1973).

2.3.2 Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts (Hicklin et al., 2021)

L'étude a comme objectif l'évaluation de l'exactitude et de la reproductibilité des conclusions d'identification des patrons de traces de sang.

Figure 8. Exemple d'un relevé de traces de sang fourni aux participants de l'étude de Hicklin et al (2021). (Relevé n° 327)

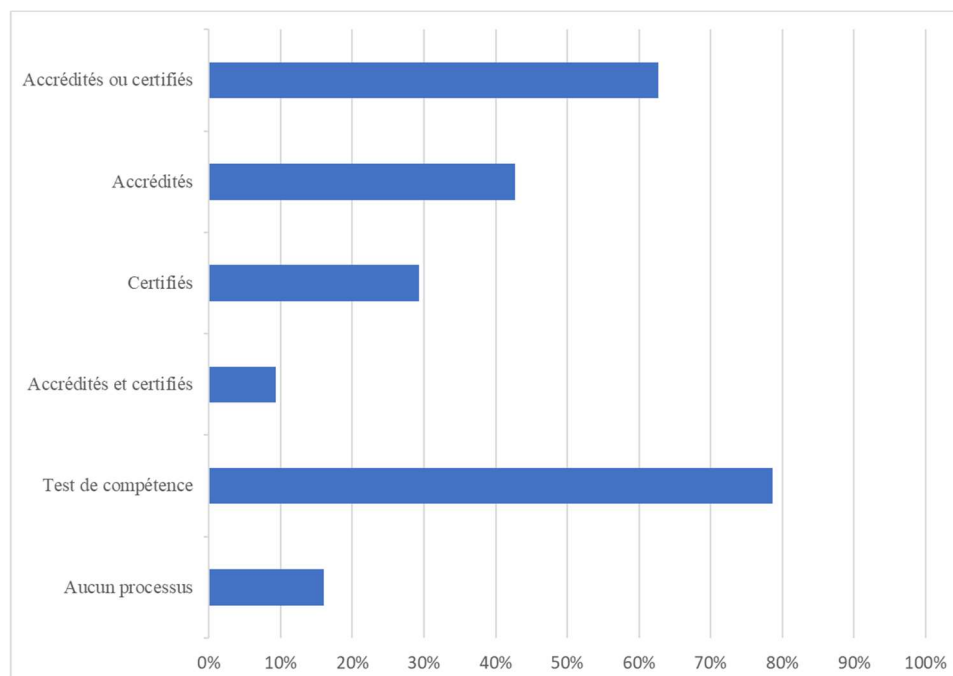


Note. Tiré de « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts », par Hicklin et al., 2021, Forensic Science International, (325), (<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110856>). © 2021 Hicklin et al. Published by Elsevier B. V. (CC-BY)

Lors de l'étude, 192 relevés de traces de sang ont été utilisés, 123 créés en laboratoire et 69 provenant de scènes de crime réelle. La figure 8 représente un exemple de relevé pouvant être fourni aux participants. En tout, 75 analystes ont participé à l'étude. Il s'agit de praticiens ayant effectué, dans le cadre de leurs fonctions, des analyses en traces de sang dans les deux dernières années (rédaction de rapport en traces de sang, témoignage en cours de justice). De plus, les participants doivent s'exprimer adéquatement en anglais pour éviter des problèmes de communication. La certification des participants et leur emploi dans un laboratoire accrédité ne sont pas requis pour participer à l'étude. Cependant, les données concernant les processus

d'assurance qualité suivis par les participants sont disponibles dans le matériel annexe à la publication (voir figure 9).

Figure 9. Processus d'assurance qualité que les participants possèdent ou ont effectué dans le cadre de leur fonction



Note. Données extraites de l'appendice de l'article « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts » par (Hicklin et al., 2021).

Seulement 12 participants sur les 75 n'ont été soumis à aucun processus d'assurance qualité permettant d'évaluer leurs compétences. 59 participants ont effectué des tests de compétence, avec plus de la moitié dans la dernière année. 22 participants sont certifiés par l'IAI, la GRC ou un autre organisme et 32 travaillent dans un laboratoire accrédité ISO17025 ou ISO 17020. Il s'agit d'une représentation la plus fidèle possible de la situation dans les laboratoires offrant des services en analyses des traces de sang.

Chaque participant effectuant l'étude reçoit 150 relevés à analyser, séparés en 3 phases. La première phase consiste à fournir des conclusions sommaires du relevé. La réponse doit être sous la forme d'un court texte exprimant les observations concernant les traces de sang et le(s)

mécanisme(s) responsables de leur création. Ces réponses ne sont pas utilisées dans l'évaluation de l'exactitude, mais servent à la construction des deux autres types de questions dans les phases deux et trois.

La deuxième phase consiste en des demandes de classification. Pour chaque relevé reçu, jusqu'à six mécanismes possibles sont présentés au participant. Il doit identifier parmi ceux-ci le ou lesquels décrit/vent correctement les traces observées. Il est possible que plus d'un mécanisme dans la liste soit correct, voire aucun d'entre eux. Pour chaque mécanisme, trois choix de réponse sont offerts aux participants :

- *Definitive*, le mécanisme est impliqué dans la création du relevé.
- *Excluded*, le mécanisme n'est pas impliqué dans la création du relevé.
- *Included*, il est incertain si le mécanisme est impliqué ou exclu de la création du relevé.

Par exemple, les mécanismes présentés pour le relevé n° 327 (voir figure 8) sont : goutte passive (*drip stain*), cheminement (*drip trail*), sang propulsé (*projected pattern*) et trace de sérum (*serum stain*).

Les résultats des participants lors de la classification des 123 relevés créés en laboratoire (donc possédant un scénario de création connu) sont présentés au tableau 6.

Tableau 6. Distribution des réponses aux demandes de classification dans l'article de Hicklin et al., (2021).

| Décisions (effet) | Vérité de base | |
|----------------------|------------------------------|------------------|
| | Mécanisme présent (cause) | Mécanisme absent |
| Definitive | 21,30 % | 5,09 % |
| Included | 12,93% | 18,76% |
| Excluded | 6,11% | 35,81% |
| | 40,34% | 59,66% |
| | | 100,00% |

Note. Données extraites du document Excel *Supplemental Data S3 : Response data* de l'article « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts » par (Hicklin et al., 2021).

La réponse « Included » est une indécision concernant l'inclusion ou l'exclusion du mécanisme. Or un faux négatif se produit lorsque l'expert est incapable d'identifier le mécanisme à la base d'un patron présent dans le relevé. Ainsi, lorsque le mécanisme est présent, les réponses « *Included* » peuvent donc être considérées comme des faux négatifs. A contrario, les faux positifs sont une mauvaise association prononcée entre le patron et un mécanisme. Ainsi lorsque le mécanisme est absent, les réponses « *Included* », ne soutenant pas explicitement l'association, ne peuvent être considérées comme des faux positifs. Les conséquences des faux négatifs et des faux positifs concernant la sensibilité et la sélectivité sont :

$$Sensibilité_{Classification} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{0.2130}{0.4034} \cong 53\%$$

$$PD_{Classification} = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{(0.1876 + 0.3581)}{0.5966} \cong 91\%$$

La troisième phase consiste en des questions courtes concernant des mécanismes possibles. Trois réponses sont possibles :

- Oui – en accord avec l'entièreté de la question ;
- Non – en désaccord avec l'entièreté de la question ;
- Possible – réponses incertaines, la question est partiellement vraie ou partiellement fausse.

Par exemple, une question appropriée avec le relevé n° 327 (voir figure 8) : « Est-ce que ces traces de sang ont été créées par du sang s'écoulant de la main d'un individu courant rapidement ? » [Traduction libre] (Hicklin et al., 2021).

Les résultats des participants aux questions des 123 relevés créés en laboratoire (possédant un scénario de création connu) sont présentés au tableau 7.

Tableau 7. Distribution des réponses aux questions dans l'article de Hicklin et al., (2021).

Vérité de base

| Décisions | Mécanisme présent | Mécanisme absent | |
|-----------|-------------------|------------------|----------|
| Oui | 15,16 % | 8,23 % | 23,39 % |
| Possible | 14,56 % | 32,87 % | 47,43 % |
| Non | 2,73 % | 26,44 % | 29,17 % |
| | 32,45 % | 67,55 % | 100,00 % |

Note. Données extraites du document Excel *Supplemental Data S3 : Response data* de l'article « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts » par (Hicklin et al., 2021).

La réponse « Possible » est une indécision concernant l'inclusion ou l'exclusion. Or, un faux négatif se produit lorsque l'expert est incapable d'identifier le mécanisme à la base d'un patron présent dans le relevé. Ainsi, lorsque le mécanisme est présent, les réponses « Possible » peuvent donc être considérées comme des faux négatifs. A contrario, les faux positifs sont une mauvaise association prononcée entre le patron et un mécanisme. Ainsi lorsque le mécanisme est absent, les réponses « Possible » ne soutenant pas explicitement l'association, ne peuvent être considérés comme des faux positifs. Les conséquences des faux négatifs et des faux positifs concernant la sensibilité et la sélectivité sont :

$$Sensibilité_{Question} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{0.1516}{0.3245} \cong 47\%$$

$$PD_{Question} = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{(0.3287 + 0.2644)}{0.6755} \cong 88\%$$

La sensibilité et la sélectivité des participants sont plus élevées lorsqu'ils doivent classer les patrons que lorsqu'ils doivent répondre à des questions.

2.3.3 Précision et reproductibilité

Comme expliqué à la section 2.1, la fiabilité réfère à la reproductibilité, la précision et l'exactitude des résultats d'expertises. Les taux d'erreur estimés par les deux études précédentes adressent l'exactitude. L'étude d'Hicklin et al. (2021), propose et évalue aussi deux critères de performance, le consensus et une notion de reproductibilité, cette dernière posant ici quelques problèmes de compréhension.

Selon ces auteurs, le consensus est l'accord entre les analystes concernant un mécanisme présent dans un relevé, il correspond donc à la précision. La reproductibilité, quant à elle, mesure la quantité de réponses similaires — même erronées — des autres participants par rapport à un analyste particulier. On peut questionner l'intérêt de cette « reproductibilité », sinon pour constater d'éventuels scénarios plus problématiques pour tous les analystes.

Le consensus est évalué à partir des 123 relevés créés en laboratoire, donc connus. Cette précision est évaluée séparément pour :

- Les demandes de classification et les questions concernant un mécanisme soutenant un patron présent.
- Les demandes de classification et les questions concernant un mécanisme ne soutenant pas un patron présent.

Les données de l'étude permettent de calculer un rapport de vraisemblance (LR) pour la classification des patrons en analyse des traces de sang, lorsque nous savons si un mécanisme donné est présent ou absent. Une telle approche est d'ailleurs similaire à celle de la médecine, où les rapports de vraisemblance (LR) sont des critères de performance des tests diagnostiques (Dujardin et al., 1994). La matrice de confusion suivante synthétise les réponses des participants à toutes les demandes de classification :

Tableau 8. Matrice de confusion des performances des experts lors de la phase de classification

| | Mécanisme présent | Mécanisme absent | |
|--------------|-------------------|------------------|--------|
| Definitive | VP = 2478 | FP = 592 | 3070 |
| Excluded | FN = 711 | VN = 4166 | 4877 |
| Inconclusive | 1504 | 2183 | 3687 |
| | 4693 | 6941 | 11 634 |

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{2478}{2478 + 711 + 1504} = 0.528$$

$$Sélectivité = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{4166 + 2183}{592 + 4166 + 2183} = 0.915$$

$$LR = \frac{Sensibilité}{1 - Sélectivité} = \frac{0.528}{1 - 0.915} = 6.21$$

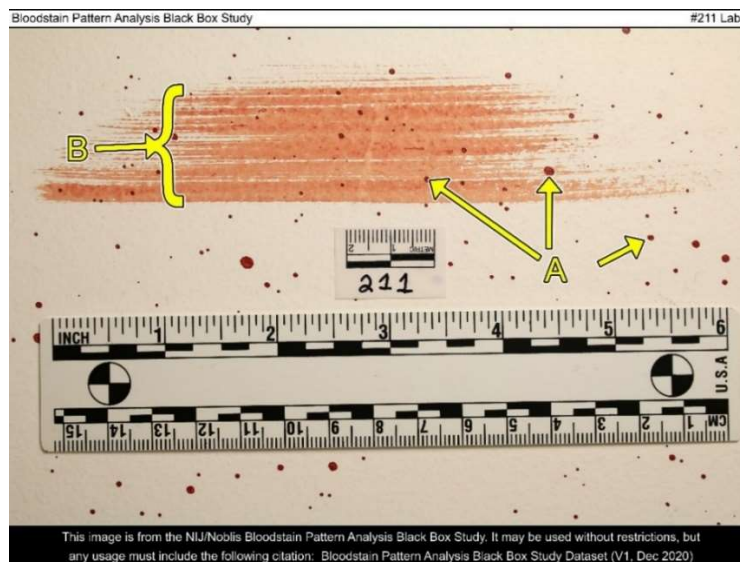
La sensibilité et la sélectivité calculées sont identiques à celles trouvées dans la section 2.3.2, ce qui soutient notre bonne compréhension des expériences de Hicklin et al. (2021). Le LR de la phase de classification en analyse des traces de sang serait de l'ordre de 6, l'échelle verbale du LR le classant alors en support limité pour l'hypothèse des mécanismes corrects soit H1 (Evet et al., 2000; Mullen et al., 2014). Cependant, ce LR ne prend pas en compte la complexité inhérente de chaque scénario (mécanisme présent ou absent dans la création de la trace), ou encore la sélectivité tendant vers la spécificité de certaines observations, produisant alors un LR de magnitude bien supérieure pour le scénario. Les scénarios 211, 647 et 481 permettent d'illustrer ces situations.

Classification avec mécanisme présent : exemple du relevé 211

Hicklin et al. (2021), disposent de 100 relevés de traces de sang, dont le ou les mécanismes de création sont inclus dans les choix de réponses offerts aux participants (d'où le terme mécanisme(s) présent(s)). Les 75 experts en traces de sang sont testés sur ces 100 relevés de la façon suivante :

- 1) Envoi d'un relevé à l'expert
- 2) Jusqu'à 6 mécanismes sont présentés, dont au moins l'un d'entre eux correspond à un patron présent (dénommé alors mécanisme présent).
- 3) Enregistrement des réponses de chaque participant.

Figure 10. Relevé des traces de sang n° 211



Note. Figure extraite de « Bloodstain Pattern Analysis Black Box Study Dataset (V1, Dec 2020) » par (Noblis).

Par exemple, pour les traces de sang du relevé n° 211 (figure 10), il y a trois mécanismes de création (traces satellites, transfert et projection) pour les deux patrons A et B proposés. Les mécanismes proposés aux participants pour ces patrons sont dans le tableau 9.

Tableau 9. Réponses des 19 participants pour chaque mécanisme du relevé n° 211

| Relevé 211 | | | | |
|--------------------------|----------------|------------|----------|----------|
| Mécanisme | Vérité de base | Definitive | Included | Excluded |
| (A) : Impact | Absent | 4 | 15 | 0 |
| (A) : Traces satellites | Présent | 0 | 4 | 15 |
| (A) : Projection | Présent | 16 | 3 | 0 |
| (B) : Transfert | Présent | 10 | 5 | 4 |
| (B) : Altération glissée | Absent | 1 | 1 | 17 |

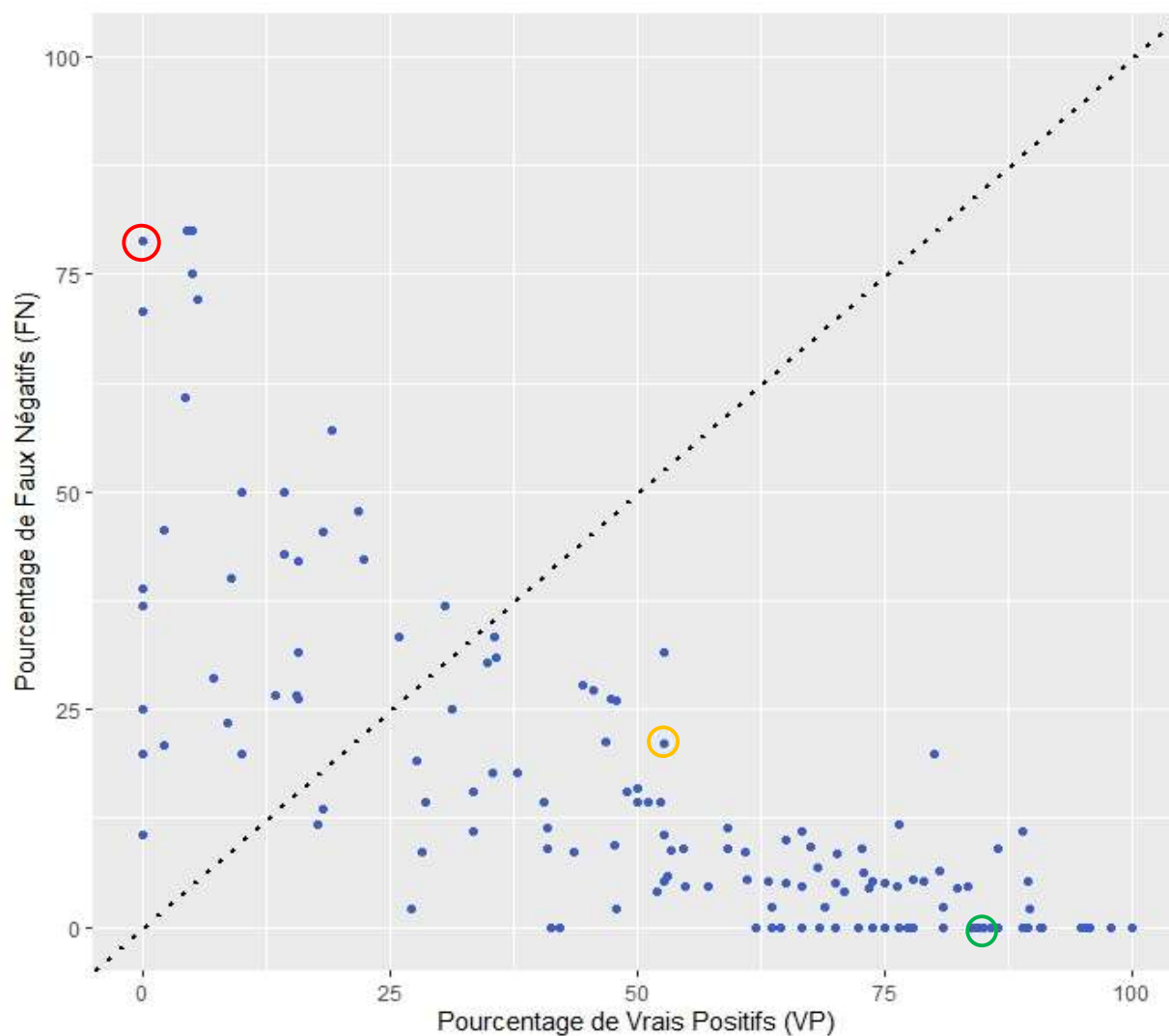
Les auteurs de l'étude ont ajouté deux mécanismes absents lors de la présentation aux participants, un mécanisme d'impact et un autre d'altération glissée. Les réponses des 19 participants pour chaque mécanisme sont visibles dans le tableau 9, avec les réponses correctes surlignées en vert. Sachant que pour le mécanisme présent, les *excluded* sont une erreur

et que pour un mécanisme absent les *definitive* sont une erreur, on constate alors que les mécanismes d'impact et de traces satellites ont un pourcentage de réponses correctes de 0 %.

Une observation des réponses des participants à ces cinq classifications proposées permet de constater les erreurs effectuées. Il est possible d'affirmer que les classifications associées aux traces B sont correctement répondues alors que celles associées aux traces A posent des problèmes (voir la figure 10 et le tableau 9). En effet, seul le mécanisme de projection est correctement classifié, alors que 76 % des participants ont choisi l'indécision pour l'impact et l'exclusion pour les traces satellites, réponses qui sont erronées. En prenant connaissance des données du scénario n° 211, non connu des analystes, il apparaît que ces traces satellites ont été créées sur une surface de gypse à l'horizontale contenant déjà des traces de transfert. Ces traces émanent de projections résultant de sang s'égouttant sur un *plywood* à environ 50 cm de hauteur et vers la gauche du gypse. On reconnaît dès lors un scénario plus complexe que le simple dépôt de traces satellites, qui peut expliquer les 78 % d'erreur et les 22 % d'indécision. Pour autant, on constate un taux d'identification correcte du mécanisme de projection sur le relevé n° 211 par ces mêmes experts.

En répétant ce processus sur les 100 relevés de traces de sang, on aboutit alors à un total de 157 mécanismes présents proposés. Il est alors possible d'extraire des données de Hicklin et al. (2021), les réponses correctes et incorrectes des 157 mécanismes. Les 157 points de la figure 11 représentent les performances calculées pour chacun des mécanismes, l'abscisse étant les proportions de vrais positifs et l'ordonnée les proportions de faux négatifs. La figure 11 nous permet d'accéder à la sensibilité des analyses pour chaque mécanisme.

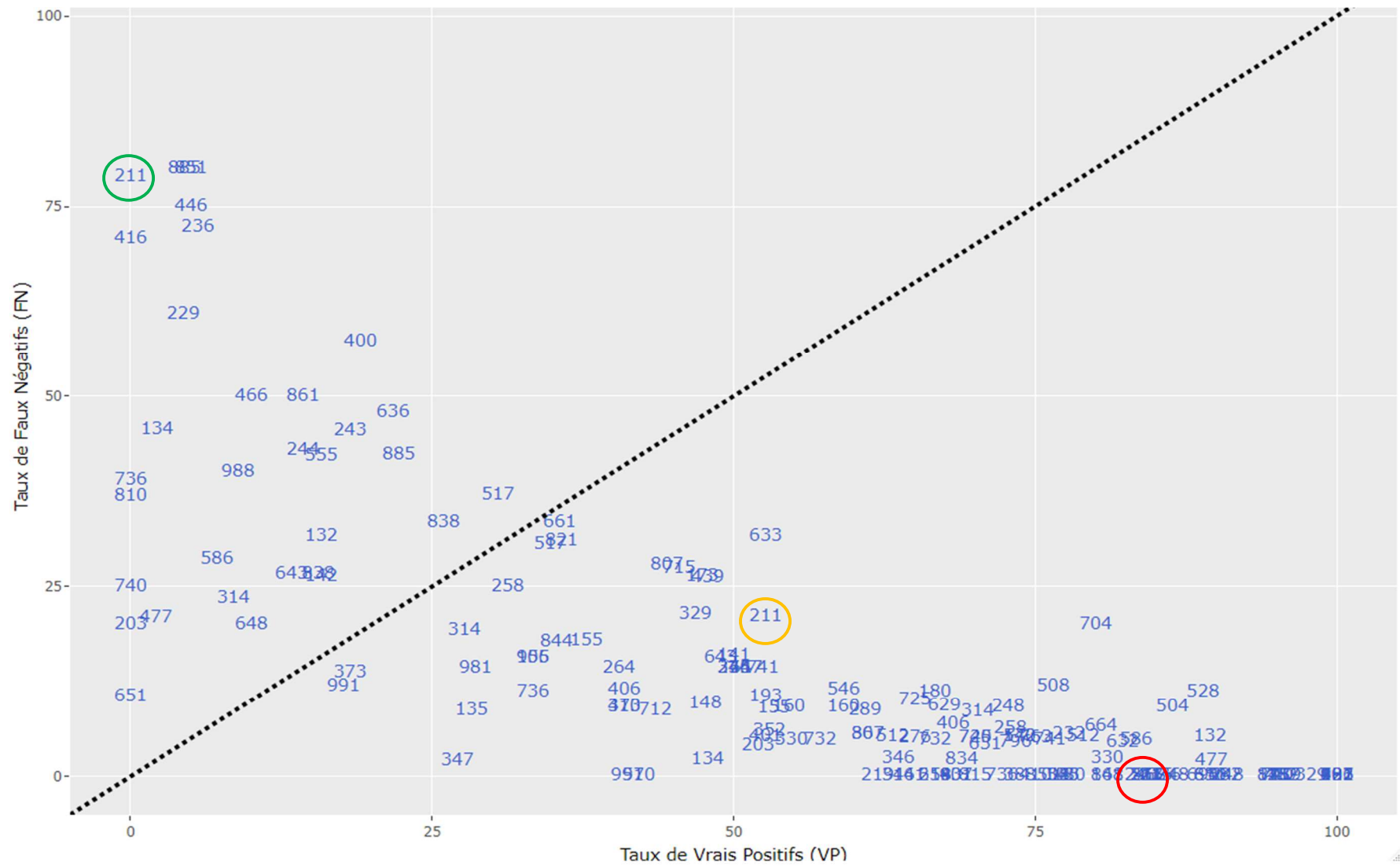
**Figure 11. Sensibilité de la phase de classification
(mécanisme présent)**



Note. Données extraites du document Excel « Supplemental Data S3 : Response data » de l'article « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts » par (Hicklin et al., 2021).

Une simple modification de l'affichage de la figure 11 permet de détecter plus rapidement les relevés contenant des mécanismes posant des problèmes (voir figure 12). Les graphiques sont créés avec le logiciel R en version 4.3.3. Les lignes de codes pour leurs créations sont disponibles dans les *materials*.

Figure 12. Sensibilité de la phase de classification avec les numéros des relevés (Mécanismes présents)



Pour une meilleure observation du graphique et pour différencier les relevés qui sont superposés, le graphique doit être observé dans le logiciel d'origine. Par exemple, la figure 12 permet d'analyser les faux négatifs des trois mécanismes expliqués dans le relevé n° 211 : le mécanisme de projection correctement classifié (entouré en vert), le mécanisme d'impact pour lequel 76 % des participants ont choisi l'indécision (entouré en orange) et celui des traces satellites au diagnostic erroné (entouré en rouge). Prenons ce dernier. Ses coordonnées (0 ; 78) indiquent 0 % d'identification correcte, 78 % de fausse exclusion (15 participants sur 19) et donc 22 % d'indétermination (4 participants).

On comprend dès lors la lecture de la figure 11 et de la figure 12 de la façon suivante : la performance idéale serait illustrée par une concentration des points en $X = 100$ et $Y = 0$, qui signifierait que tous les mécanismes ont été correctement identifiés par l'ensemble des répondants. Le cône de dispersion des points augmentant de la droite vers la gauche indique une augmentation des faux négatifs, donc une perte dans la sensibilité des conclusions d'experts. Une étude individuelle des points est possible pour mieux comprendre les FN importants.

Classification avec mécanisme absent : exemple du mécanisme 647.

Les mêmes outils graphiques vont être utilisés pour cette section. 115 relevés permettent d'analyser de la même manière la réponse des analystes à des mécanismes absents. Les 75 experts en traces de sang sont testés sur ces relevés de la façon suivante :

1. Envoi d'un relevé à l'expert
2. Jusqu'à 6 mécanismes sont présentés, dont au moins l'un d'entre eux ne correspond à aucun des patrons présents (dénommé alors mécanisme absent).
3. Enregistrement des réponses de chaque participant.

Par exemple pour les traces de sang du relevé n° 647 (voir figure 13), il y a deux mécanismes absents proposés aux participants : sang propulsé et cheminement. Les auteurs de l'étude ont aussi ajouté un mécanisme présent : projection.

Figure 13. Relevé des traces de sang n° 647



Note. Figure extraite de « Bloodstain Pattern Analysis Black Box Study Dataset (V1, Dec 2020) » par (Noblis).

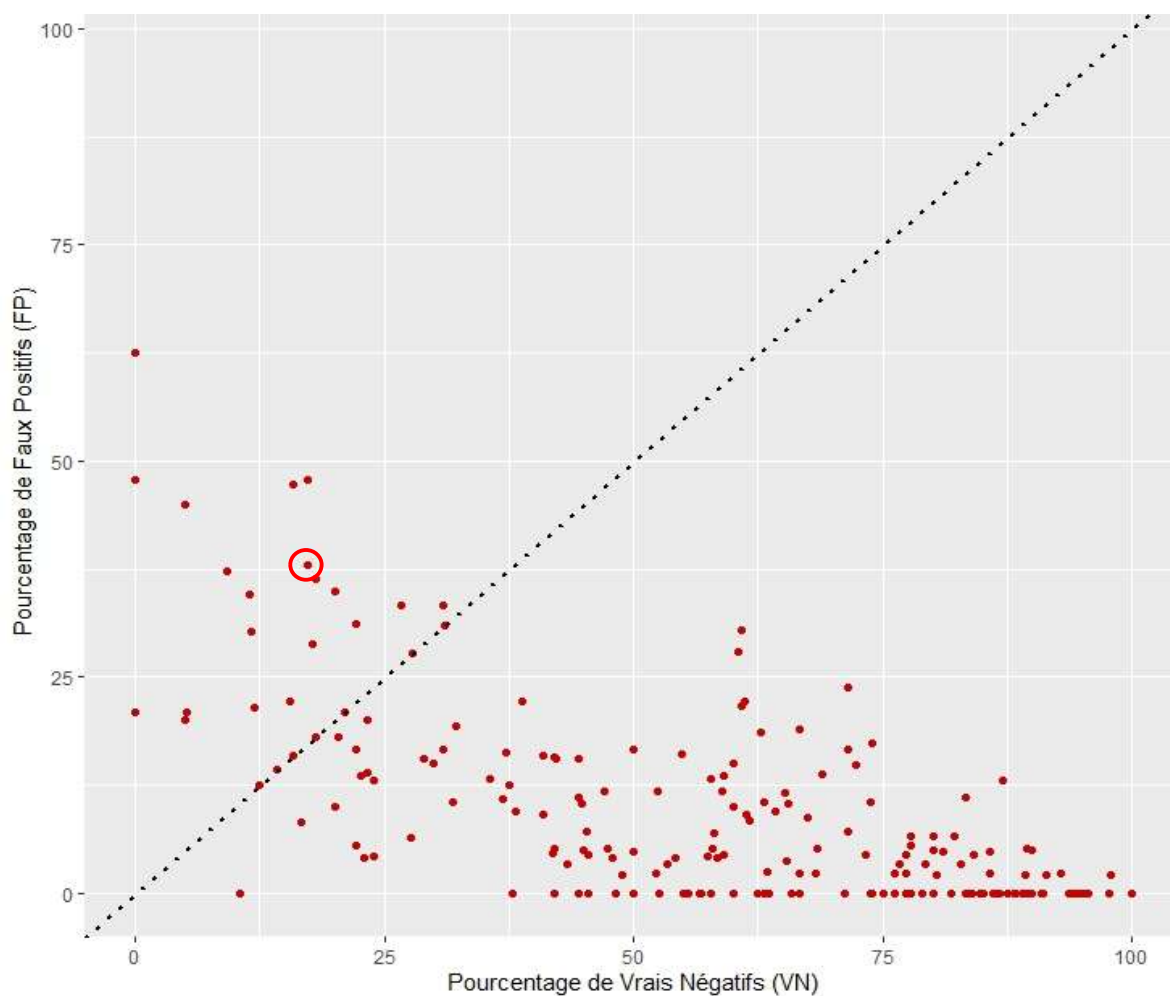
L'analyse des réponses aux mécanismes associés à ce scénario montre une incertitude de la part des participants. Sur trois mécanismes proposés, un seul possède plus de 50 % (en fait seulement 51 %) des participants ayant choisi la bonne réponse, il s'agit du mécanisme de projection. Le mécanisme de sang propulsé a un taux de bonnes réponses de 31 % et de mauvaises réponses de 38 %. Pour ce qui est du mécanisme de cheminement, les taux sont respectivement de 17 % et 45 %. Avec la connaissance des données de création, le scénario n° 647 est plus complexe que ce qui y paraît. Les traces ont été créées par une machette ensanglantée frappant la chaise, ce qui arrête le mouvement (voir figure 13).

En répétant ce processus sur les 115 patrons, on aboutit à un total de 235 mécanismes absents proposés. Il est alors possible d'extraire des données de Hicklin et al. (2021), les réponses correctes et incorrectes des patrons identifiés pour chacun des 235 mécanismes. La figure 14

établit les proportions de vrais négatifs et de faux positifs lorsque le mécanisme de créations des traces de sang est absent, on accède à la variation de la sélectivité en fonction des mécanismes.

Les 235 points de la figure 14 représentent les performances calculées pour chacun des mécanismes. De la même façon qu'avec la figure 11, chaque point peut être identifié individuellement pour l'étudier. Par exemple, les coordonnées (17 ; 38) entourées en rouge indiquent 17 % d'exclusion correcte (5 participants sur 29), 38 % de fausse identification (11 participants) et 45 % d'indétermination (13 participants), correspondant au mécanisme de cheminement du relevé n° 647.

**Figure 14. Sélectivité de la phase de classification
(mécanisme absent)**



Note. Données extraites du document Excel « Supplemental Data S3 : Response data » de l'article « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts » par (Hicklin et al., 2021).

On comprend dès lors la lecture de la figure 14 de la façon suivante : la performance idéale serait illustrée par une concentration des points en $X = 100$ et $Y = 0$. Signifiant que tous les mécanismes ont été correctement exclus par l'ensemble des répondants. On a donc accès à la sélectivité des analystes en fonction des mécanismes. Le cône de dispersion des points augmentant de la droite vers la gauche indique une augmentation des faux positifs, donc une perte dans la sélectivité des conclusions d'experts. Une étude individuelle des points telle que celle effectuée pour le relevé n° 647 est possible pour mieux comprendre les FP importants.

Similaire à la figure 12, le graphique de la sélectivité avec les numéros des relevés plutôt que des points peut être créé facilement. Les lignes de codes pour le faire sont inclus dans les *materials*.

Analyse des résultats des classifications des relevés 211 et 647

La figure 12 donne accès à la sensibilité des analyses et la figure 14 à la sélectivité selon les conditions expérimentales de Hicklin et al (2021). Est-il possible d'identifier des mécanismes présents dans les deux graphiques, permettant alors de mieux évaluer le LR selon la complexité du scénario ?

C'est le cas des relevés n° 211 et n° 647 étudiés précédemment. Quels sont alors les LR de ces scénarios ?

Les hypothèses en confrontation pour le scénario n° 211 sont :

- H1 : « Les mécanismes de transfert et/ou de projections générant des traces satellites sont présents dans le relevé »
- H2 : « Un mécanisme d'impact et/ou une altération glissée sont à l'origine de ces traces ».

Tableau 10. Table de contingence du relevé n° 211

| Relevé n° 211 | | | |
|---------------|---------------------------------|---------------------|----|
| | Mécanisme présent (Cause) | Mécanisme absent | |
| Definitive | VP = 26 | FP = 5 | 31 |
| Excluded | FN = 19 | VN = 17 | 36 |
| Inconclusive | 12 | 16 | 28 |
| | 57 | 38 | 95 |

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{26}{26 + 19 + 12} = 0.4561$$

$$\text{Sélectivité} = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{17 + 16}{17 + 16 + 5} = 0.8684$$

$$LR = \frac{\text{Sensibilité}}{1 - \text{Sélectivité}} = \frac{0.4561}{1 - 0.8684} = 3.47$$

Le LR étant de l'ordre de 3, cela signifie que les conclusions des analystes ne rendent H1 que 3 fois plus vraisemblable que H2, soit un support limité pour H1 (Mullen et al., 2014). Par exemple, supposons qu'un juge destinataire de l'opinion d'expert estime a priori (à la lecture des autres éléments du dossier) que le mécanisme H1 ou le mécanisme H2 soit possible de manière équiprobable (50 % soit 50:50). En toute rationalité, si un expert lui affirme que le mécanisme H1 est impliqué, alors sa croyance a priori de 1:1 devrait évoluer à 3:1, soit 75 %.

En ce qui concerne le scénario n° 647 :

- H1 : « Un mécanisme de projection est présent dans le relevé »
- H2 : « Un mécanisme de sang propulsé et/ou de cheminement sont à l'origine de ces traces »

Tableau 11. Table de contingence du relevé n° 647

| Relevé n° 647 | | | |
|---------------|---------------------------------|---------------------|-----|
| | Mécanisme présent (cause) | Mécanisme absent | |
| Definitive | VP = 25 | FP = 20 | 45 |
| Excluded | FN = 7 | VN = 14 | 21 |
| Inconclusive | 17 | 24 | 41 |
| | 49 | 58 | 107 |

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{25}{25 + 7 + 17} = 0.5102$$

$$\text{Sélectivité} = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{14 + 24}{14 + 24 + 20} = 0.6552$$

$$LR = \frac{\text{Sensibilité}}{1 - \text{Sélectivité}} = \frac{0.5102}{1 - 0.6552} = 1.48$$

Avec un LR de l'ordre de 1, H1 (mécanisme correct) est tout aussi vraisemblable que H2 (mécanisme incorrect) pour le juge destinataire des opinions des analystes. En bref, autant lancer une pièce de monnaie ou maintenir son a priori sans requérir à une expertise...

Comment expliquer ces LR encore inférieurs à la classification générale, sinon comme possiblement dus à des scénarios complexes aisément confondus a priori par les analystes ? La méthode mise en place, détaillée par Hicklin et al. (2021), propose une explication : les concepteurs du test ont analysé un premier lot de 30 réponses libres produites par les analyses en phase 1 de l'expérience, afin de définir des questions alternatives dans la phase 2 et 3, l'objet étant d'évaluer la reproductibilité des réponses des participants (Hicklin et al., 2021, pp. S3/70, Appendices). Il est dès lors avancé qu'ils aient choisi dans la phase 2 les mécanismes reconnus comme difficiles à différencier par les participants eux-mêmes en phase 1.

Sachant qu'un scénario se situant à 100 sur l'abscisse et à 0 sur l'ordonnée apparaît comme spécifique (figure 12 et la figure 14), doit-il emporter la croyance à systématiquement identifier le bon mécanisme quand les analystes le reconnaissent, sur la base de ces expériences qui restent limitées ?

Mécanisme spécifique ? Exemple du relevé 481

Réfléchissons à l'aide d'un exemple avec le cas du relevé n° 481 (voir figure 15).

Figure 15. Relevé des traces de sang n° 481



Note. Figure extraite de « Bloodstain Pattern Analysis Black Box Study Dataset (V1, Dec 2020) » par (Noblis).

Le mécanisme présent est traces passives et les mécanismes absents sont sang propulsé et chute de volume (Groupe Francophone de Morphoanalyse, 2014). La matrice de confusion du relevé est la suivante :

Tableau 12. Table de contingence du relevé n° 481

| Relevé n° 481 | | | |
|---------------|---------------------------------|---------------------|----|
| | Mécanisme présent (Cause) | Mécanisme absent | |
| Definitive | VP = 21 | FP = 0 | 21 |
| Excluded | FN = 0 | VN = 27 | 27 |
| Inconclusive | 0 | 1 | 1 |
| | 21 | 28 | 49 |

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{21}{21 + 0 + 0} = 1$$

$$\text{Sélectivité} = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{27 + 1}{27 + 1 + 0} = 1$$

$$LR = \frac{\text{Sensibilité}}{1 - \text{Sélectivité}} = \frac{1}{1 - 1} = \infty$$

Du fait de la spécificité observée (sur 28 tests), le LR du scénario serait infini. Le bon mécanisme serait donc systématiquement identifié. Mais le faible échantillonnage invite à un peu de prudence. L'approche statistique bayésienne permet de majorer ce taux de faux positif à un risque ε déterminé (Aitken et al., 2020; Taroni et al., 2010, pp. 140-147).

La détection d'un faux positif s'apparente à une loi binomiale de paramètre $n = 28$ et $x = 0$ $B(28 ; 0)$, puisqu'aucun faux positif n'a été détecté sur 28 tests. Une telle loi se conjugue aisément avec la Béta, $Be(\alpha, \beta)$, dont les valeurs $\alpha = 1$, $\beta = 1$ exprime notre neutralité quant à la valeur a priori du taux réel de faux positifs. La densité postérieure devient alors la Béta, $Be(1 ; 29)$.

On démontre alors que dans ces conditions de 0 faux positif sur 28 tests, la densité postérieure de probabilité du taux de faux positifs devient $29(1 - \theta)^{28}$

Avec θ représentant la proportion inconnue de faux positif dans la population. À un risque donné ε , on recherche donc θ_0 , telle que $p(\theta > \theta_0) < \varepsilon$

$$\text{Or } p(\theta > \theta_0) = \int_{\theta_0}^1 29(1 - \theta)^{28} d\theta = (1 - \theta_0)^{29}$$

La borne supérieure des faux positifs (θ_0) est donc déterminée au risque ε :

$$\varepsilon = (1 - \theta_0)^{29}, \text{ soit}$$

$$\theta_0 = 1 - \sqrt[29]{\varepsilon}$$

| ε | θ_0 |
|---------------|------------|
| 0,05 | 0,0981 |
| 0,01 | 0,1468 |

Au risque 5 %, $\theta_0 = 9,81$ %, il y a 95 % de probabilité que le taux de faux positifs soit inférieur à 9,81 %. Donc une borne supérieure des faux positifs au risque de 5 % est 0.0981.

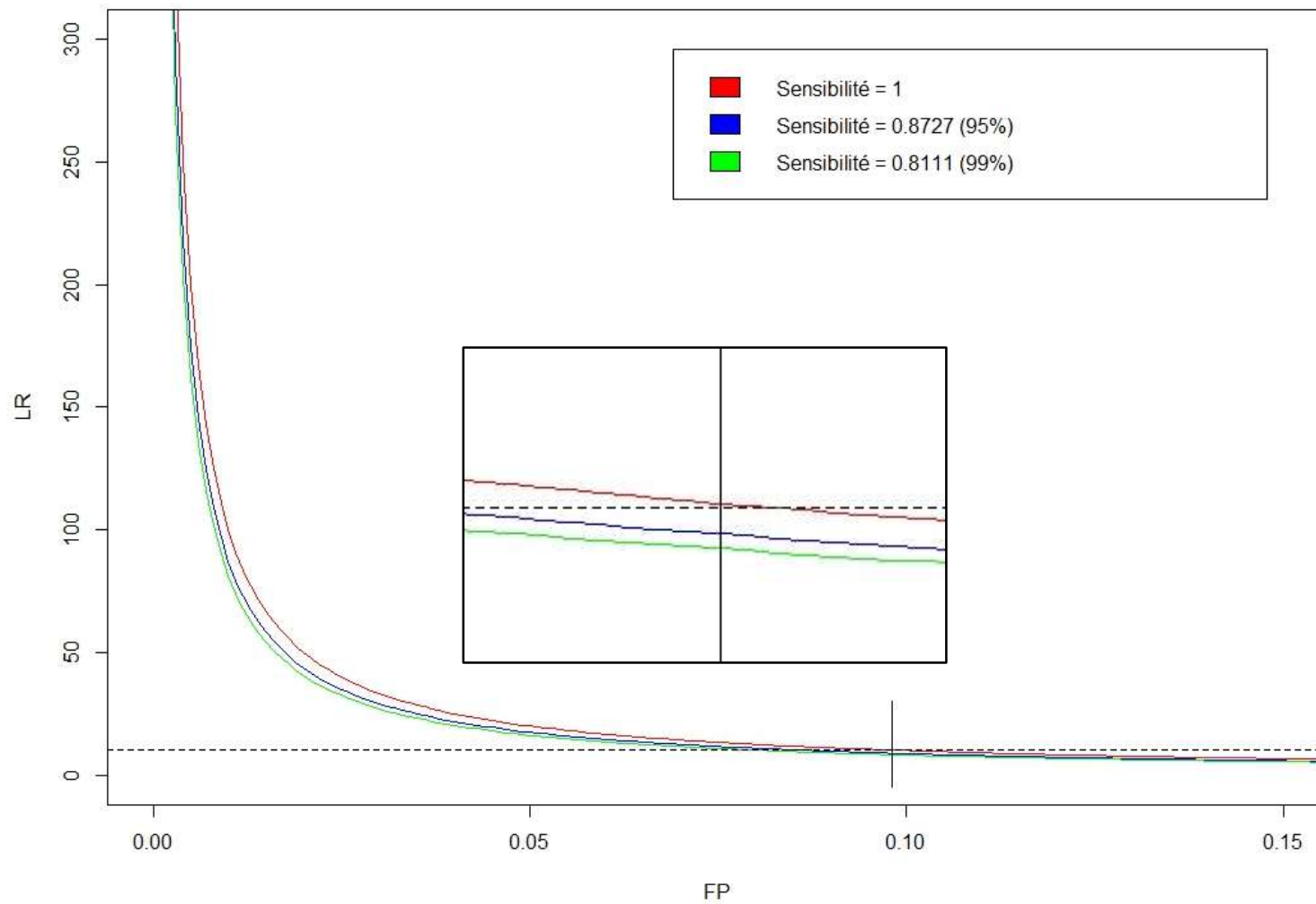
Au risque 1 %, $\theta_0 = 14,68$ %, il y a 99 % de probabilité que le taux de faux positifs soit inférieur à 14,68 %. Donc une borne supérieure des faux positifs au risque de 1 % est 0.1468.

Un même raisonnement peut être appliqué sur les faux négatifs, bornant leur limite supérieure à 0,1273 (au risque de 5 %) et 0,1889 (au risque de 1 %), soit des sensibilités respectives d'au moins 0.8727 (à 5 %) et 0.8111 (à 1 %).

$$LR_{95\%} = \frac{1}{0.0981} = 10.2 \quad LR_{99\%} = \frac{1}{0.1468} = 6.8$$

La figure 16 ci-dessous exprime les LR selon ces trois sensibilités, la ligne horizontale pointillée étant positionnée à une valeur de LR de 10. La valeur des LR chute exponentiellement lorsque les faux positifs augmentent. Bien que cette chute soit légèrement moins rapide lorsque la sensibilité est plus élevée, dans les trois cas, 95 % des LR sont à gauche du segment vertical $FP = 0.0981$. Au risque de 5 %, les courbes bornent la limite inférieure des LR à 10 pour une sensibilité de 1, à 9 pour une sensibilité de 0.87 et à 8 pour une sensibilité de 0.81. En bref, au risque de 5 % les LR sont compris entre 8 et l'infini, constituant *a minima* un support limité pour des mécanismes correctement identifiés (Evet et al., 2000). La figure 16 indiquant tout de même que la densité de probabilité de ces LR est plus importante quand on se rapproche des LR infinis. En bref, il est plutôt probable que le LR de ce relevé soit très fort, mais les données insuffisantes de l'expérience ne permettent pas de l'affirmer sans une certaine réflexion.

Figure 16. Valeurs des LR selon les faux positifs du relevé 481.



Note. Créée avec le logiciel R, les lignes de codes sont disponibles dans les *materials*

Addendum (Analyses complémentaires de Hicklin et al. (2021))

Dans une troisième phase, l'étude s'intéresse à des questions plus complexes posées aux analystes concernant l'activité ayant pu générer les patrons des relevés. Seulement trois réponses sont offertes aux participants : oui, non et possible. Le LR de cette phase peut lui aussi être calculé :

Tableau 13. Matrice de confusions des performances des experts lors de la phase de questions

| | Activité présente (cause) | Activité absente | |
|----------|---------------------------|------------------|------|
| Oui | VP = 328 | FP = 178 | 506 |
| Non | FN = 59 | VN = 572 | 631 |
| Possible | 315 | 711 | 1026 |
| | 702 | 1461 | 2163 |

H1 : « Les analystes ont raison »

H2 : « Les analystes ont tort »

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{328}{328 + 59 + 315} = 0.47$$

$$\text{Sélectivité} = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{572 + 711}{572 + 178 + 711} = 0.88$$

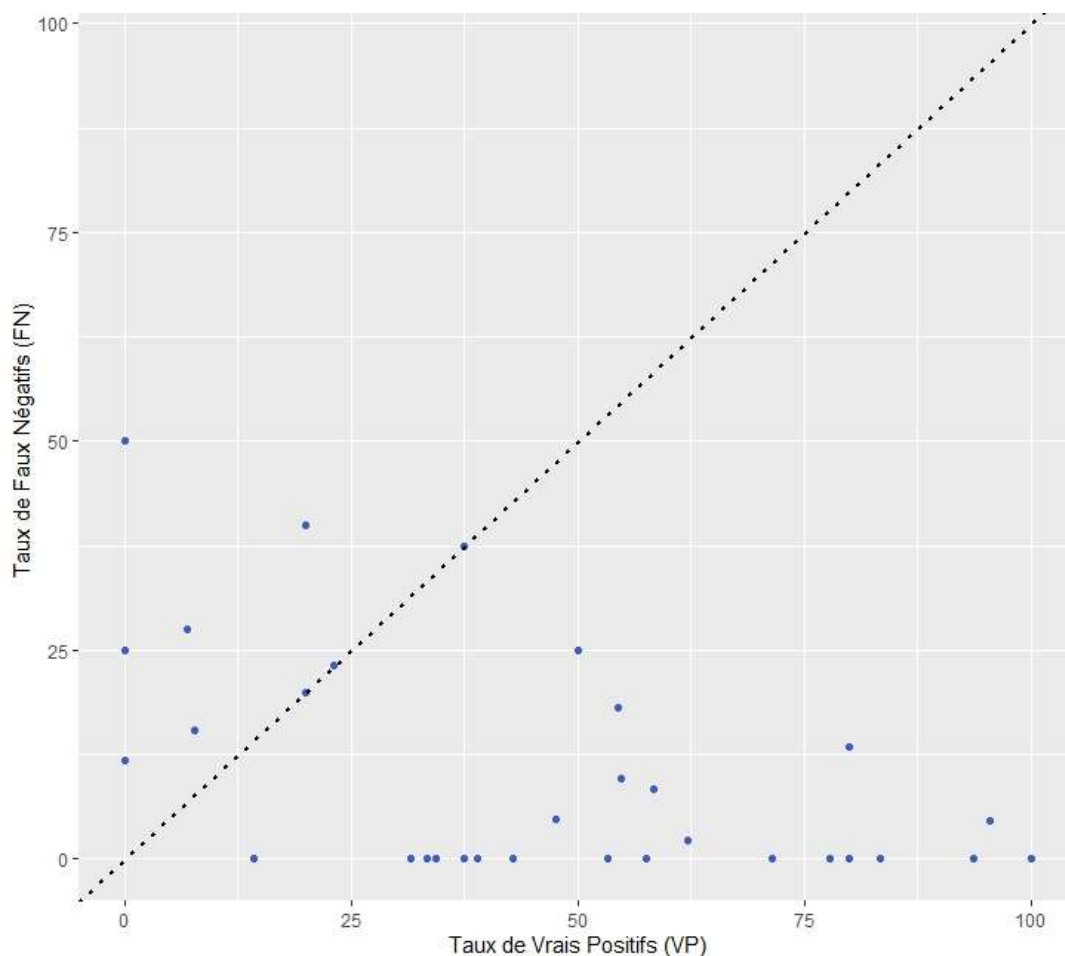
$$LR = \frac{\text{Sensibilité}}{1 - \text{Sélectivité}} = \frac{0.47}{1 - 0.88} = 3.92$$

Au regard de cette matrice de confusion, il est généralement 4 fois plus vraisemblable (donc un support limité) que, dans les conditions de cette expérience, les analystes aient raison lorsqu'ils se prononcent sur l'activité en général. Ce constat nécessite sûrement une analyse plus détaillée des scénarios tenant compte de leur complexité et des questions posées (voir section précédente).

Les deux graphiques de la phase de question peuvent être réalisés pour évaluer l'impact de la complexité des scénarios. La méthode et leur analyse sont la même que celle effectuée lors

de la phase de classification. La figure 17 établit les proportions de vrais positifs et de faux négatifs pour les 34 questions correspondant au mécanisme de création des traces de sang, soit la variation de la sensibilité.

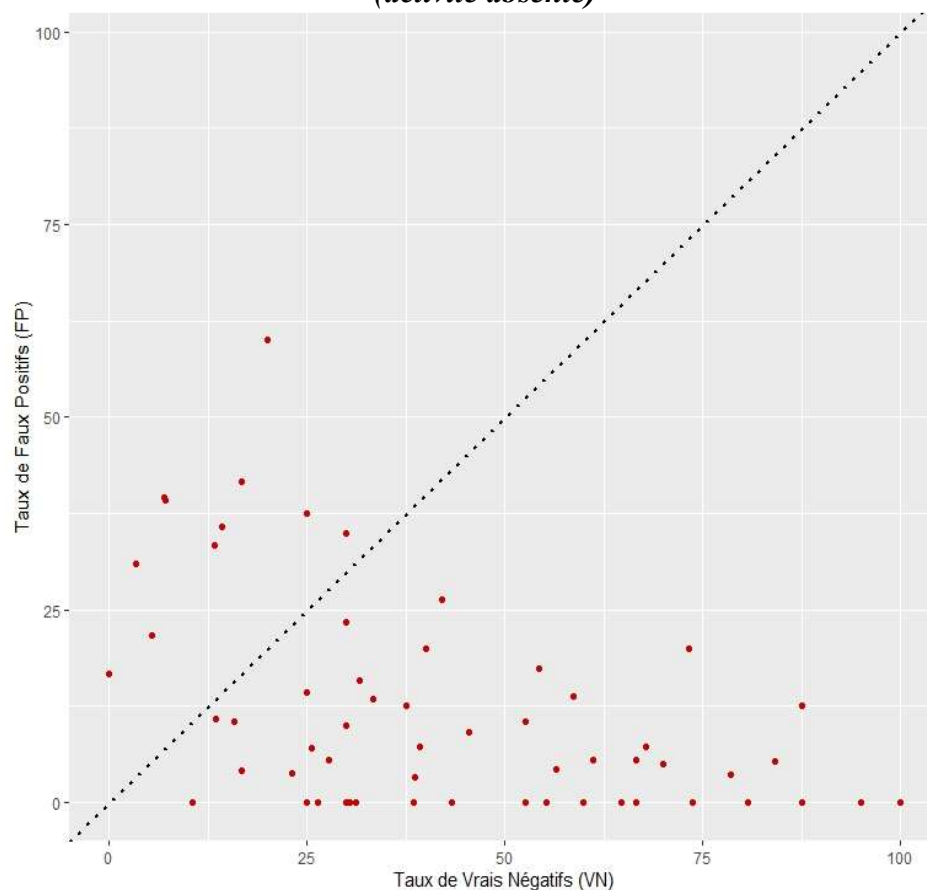
**Figure 17. Sensibilités des experts
(activité présente)**



Note. Données extraites du document Excel Supplemental Data S3 : Response data de l'article « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts » par (Hicklin et al., 2021)

La figure 18 établit les proportions de vrais négatifs et de faux positifs pour les 62 questions ne correspondant pas au mécanisme de création des traces de sang, soit la variation de la sélectivité. Les figure 17 et 18 ont été créées avec le logiciel R, les lignes de codes pour les reproduire sont dans les *materials*.

**Figure 18. Sélectivité des experts
(activité absente)**



Note. Données extraites du document Excel Supplemental Data S3 : Response data de l'article « Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts » par (Hicklin et al., 2021)

Étant donnée la faible quantité de questions posées, les relevés n'apparaissent qu'une ou deux fois par graphique. Certains relevés ne comportent aucune question posée relativement à l'activité. Dans le cas où le relevé apparait sur la figure 17 et la figure 18, un LR relatif à l'opinion d'activité peut être calculé. Le relevé n° 211 est dans cette situation. La matrice de confusion est donnée ci-dessous :

Tableau 14. Table de contingence des questions du relevé n° 211

| | Activité présente (cause) | Activité absente | |
|----------|---------------------------------|---------------------|----|
| Oui | VP = 1 | FP = 0 | 1 |
| Non | FN = 1 | VN = 14 | 15 |
| Possible | 3 | 5 | 8 |
| | 5 | 19 | 24 |

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{1}{1 + 1 + 3} = 0.2$$

Avec les informations disponibles, la sélectivité serait de 1. Comme expliqué précédemment, on peut questionner la robustesse de cette affirmation au regard des expériences limitées (19) pour y accéder. Les calculs de la section précédente, avec la binomiale conjuguée, peuvent être effectués pour avoir une idée du taux de faux positifs.

Au risque 5 %, $\theta_0 = 13,9$ %, l'intervalle de haute densité à 95 % des taux de faux positifs est compris entre 0 et 13,9 %.

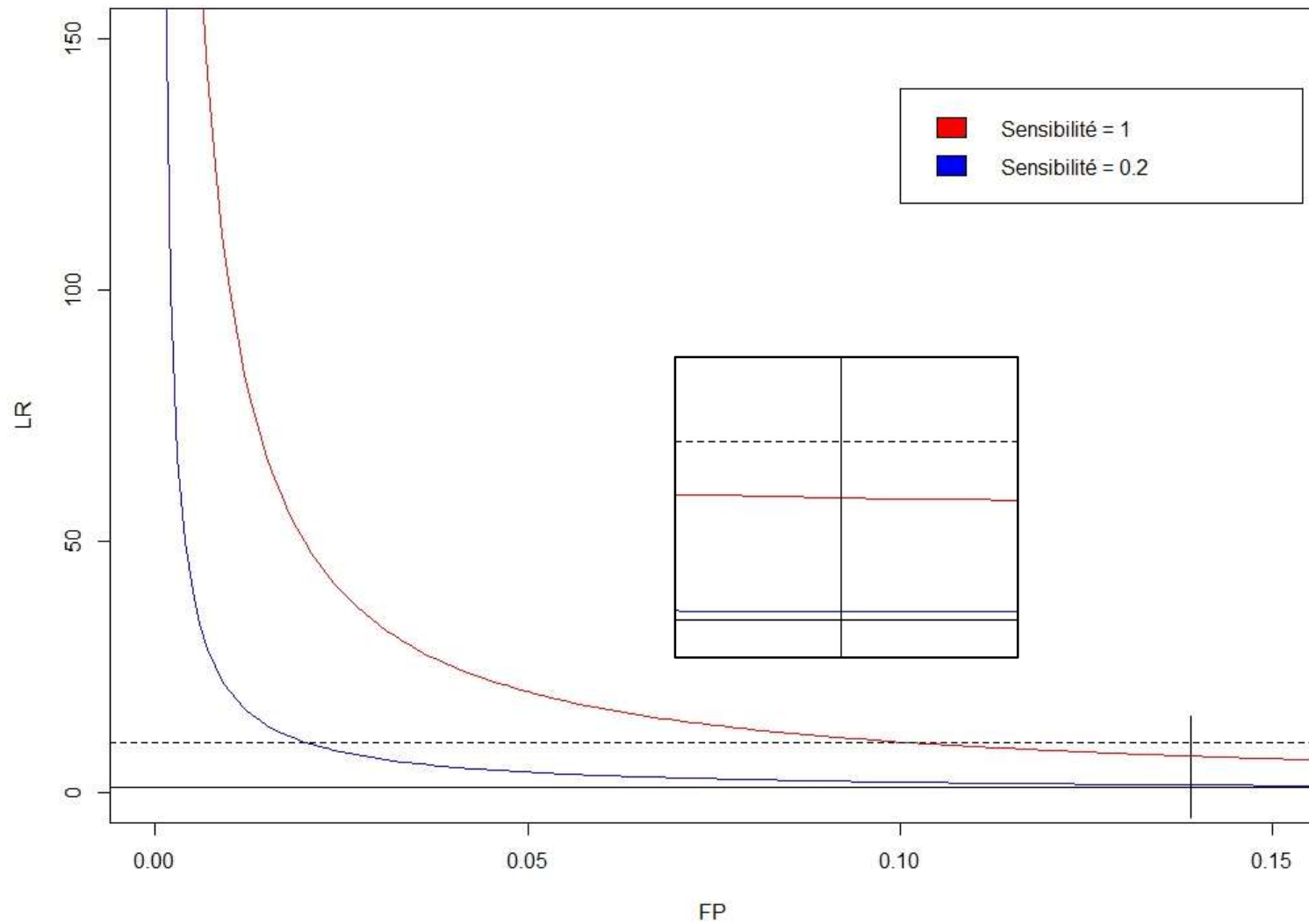
Au risque 1 %, $\theta_0 = 20,6$ %, l'intervalle de haute densité à 99 % des taux de faux positifs est compris entre 0 et 20,6 %.

$$LR(5\%) = \frac{0.2}{1 - 0.861} = 1.45 \quad LR(1\%) = \frac{0.2}{1 - 0.794} = 0.97$$

Comme précédemment, on observe une baisse exponentielle de la valeur des LR en fonction des faux positifs, accentuée ici par la perte de sensibilité (voir figure 19). La sensibilité de 1 a été indiquée pour une comparaison avec la figure 16. La partie à gauche du segment vertical (FP= 0.1390) représente 95 % des LR pour les deux courbes. La ligne horizontale pointillée étant positionnée à une valeur de LR de 10 et la ligne pleine à une valeur de LR de 1. En bref, au risque de 5 % les LR sont compris entre 1 et l'infini, constituant *a minima* un support limité pour des mécanismes correctement identifiés (Evet et al., 2000). La figure 16 indiquant tout de même que la densité de probabilité de ces LR est plus importante quand on se rapproche

des LR infinis. En bref, il est plutôt probable que le LR de ce relevé soit très fort, mais les données insuffisantes de l'expérience ne permettent pas de l'affirmer sans une certaine réflexion.

Figure 19. Valeur des LR “activité” selon les faux positifs du relevé n° 211



Note. Créée avec le logiciel R, les lignes de codes sont disponibles dans les materials

Pour des scénarios qui ne peuvent prétendre à la spécificité (taux de faux positifs non nul), donc différents, par exemple du scénario 481, les LR sont plus faciles à évaluer. C'est le cas du scénario 807, puisqu'il est présent dans les graphiques de sensibilité et de sélectivité, visiblement proche de la performance idéale.

Tableau 15. Table de contingence des questions du relevé n° 807

| | Activité présente (cause) | Activité absente | |
|----------|---------------------------|------------------|----|
| Oui | VP = 12 | FP = 1 | 13 |
| Non | FN = 2 | VN = 14 | 16 |
| Possible | 1 | 1 | 2 |
| | 15 | 16 | 31 |

$$\text{Sensibilité} = \frac{VP}{VP + FN} = \frac{12}{12 + 2 + 1} = 0.8$$

$$\text{Sélectivité} = \frac{VN}{VN + FP} = \frac{14 + 1}{14 + 1 + 1} = 0.938$$

$$LR = \frac{\text{Sensibilité}}{1 - \text{Sélectivité}} = \frac{0.8}{1 - 0.938} = 12.9$$

Le LR de l'ordre de 13 signifie qu'il est 13 fois plus vraisemblable que les experts aient raison (H1) sur ce relevé n° 807.

La complexité de la tâche demandée aux analystes lors du passage du scénario 807 au scénario 211 pour répondre à la même question concernant l'activité s'accompagne d'une indétermination sur la valeur réelle du LR, en grande partie due aux conditions expérimentales comme déjà relevées dans d'autres publications (Attinger et al., 2022; Zou & Stern, 2022). Cependant, considérant la différence entre les LR des deux sections (classification et question) [voir tableau 16], ne serait-il pas opportun de distinguer un niveau activité abordé à l'étape trois par les questions, d'un niveau sous-activité abordée à l'étape deux par les classifications.

Tableau 16. Valeur des LR calculés pour les différents relevés

| | | LR | LR (5 %) | LR (1 %) |
|----------------|--------------|----------|----------|----------|
| Classification | Général | 6,21 | | |
| | Scénario 211 | 3,47 | | |
| | Scénario 481 | ∞ | 10 | 6 |
| | Scénario 647 | 1,48 | | |
| Question | Général | 3,92 | | |
| | Scénario 807 | 12,9 | | |
| | Scénario 211 | ∞ | 1,45 | 0,97 |

2.4 Une perception partagée par la communauté ?

Nonobstant les biais cognitifs identifiés dans Laber et al. (2014), la sensibilité et la sélectivité des analyses en traces de sang ont été évaluées, Hicklin et al. (2021) permettant même d'estimer des LR attendus au niveau activité (question) et sous-activité (classification) sur différents scénarios. La spécificité des patrons n'est perçue que lorsque peu de participants ont répondu sur des patrons simples (voir le relevé d'activité n° 211 par exemple), questionnant la robustesse des données. Lorsque plus de données sont disponibles, les LR produits offrent des supports limités aux conclusions des experts.

Plus de la moitié des praticiens testés par Hicklin et al. (2021) servaient dans des laboratoires accrédités et étaient certifiés (voir figure 9). Quelle est dès lors la perception des praticiens sur l'apport de l'assurance-qualité à la fiabilité de leur expertise ?

Chapitre 3 : Perception de la pratique

Il devient pertinent de s'interroger sur la perception de la pratique concernant les processus d'assurance qualité en analyse des traces de sang. Les praticiens sont-ils conscients que l'assurance qualité peine à assurer la fiabilité des analyses en traces de sang, au regard de la complexité des scénarios ?

3.1 Méthode

Un sondage auprès des praticiens en analyse des traces de sang pourrait répondre à ces questions. En utilisant la méthode exploratoire avec un devis de recherche de type descriptif, une méthode utilisée pour décrire des phénomènes sans l'utilisation d'une méthode qualitative particulière (Fortin & Gagnon, 2022), il est possible d'axer la recherche sur des processus, les accréditations et les certifications, et sur la perception qu'ont les praticiens de ces processus.

La méthode de collecte des données préconisée est l'utilisation d'un questionnaire. Cette technique a été choisie pour sa polyvalence et la facilité de collecte des données. Cet instrument de mesure se prête bien à une recherche à plus grande échelle où les informations à recueillir sont dispersées mondialement (Fortin & Gagnon, 2022, pp. 298-302). Les questionnaires ont été configurés grâce à la plateforme Banque interactive de Question (BIQ) de l'Université du Québec à Trois-Rivières et partagés avec un lien web. La participation au questionnaire se fait sur une base volontaire et sans aucune compensation. Les informations nécessaires au consentement libre et éclairé des participants font office de première page, avant les questions, lors de l'accès au site de la BIQ. En cas de refus, le questionnaire n'est plus accessible et les participants sont dirigés vers une page de remerciements.

Pour distribuer le sondage à la communauté des analystes en traces de sang, une demande de certificat éthique a été effectuée. La demande a été approuvée le 11 octobre 2022 pour une période de 1 an et renouvelé du 11 octobre 2023 au 11 octobre 2024. Le certificat éthique fut renouvelé pour une seconde année du 11 octobre 2024 au 11 octobre 2025. Le numéro du certificat, CER-22-289-07.13, est inclus dans la demande de consentement des participants au questionnaire et est disponible à l'annexe 5.2 Certificat d'éthique.

3.1.1 Description du questionnaire

Le questionnaire utilisé a été créé spécifiquement pour cette recherche. Étant donnée la diversité des experts dans le domaine de l'analyse des traces de sang, une traduction libre est mise à disposition des praticiens pour faciliter l'accès. La traduction est effectuée de la langue maternelle (français) vers l'anglais, puis vérifiée par une seconde personne pour s'assurer que la compréhension soit la plus fluide possible. Le questionnaire francophone est disponible à l'annexe 5.3 et le questionnaire anglophone à l'annexe 5.4. Le questionnaire est constitué de 12 questions ouvertes et 2 questions à choix multiples (les questions trois et quatre). L'utilisation de questions à réponses ouvertes permet d'obtenir l'avis complet du praticien sur le sujet, ou ce qu'il comprend de la question. En procédant de cette façon, les biais de confirmations sont plus facilement évitables, et ce, même s'ils divergent de la question (Fortin & Gagnon, 2022, p. 298). Il n'y a pas de bonne ou mauvaise réponse. Toutes les informations collectées permettent d'approfondir la compréhension. Le temps de passation est estimé être d'au plus 30 minutes et les réponses sont anonymes.

Les questions une (Comment définissez-vous l'analyse des traces de sang ?) et deux (Quel est votre cheminement académique et professionnel ayant permis votre emploi comme analystes des traces de sang ?) concernent les connaissances de base des participants en analyses des traces de sang et leur cheminement académique. Selon leur emploi, une première exclusion et identification de groupes dans les participants peut s'effectuer. Cette classification permet d'évaluer l'influence des caractéristiques de l'emploi sur leur perception des processus d'assurances qualité.

Les questions trois (Parmi les disciplines ci-dessous, pour lesquelles avez-vous eu des cours de niveau universitaire et/ou êtes-vous qualifié ?) et quatre (Parmi ces disciplines, lesquelles considérez-vous comme indispensables à l'analyse des traces de sang ?) ont été formulées afin d'identifier les qualifications des participants et leurs perceptions sur les besoins pour effectuer leurs tâches. Les disciplines listées dans le questionnaire proviennent des recommandations des compétences des experts en traces de sang lors de leurs certifications. Elles sont extraites du NAS report (US National Research Council, 2009), du manuel des opérations du programme de certification de l'IAI, de la norme ANSI/ASB 032 de l'OSAC et du SWGSTAIN.

La question cinq (Comment avez-vous été formé en analyse de traces de sang [où, qui, durée, évaluation] ?) constate le niveau de formation des participants, tandis que la question six (Êtes-vous membre d'une association en tant qu'analyste en trace de sang ? Si oui, laquelle et comment votre expertise est-elle reconnue ?) permet d'identifier les associations dont ils se réclament.

Les questions sept (Comment décririez-vous votre poste d'emploi en général au sein de votre établissement ?), huit (Depuis combien de temps êtes-vous à votre poste actuel [dans votre établissement] ?) et neuf (Selon votre définition, combien d'heures d'analyse de traces de sang effectuez-vous dans une année [approximer] ?) ciblent les caractéristiques spécifiques à l'emploi des praticiens, leur niveau d'expérience et le descriptif de leurs tâches. Ces informations servent à séparer les participants en groupes pour évaluer leurs impacts sur leurs connaissances et leur perception des processus d'assurance qualité.

La question dix (Comment définissez-vous votre mission en analyse de trace de sang lors de votre arrivée sur les lieux d'intervention ou lors de la prise en compte d'un dossier d'assistance en général ? Au besoin, vous pouvez décrire l'une de vos interventions jugées optimales.) informe sur les tâches prises en compte par les laboratoires lors d'une expertise en analyse des traces de sang. Ces connaissances permettent d'avoir une représentation des différentes méthodes d'analyses performées par la communauté, ainsi que des éléments qui peuvent être affectés par les processus d'assurances qualité.

Les questions onze (Quelle est votre connaissance sur les accréditations et les certifications ?) et douze (Cette reconnaissance influence-t-elle vos analyses en traces de sang de la scène d'investigation au laboratoire ?) impliquent la compréhension qu'ont les participants des processus d'assurance qualité et des impacts qu'ils ont sur leur travail. Cette perception est comparée avec la littérature pour évaluer si les processus d'assurance qualité sont soutenus et compris par les experts en analyse de traces de sang.

La question treize (Comment présentez-vous les résultats à vos interlocuteurs ?) concerne la gestion de l'incertitude et les conclusions de l'expertise lors de la communication des résultats. Cette question est importante pour évaluer si les communications effectuées avec les destinataires

des expertises sont suffisantes pour transmettre de façons efficaces les conclusions et par extension avoir la confiance des clients.

La question quatorze (Désirez-vous remplir ce questionnaire par des informations qui pourraient être pertinentes pour cette étude [perception de votre emploi, critique de ce sondage, etc.] ?) sert de question libre pour permettre aux participants d'ajouter des informations qu'ils considèrent pertinentes, mais n'étant pas incluses dans les questions précédentes. Elle permet aussi aux participants d'offrir un retour sur leur participation au sondage et d'émettre leur opinion sur la recherche.

3.1.2 Sélection des participants

Étant donnée la variété des laboratoires effectuant des analyses en traces de sang et leur dispersion dans le monde, un mode d'échantillonnage de convenance par participation volontaire est utilisé. La méthode est basée sur le principe d'utilisation de sujets ayant une caractéristique commune. De plus, elle est facile d'accès ainsi que peu coûteuse (Gouvernement du Canada, 2021; Suri, 2011).

Pour participer à la recherche, les répondants doivent être des experts en traces de sang. Selon le site de l'IABPA, les experts en trace de sang doivent avoir complété, au minimum, un cours de base sur l'analyse des traces de sang de 40 h. De plus, le contenu de ce cours doit respecter le niveau des standards établis par le comité de l'IABPA (International Association of Bloodstain Pattern Analysts, 2023). Le SWGSTAIN quant à lui accepte des individus ayant suivi un baccalauréat dans un domaine relié aux traces de sang ou un diplôme équivalent, ainsi qu'un cours de bases en analyses des traces de sang (U.S. Department of Justice, 2008). Pour effectuer un premier tri dans les participants possible, une demande de diffusion de l'étude est effectuée par courriel aux associations et aux laboratoires de science forensique. En tout, 21 associations, laboratoire ou regroupements ont été contactés et sont spécifiés à l'annexe 5.5 Listes des associations, des laboratoires et des regroupements contactés. Les volontaires mettaient à la disposition de leurs membres ou employés les questionnaires de l'étude. Il ne restait plus qu'aux individus intéressés à participer de répondre au sondage.

En tout, le site de la BIQ de l'université a enregistré 165 connexions aux questionnaires (anglais ou français). De ces connexions, 24 questionnaires comportent des réponses, mais

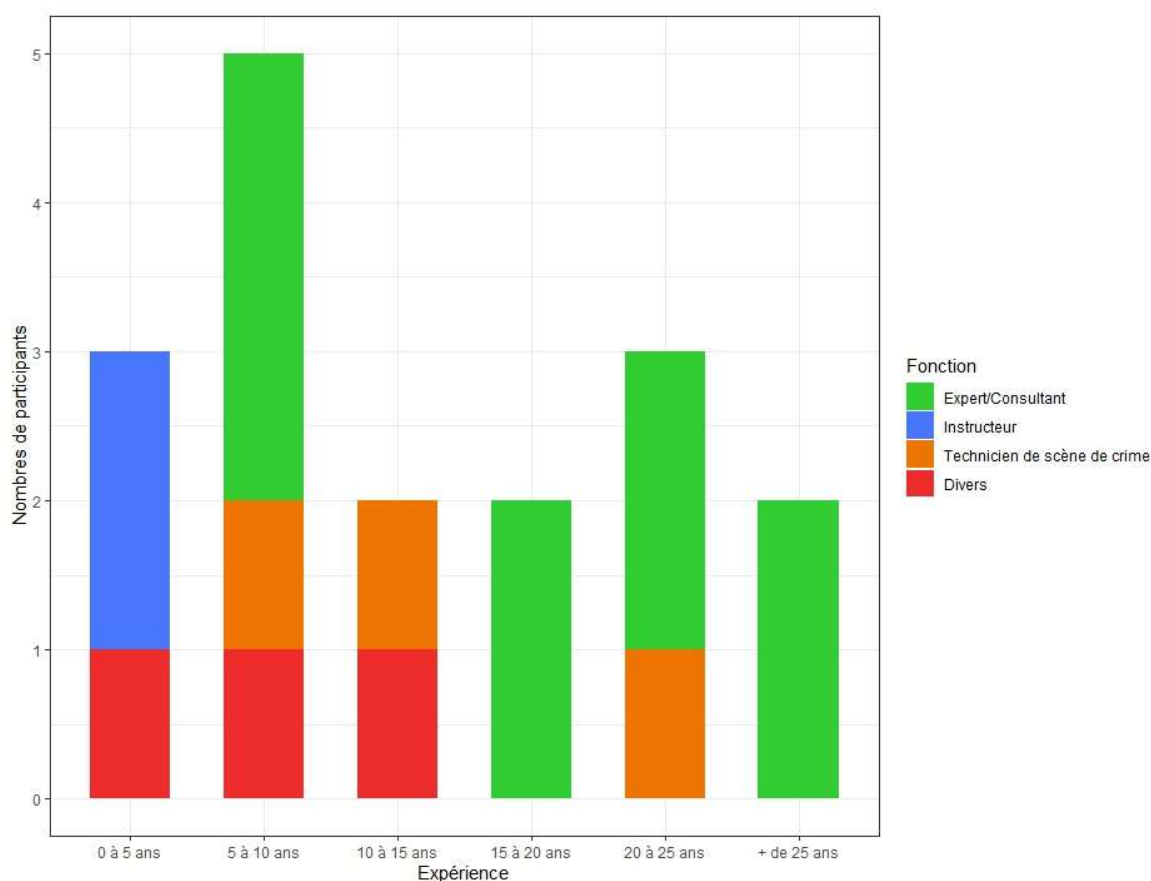
seulement 17 sont conservées pour l'analyse thématique. Les questionnaires retirés comportent une incapacité de la part du participant à définir l'analyse des traces de sang, n'ont pas été répondus par un expert, selon l'IABPA et le SWGSTAIN, ou comportent moins de la moitié des questions remplies. Le tableau ci-dessous présente la scolarité des participants ainsi que leur profession, les associations dont ils sont membres et leurs années d'expérience à leur emploi. Ces quatre critères permettent d'inférer que ces 17 réponses retenues proviennent de 17 experts distincts.

Tableau 17. Profils des répondants

| Sujets | Scolarité | Profession | Associations | Années d'expérience |
|--------|--|------------------------------|----------------------------------|---------------------|
| 1 | BSc en science (biologie et science forensique) MSc en science forensique | Instructeur | IABPA | 3.5 années |
| 2 | - | En apprentissage | IABPA | 3.5 années |
| 3 | BSc | Expert/Consultant | IABPA et CAFS | 23 années |
| 4 | MSc en criminalistique | Expert/Consultant | IABPA et IAI | 8 années |
| 5 | BSc en biologie MSc en physiologie/endocrinologie | Expert/Consultant | IABPA et SCSJ | 26 années |
| 6 | BSc en science MSc en science forensique | Expert/Consultant | - | + de 25 années |
| 7 | BSc en microbiologie MSc en chimie - science forensique | Expert en ADN | IABPA | 9 années |
| 8 | MSc en science forensique | Instructeur | - | 4 années |
| 9 | - | Bureau de médecin légiste | - | 11 années |
| 10 | BSc en biologie (mineur en chimie) MBA en justice criminel | Expert/Consultant | IAI | 5 années |
| 11 | BSc en science (biologie génétique) | Expert/Consultant | IABPA | 15 années |
| 12 | BSc en biologie MSc en science forensique | Expert/Consultant | IABPA et IAI | 16 années |
| 13 | BSc en science | Technicien de scène de crime | IABPA, IAI et MAFS | 7 années |
| 14 | BSc en science (criminalistique) | Expert/Consultant | IABPA | 25 années |
| 15 | BSc en biochimie MSc en science forensique | Expert/Consultant | IABPA | 5 années |
| 16 | BSc en science (majeur en science forensique) | Technicien de scène de crime | IABPA | 25 années |
| 17 | BSc en criminalistique | Technicien de scène de crime | IABPA, ACSR, IAI, RMABPA et AAFS | 12 années |

Malgré le faible échantillonnage, il y a une diversité de cheminements scolaires menant à l'expertise en traces de sang parmi ces 17 parcours retenus. Les professions des participants peuvent être séparées en quatre groupes : expert/consultant, instructeur, technicien de scène de crime et divers (en apprentissage, expert en ADN et médecin légiste). De plus, il y a une bonne variété dans leur année d'expérience dans un emploi d'analyse des traces de sang. Le regroupement entre la profession du participant et les années d'expérience peut être visualisé avec la figure 20. Le point de vue d'un praticien en traces de sang commençant dans le domaine sera comparé à ceux ayant plus de 25 années d'expérience dans leur emploi.

Figure 20. Aperçu des participants retenus et de leur expérience (n=17)



3.1.3 Analyse qualitative

Une fois les questionnaires complétés par les participants. Les résultats (en français et en anglais) sont transcrits et combinés dans un document Excel. Les questions sont dans les colonnes et chaque ligne contient les réponses d'un participant. Une analyse qualitative est

réalisée avec la version 1.7.1 du logiciel Nvivo (Lumivero, 2023). L'analyse des données qualitatives utilise l'affectation de codes ou d'étiquettes pour attribuer une signification aux résultats. Les codes peuvent varier d'un mot à une phrase évocatrice d'une signification, elle-même dépendante de la fonction ou de l'expérience du sondé par exemple, qui peuvent être alors indiquées sous forme d'attributs (Miles et al., 2020, pp. 62-63; Saldaña, 2016).

L'analyse se sépare en deux processus d'assignation de codes, le premier et le deuxième cycles de code. Le premier cycle attribue des codes aux données selon différentes approches adaptées aux informations recherchées et aux objectifs de la recherche. Les réponses des participants sont initialement analysées avec une méthode descriptive et *in vivo*. Les codes *in vivo* utilisent les termes énoncés dans le langage des participants et les codes descriptifs présentent un résumé en quelques mots du contenu de la section codée. Les codes représentent ainsi un résumé du contenu dans le vocabulaire des participants, permettant d'être le plus représentatif possible des réponses offertes, tout en simplifiant l'analyse de second niveau (Miles et al., 2020).

Le second cycle a comme objectif de rassembler les catégories identifiées précédemment dans des codes englobant les thèmes similaires. Le regroupement des données permet d'effectuer une séparation plus significative pour avoir une meilleure représentation des différents concepts et thèmes abordés par les participants. Pour ce faire, une révision des codes de premier niveau est effectuée pour les enrichir en attribuant des sous-codages tout en réorganisant le recueil de codes. Lorsque possible, les codes *in vivo* sont conservés et combinés pour englober des thèmes similaires. Certains codes sont renommés pour mieux représenter le contenu. Parallèlement, les participants se voient allouer des attributs selon leurs caractéristiques et certaines réponses accordées qui offrent des informations descriptives (Miles et al., 2020). À titre d'exemple, un attribut affecté aux participants est le nombre d'années d'expérience à leur emploi actuel.

3.2 Analyse du sondage

3.2.1 Qualifications et Formation

La qualification et la formation des praticiens en analyse des traces de sang sont des éléments importants de leur reconnaissance en tant qu'expert. Selon les critères de l'IABPA et du SWGSTAIN, les 17 participants possèdent les éléments de base pour être considérés comme des

praticiens en traces de sang. Cependant, selon les éléments plus complexes de la norme ANSI/ASB 032, décrite en détail dans la section 2.2, 6 participants ne respectent pas tous les critères. L'étape manquante du processus pour ces 6 participants est le passage à travers un programme de mentorat avec un praticien plus expérimenté. De ces 6 participants, quatre sont membres de l'IABPA, association qui soutient l'utilisation de la norme ANSI/ASB 032 (International Association of Bloodstain Pattern Analysts, 2025). Il est possible que certains de ces participants aient effectué un tel programme sans le mentionner explicitement dans leurs réponses. À ce moment, une plus grande quantité des participants serait en accord avec la norme ANSI/ASB 032.

Cependant, il existe des recommandations plus spécifiques concernant les critères de formation pour un analyste en traces de sang. Plusieurs matières sont préconisées dans le NAS report, le manuel des opérations du programme de certification de l'IAI, la norme ANSI/ASB 032 de l'OSAC et le SWGSTAIN (American National Standards Institute/Academy Standards Board, 2020; International Association for Identification, 2024, p. 38; U.S. Department of Justice, 2008; US National Research Council, 2009, p. 177) : balistique, biologie, chimie, hématologie, mathématiques, médecine légale, photographie, physique (ou mécanique ou dynamique) des fluides, probabilité/statistiques/interprétation et sciences forensiques.

Les réponses aux questions 3 et 4 qui concernent les qualifications des praticiens et leur opinion concernant ces cours identifiés comme pertinents sont présentées ci-dessous dans le tableau 18 et la figure 21.

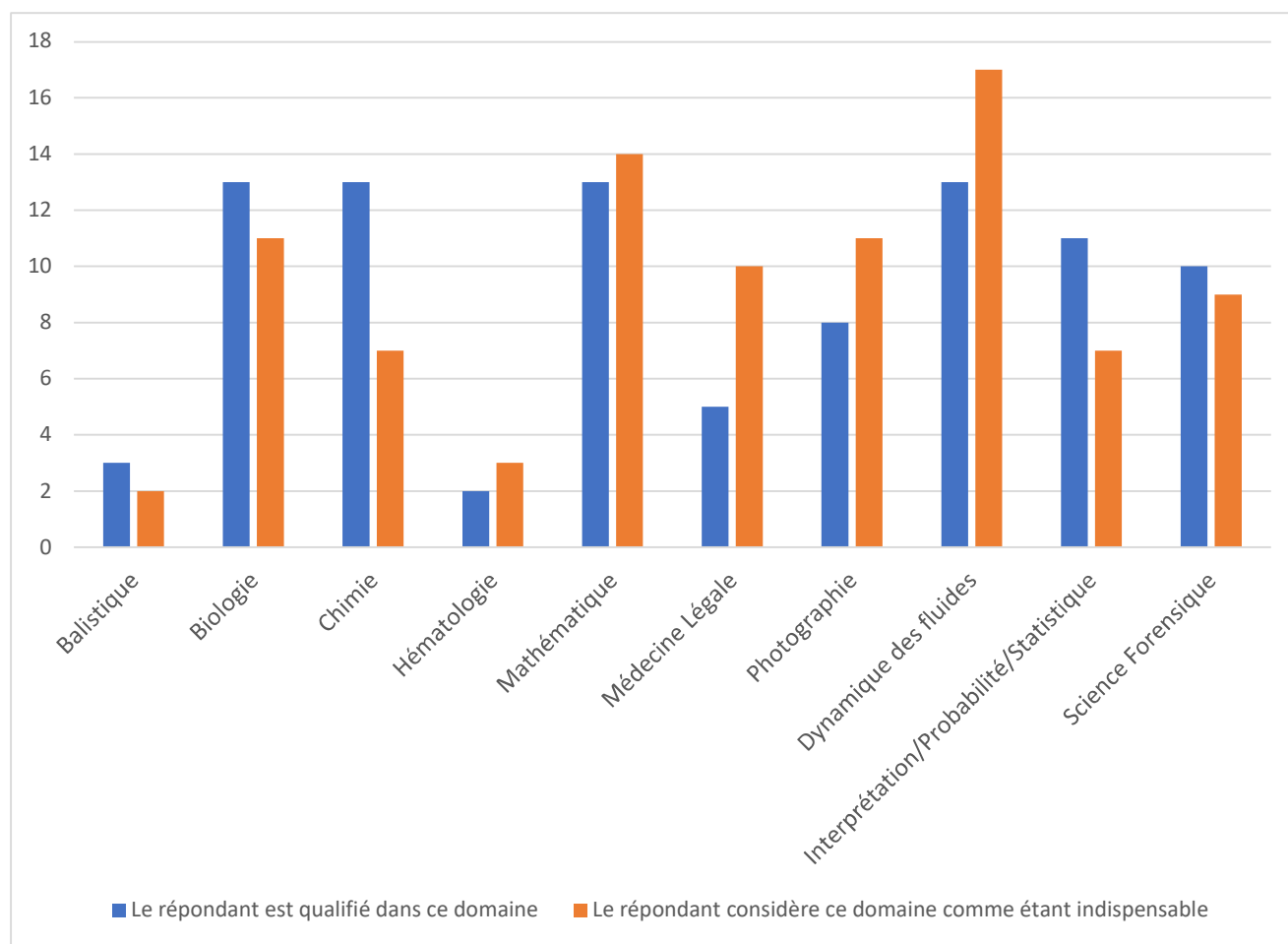
Tableau 18. Distribution des réponses des participants concernant leurs qualifications et perceptions des exigences académiques (n=17)

| Années d'expérience | Sujet | Balistique | Biologie | Chimie | Hématologie | Mathématique | Médecine Légale | Photographie | Dynamique des fluides | Statistique | Sciences Forensiques |
|---------------------|-------|------------|----------|--------|-------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------------|-------------|----------------------|
| 0-5 ans | 2 | | | | | ✓ | | ✓ | ✓ | | |
| | 1 | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ |
| | 8 | | ✓ ✓ | ✓ | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ |
| 5-10 ans | 10 | | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ ✓ | | | ✓ ✓ | ✓ | ✓ |
| | 15 | | ✓ | ✓ | | ✓ ✓ | | ✓ | ✓ ✓ | ✓ | ✓ |
| | 13 | | ✓ | ✓ | | ✓ | | ✓ ✓ | ✓ | | ✓ ✓ |
| | 4 | ✓ | ✓ | ✓ | | ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | | ✓ ✓ |
| | 7 | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ | ✓ ✓ | ✓ | ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ |
| 10-15 ans | 9 | | | | | | ✓ | | ✓ | | |
| | 17 | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ ✓ | ✓ | ✓ | ✓ ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| 15-20 ans | 11 | | ✓ ✓ | ✓ | ✓ | ✓ ✓ | ✓ | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | |
| | 12 | | ✓ | | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | | |
| 20-25 ans | 3 | ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | | ✓ ✓ | | | ✓ ✓ | ✓ | |
| | 14 | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | | ✓ ✓ | ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ |
| | 16 | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | | ✓ | | | ✓ ✓ | ✓ | ✓ ✓ |
| 25 ans et plus | 5 | | ✓ ✓ | ✓ | | ✓ ✓ | | | ✓ ✓ | ✓ | |
| | 6 | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ | ✓ ✓ |
| | | 3 2 | 13 11 | 13 7 | 2 3 | 13 14 | 5 10 | 8 11 | 13 17 | 11 7 | 10 9 |

Note. Les crochets en bleu signifient que le participant est qualifié dans cette discipline et les crochets orange signifient que le participant considère cette discipline comme étant indispensable. Les couleurs de fond des lignes correspondent à la profession du participant : expert/consultant en vert, instructeur en bleu, technicien de scène de crime en orange et divers en rouge.

Aucun participant n'est qualifié dans toutes ces disciplines, pourtant considérées par les organisations spécifiées plus haut comme étant nécessaires à la réalisation des expertises en analyses des traces de sang. Un participant s'en rapproche avec une seule discipline manquante : l'hématologie. Le participant moyen est quant à lui qualifié dans cinq des dix disciplines.

Figure 21. Distribution des réponses des répondants concernant leurs qualifications académiques (n=17)



30 % des participants (5 sur 17) ont suivi un cours de médecine légale, 48 % (8 sur 17) de photographie et 76 % (13 sur 17) en dynamique des fluides. La totalité de ces participants qualifiés sont satisfaits de ces formations. De plus, parmi les participants qui ne sont pas qualifiés dans ces disciplines, respectivement 30 % (5 sur 17), 18 % (3 sur 17) et 24 % (4 sur 17) ressentent un besoin d'être qualifiés. D'ailleurs, les 17 participants considèrent la dynamique des fluides comme étant indispensable, il s'agit de la seule discipline avec un tel consensus. Cette

satisfaction et ces besoins semblent distinguer ces disciplines comme étant des matières apportant un effet positif et concret ou perçues comme nécessaires aux expertises effectuées. Il reste quelque peu difficile de pousser plus loin l'interprétation avec un échantillon aussi réduit.

Quatre disciplines possèdent un taux de satisfaction (ils considèrent le cours qu'ils ont suivi comme étant indispensable) supérieur à 50 % chez les participants qualifiés : la biologie, les mathématiques, les probabilités/statistiques/interprétation et la science forensique. En biologie, 76 % (13 sur 17) des participants sont qualifiés et 69 % (9 sur les 13) d'entre eux sont satisfaits des informations acquises. Ces taux sont de 76 % (13 sur 17) et 85 % (11 sur les 13) en mathématique, de 65 % (11 sur 17) et 55 % (6 sur les 11) en interprétation et de 59 % (10 sur 17) et 80 % (8 sur les 10) en science forensique. Ces disciplines sont des cours fréquemment suivis par les praticiens (à plus de 50 %), avec un haut taux de satisfaction. Une fois de plus, des participants non qualifiés dans ces disciplines ressentent un besoin de suivre l'un de ces cours pour être qualifiés. Les pourcentages sont de 12 % (2 sur 17) en biologie, de 18 % (3 sur 17) en mathématique et de 6 % (1 sur 17) en interprétation et science forensique.

A contrario, 54 % des sondés (7 sur 13) sont insatisfaits de leur formation en chimie. Il est alors intéressant de noter, malgré le faible échantillon, que deux des trois participants formés en balistique, et que l'un des deux en hématologie le sont aussi, alors que parmi les participants n'ayant pas suivi l'un de ces cours, certains auraient aimé les suivre : un en balistique, un en chimie et deux en hématologie.

En bref, sur ces bases limitées de 17 professionnels de l'analyse des traces de sang, la dynamique des fluides, la photographie et la médecine légale sont plébiscitées. La biologie, les mathématiques, l'interprétation et les sciences forensiques sont sûrement pertinentes et appropriées. La balistique, la chimie et l'hématologie ne seraient pas utiles aux expertises.

Quatre ANOVA ont été effectuées dans R prenant alternativement comme variables qualitatives la profession et l'expérience des participants et comme variables quantitatives le nombre de disciplines sur lesquelles chacun d'entre eux est qualifié et le nombre de disciplines que les sondés considèrent indispensables (les lignes de codes sont disponibles dans les *materials*).

L'expérience des participants ne semble pas être un facteur significatif sur les qualifications des praticiens dans les disciplines recommandées ($p = 0.5643$) et sur leur perception des disciplines indispensables ($p = 0.9884$).

Que l'on considère la catégorie Divers ($p = 0.0143$) ou pas ($p = 0.0458$), la profession du participant semble influencer le nombre de disciplines dans lesquelles il est qualifié. Les techniciens de scène de crime sont qualifiés en moyenne sur cinq disciplines, les experts/consultants sur six et les instructeurs sur huit.

Cependant, la variation de p dans l'ANOVA portée par Divers invite à s'intéresser à sa signification : parmi les trois participants de cette classification, deux ne sont qualifiés dans aucune discipline et le troisième est en apprentissage.

Cette disparité pourrait-elle être due à une formation différente pour les emplois que les participants occupent ? Par exemple les prérequis pour être un expert/consultant seraient-ils plus complexes que pour un technicien en scène de crime ? Les instructeurs quant à eux doivent-ils être plus qualifiés, car pour enseigner le métier ils doivent posséder de nombreuses connaissances ? Il serait intéressant d'observer les critères de sélections et les formations internes des différents emplois effectuant des analyses en traces de sang.

Finalement, 35 % ($n = 6$) des participants possèdent une certification en lien avec l'analyse des traces de sang. La majorité étant une certification de l'IAI ou de *l'American Board or Criminalistics* (ABC). En moyenne, un participant certifié est qualifié dans sept disciplines, alors que sans certification il est qualifié dans quatre disciplines. Par l'ANOVA, il n'est pas possible d'accepter une absence d'influence de cette certification dans la qualification des participants ($p = 0,04167$). Il serait intéressant, cependant, de savoir si ces connaissances ont été acquises lors de la formation de base du praticien ou en vue de l'obtention d'une certification. Les données disponibles dans le questionnaire ne peuvent répondre à cette question.

3.2.2 Connaissances des accréditations et des certifications

Les 17 participants possèdent une connaissance et une compréhension des processus d'accréditation et de certification variée. Tous possèdent une compréhension de base de leur fonctionnement. On peut classer leur compréhension de l'accréditation et la certification en

deux catégories : compréhension limitée et excellente. Les participants peuvent n'être classés dans aucune de ces catégories s'ils n'ont pas fourni d'informations permettant d'évaluer leur niveau de compréhension. Deux participants (12 %) ont été retirés de cette analyse, car n'ayant pas répondu à la question.

Compréhension limitée : Les termes accréditation et certifications sont utilisés de façon interchangeable. Dans cette compréhension, le processus de qualification (certification/accréditation) assure automatiquement la production d'une expertise fiable. L'objectif final est d'assurer la crédibilité et l'intégrité de l'expertise.

Compréhension excellente : Les termes sont utilisés séparément et correctement. L'accréditation atteste de la conformité du laboratoire à la norme et la certification reconnaît l'aptitude du praticien de cette organisation à exécuter les tâches reliées à l'analyse des traces de sang. L'objectif final est de témoigner de la crédibilité, de l'intégrité et de la capacité du laboratoire et du praticien.

Six participants, soit 40 %, ont été classés en compréhension limitée. Ci-dessous, deux exemples pour illustrer :

« L'accréditation et la certification octroient intégrité, respect et crédibilité à ce que nous faisons en tant que profession » [Traduction libre] (Participant 9).

« L'accréditation et la certification permettent de s'assurer [qu'un individu] à une connaissance de la science et que le laboratoire ou le scientifique utilise des techniques et des méthodes solides et acceptées scientifiquement » [Traduction libre] (Participant 16).

Neuf participants, soit 60 %, ont été classés en compréhension excellente. Ci-dessous, quelques exemples pour l'illustrer :

« L'accréditation est nécessaire pour assurer que les analystes suivent une méthodologie acceptée ou un ensemble de procédures reconnues par un organisme faisant autorité » [Traduction libre] (Participant 1).

« Une certification [...] permet de vérifier les connaissances et les compétences de l'expert. L'accréditation concerne les méthodes suivies par l'expert partant des données et aboutissant à des conclusions » (Participant 4).

« L'accréditation est la reconnaissance formelle par un organisme externe reconnu des installations, capacité, objectivité, compétence et intégrité d'une agence, un service, un groupe opérationnel ou un individu [...] La certification est une attestation désignée acquise par un individu pour valider sa légitimité et sa compétence à effectuer un travail » [Traduction libre] (Participant 8).

Posséder une connaissance des processus d'accréditation et de certification suffisante pour comprendre leur fonctionnement peut être complexe. En effet, tels qu'illustrés précédemment, 40 % des participants possèdent une compréhension limitée. Cependant, cette complexité des processus n'est pas verbalisée par les participants. Seul un participant a exprimé le fait que les accréditations et les certifications sont fréquemment utilisées de manière interchangeable :

« [Je] comprends les deux termes (bien que certains groupes/individu les utilisent de façon interchangeable) » [Traduction libre] (participant 6).

En observant le tableau 19, il est possible de déterminer que l'expérience des participants n'a pas d'impact significatif sur leur connaissance des processus d'accréditation et de certification. Cependant, leur profession semble impacter leur compréhension.

Tableau 19. Compréhension des participants des processus d'accréditation et de certification

| | Participant | Compréhension | | |
|-------------|-------------|---------------|--------|------------|
| | | Inexistante | Limité | Excellente |
| 0 à 5 ans | 2 | X | | |
| | 1 | | | X |
| | 8 | | | X |
| 5 à 10 ans | 10 | | | X |
| | 15 | | | X |
| | 13 | | X | |
| | 4 | | | X |
| | 7 | | X | |
| 10 à 15 ans | 9 | | X | |
| | 17 | | X | |
| 15 à 20 ans | 11 | | | X |
| | 12 | | | X |
| 20 à 25 ans | 3 | X | | |
| | 14 | | | X |
| | 16 | | X | |
| 25 ans et + | 5 | | X | |
| | 6 | | | X |

Les experts/consultants et les instructeurs possèdent, à l'exception de deux participants, une excellente compréhension, mais les techniciens de scène de crime ont tous une compréhension limitée. Cela pourrait être expliqué par le fait que les techniciens de scène de crime sont souvent employés par les postes de police qui, en majorité, ne considèrent pas l'accréditation de leur pratique une priorité (Neuteboom et al., 2023). N'étant pas en contact régulier avec les processus d'accréditation et de certification, leur compréhension peut en être moindre. Pour ce qui est de la catégorie Divers, le participant 2, qui est en apprentissage, n'a pas répondu à la question et les deux autres participants ont une compréhension limitée. La différence pourrait aussi être due à leur lieu de travail étant donné qu'ils ne sont pas dans un laboratoire de traces de sang, mais dans un bureau de médecin légiste et un laboratoire ADN.

3.2.3 Principaux thèmes abordés

En analyse qualitative, les codes sémantiques sont des thèmes qui représentent la perception que les sondés ont d'une thématique proposée, ici l'expertise en traces de sang (Miles et al., 2020; Saldaña, 2016). L'analyse qualitative des questionnaires permet d'extraire différents codes selon la méthode expliquée ci-dessous.

Lors de la première lecture du questionnaire, les passages intéressants sont soulignés et il leur est attribué un code représentatif des éléments mentionnés dans l'extrait. Le premier code attribué exploite, si possible, les termes et mots utilisés par le participant. L'analyse des participants subséquents est effectuée de manière analogue. Les passages soulignés peuvent être attribués à un code précédent si des similitudes dans le contexte le permettent. Une fois tous les questionnaires analysés, les codes obtenus sont retravaillés pour regrouper les éléments similaires et attribuer des termes plus représentatifs de l'ensemble des citations extraites. Ces termes peuvent conserver les mots impartis par les participants ou être définis par un langage plus représentatif du concept. Puis, une deuxième analyse des participants est accomplie pour assurer un encodage de toutes les sections pertinentes.

L'analyse qualitative complète des 17 questionnaires a fait ressortir 12 concepts et 3 sous-concepts, avec leurs codes respectifs. Pour être accepté, un concept doit être mentionné par aux moins deux participants. Il y a trois raisons pour l'extraction d'un code à partir d'une citation soit : un bénéfice, une justification ou la méthodologie. Un code descripteur d'un bénéfice signifie que le participant exprimait que l'accréditation ou la certification apporte un bénéfice à l'expertise. Un code descripteur d'une justification exprime la raison de la mise en place des processus d'assurance qualité. Un code descripteur d'une méthodologie signifie que les propos du participant contenaient une méthodologie spécifique concernant l'expertise. Les 12 thèmes et 4 sous-thèmes retenus avec leur signification et les raisons de leur présence sont décrits dans le tableau 20.

Tableau 20. Liste des Codes/Thèmes extraits de l'analyse qualitative des questionnaires

| Code/Thème | Description | Raison | Fréquence |
|------------------------|---|---------------|---------------|
| Confiance | Terme méta-analytique attribué lorsque l'un des quatre concepts ci-dessous est identifié. Le code représente le fait que le participant à une confiance envers le travail qu'il a effectué. | Bénéfice | 82 % (n = 14) |
| Conclusion | Les conclusions exprimées, les résultats et l'expertise en générale sont fiables, précis, exacts ou justes. | Bénéfice | 35 % (n=6) |
| Fiabilité | Fiabilité du processus utilisé lors de l'expertise. La méthode est adaptée à la situation, est acceptée scientifiquement, solide et fiable ou possède une métrologie validée (instrument juste). | Bénéfice | 29 % (n=5) |
| Légal | Satisfaction du praticien que l'expertise et le rapport discuté sont de qualité suffisante pour être utilisés en cours de justice et fiables pour le décideur des faits. | Bénéfice | 24 % (n=4) |
| Crédibilité | Les processus d'accréditation et de certification permettent au laboratoire (organisme) et aux praticiens d'être crédibles aux yeux du public, des experts et des collègues. Cela permet d'avoir un statut dans le domaine, d'être dignes de confiance et reconnus comme fiables. | Bénéfice | 76 % (n=13) |
| Vérification | Mention de l'utilisation d'un processus de vérification de l'expertise. | Méthodologie | 53 % (n=9) |
| Respect des procédures | Les processus d'accréditation et de certification permettent de s'assurer que les experts et les expertises respectent des procédures. | Bénéfice | 47 % (n=8) |
| Incertitudes | L'expert reconnaît la présence d'incertitude dans les expertises ou le rapport. | Méthodologie | 41 % (n=7) |
| Compétence de l'expert | Les processus d'accréditation et de certification permettent de s'assurer de la compétence du praticien à effectuer les tâches requises. | Bénéfice | 29 % (n=5) |
| Formation continue | Les processus d'accréditation et de certification permettent de s'assurer du maintien des compétences de l'expert. | Bénéfice | 24 % (n=4) |
| Uniformisation | Les processus d'accréditation et de certification sont mis en place pour uniformiser la pratique à l'intérieur de l'organisation ou de la région géographique. | Justification | 18 % (n=3) |
| Généralisation | Utilisation de termes généraux pour énoncer les conclusions de l'expertise de façon à limiter les incertitudes. | Méthodologie | 18 % (n=3) |

| | | | |
|-----------|---|---------------|------------|
| Politique | Les processus d'accréditation et de certification sont mis en place pour satisfaire à une politique interne de l'organisation ou du gouvernement. | Justification | 12 % (n=2) |
| Traces | Utilisation du terme traces pour référer aux éléments recherchés et analysés lors de l'expertise | Méthodologie | 12 % (n=2) |
| Biais | L'expert reconnaît la présence de biais dans les expertises ou le rapport et/ou la manière de s'en prémunir. | Méthodologie | 12 % (n=2) |

Un test ANOVA a été réalisé pour évaluer l'interaction de la profession et de l'expérience du participant sur les thèmes qui était mentionnée. Les calculs ont été effectués avec le logiciel R, les lignes de codes utilisés sont disponibles dans les *materials*. Les résultats ne permettent pas de détecter d'influence concernant la profession ($p = 0.3284$) ou l'expérience ($p = 0.1663$) sur le nombre de thèmes mentionnés par les participants.

Figure 22. Nuage de mots des principaux thèmes ressortant de l'analyse des questionnaires des participants



Il est possible d'observer dans la figure 22 les 12 thèmes et 3 sous-thèmes extraits. Leur positionnement et leur couleur dans la figure sont un choix esthétique, la grosseur des caractères étant informative. Plus le terme est gros, plus il est mentionné par des participants. Le plus gros terme, confiance, est mentionné par 82 % des participants (14 sur 17) et les plus petits termes sont mentionnés par 2 des 17 participants.

Parmi les codes extraits des questionnaires, cinq représentent des bénéfices perçus par les participants. Le code “confiance” est le plus fréquent des bénéfices mentionnés dans l’analyse, il est utilisé par 82 % des participants (n=14).

Trois codes supplémentaires sont des sous-codes. Lorsque le code “confiance” est attribué, l’extrait est assigné au code et à un sous-code pour mieux classer le type de confiance exprimée. Ils représentent des aspects différents de la confiance que possèdent les participants envers leur expertise. Six participants (35 %) l’utilisent en tant que “Conclusion”. Pour ces individus, l’accréditation et la certification permettent de s’assurer que les résultats obtenus sont fiables. Ci-dessous un exemple de la codification “Conclusion” dans l’analyse qualitative :

« [L’accréditation] assure que l’agence produit des analyses de qualité et fiables qui s’alignent avec les autres agences/laboratoires dans le domaine » [traduction libre] (participant 11).

Quatre participants (24 %) utilisent la confiance pour signifier une “fiabilité”. Leur confiance réside dans le fait que les expertises ont été obtenues avec des processus et une méthode fiable, qui sont acceptés par la communauté scientifique. Ci-dessous des exemples de la codification “Fiabilité” dans l’analyse qualitative :

« Les procédures écrites permettent de s’assurer que les travaux sont toujours fiables même lorsque les expertises sont nombreuses » (participant 4).

« Mes outils de mesure sont calibrés régulièrement et je pourrais produire, si l’on me le demandait, une valeur de précision » [traduction libre] (participant 1).

Quatre participants (24 %) utilisent la confiance avec une signification “légal”. Ils possèdent une confiance que l’expertise est d’une qualité suffisante pour être utilisée en cours de justice. Ci-dessous un exemple de la codification “légal” dans l’analyse qualitative :

« Cette validation permet d’être plus assuré [...] lors de la présentation orale devant les cours de Justice » (participant 4).

Quant au code “Crédibilité”, il possède une fréquence de 76 % (n=13). Ci-dessous des exemples de la codification dans l’analyse qualitative :

« *Accréditer pour [...] la reconnaissance de notre sérieux vis-à-vis les pairs et la cour* » (participant 5).

« *L'accréditation et la certification confèrent de l'intégrité, du respect et de la crédibilité à ce que nous faisons en tant que profession* » [traduction libre] (participant 9).

« *Les laboratoires accrédités influenceront définitivement mon opinion des résultats que ces laboratoires produisent (positivement)* » [traduction libre] (participant 12).

Le code “ Respect des procédures ” est en troisième position avec une fréquence de 47 % (n = 8). Ci-dessous, exemples de la codification “ Respect des procédures ” dans l'analyse qualitative :

« *L'accréditation est nécessaire pour garantir que les analystes suivent une méthodologie acceptée ou un ensemble de procédures reconnues par un organisme faisant autorité* » [traduction libre] (participant 1).

« *L'accréditation du laboratoire ou de l'analyse des traces de sang [...] assure qu'il [le laboratoire] opère conformément à des normes internationales reconnues* » [traduction libre] (participant 8).

Il est suivi du code “Compétence de l'expert” avec une fréquence de 29 % (n = 5). Il s'agirait d'un bénéfice de la certification. Ci-dessous, exemples de la codification dans l'analyse qualitative :

« *Elle [certification] permet de vérifier les connaissances et les compétences de l'expert* » (participant 4).

« *La certification teste les capacités des individus afin de s'assurer qu'ils sont aptes à effectuer des tâches spécifiques avec les résultats attendus* » [traduction libre] (participant 12).

Le dernier bénéfice mentionné est le code “Formation continue”, avec une fréquence de 24 % (n = 4). Il s'agit encore une fois d'un bénéfice de la certification. Ci-dessous, exemple de la codification dans l'analyse qualitative :

« Une certification démontre qu'un analyste a réussi (ou continue de réussir) un examen comportant des questions liées à la discipline et qu'il suit une formation continue pour rester informé et conscient des changements dans le domaine » [traduction libre] (participant 11).

Concernant les codes de justification, deux types sont soulevés pour expliquer l'adoption des processus d'accréditation et de certification par les organismes : l'uniformisation et les politiques. Ci-dessous, exemple de la codification "Uniformisation" possédant une fréquence de 18 % (n = 3) dans l'analyse qualitative :

« [Accréditer] pour uniformiser notre pratique [...] pour s'harmoniser avec le reste du laboratoire » (participant 5).

Ci-dessous, exemple de la codification "Politique" possédant une fréquence de 12 % (n=2) dans l'analyse qualitative :

« C'est la politique du laboratoire et une exigence des normes que d'être accrédité. La certification des analystes n'est pas obligatoire et n'est que volontaire » [traduction libre] (participant 15).

Cinq méthodologies spécifiques des participants sont ressorties de l'analyse qualitative. La codification "Vérification" est la plus fréquente avec, 53 % (n = 9) des participants ayant tenu à préciser qu'ils utilisaient des méthodes de vérification dans leurs expertises en analyses des traces de sang. Ci-dessous, un exemple de la codification "Vérification" dans l'analyse qualitative :

« Nous sommes un laboratoire accrédité, donc une fois que l'analyse des traces de sang est effectuée, elle doit être vérifiée par un autre analyste formé » [traduction libre] (participant 10).

Les incertitudes possibles dans les conclusions d'expertises sont soulevées par moins de participants. 41 % (n = 7) les reconnaissent, mais avec différents degrés de compréhension. Certains considèrent que la seule incertitude à mentionner est celle des instruments utilisés pour le calcul des angles d'impact et du point d'origine, ce qui requerrait sûrement des connaissances mathématiques plus poussées, alors que les propositions de standards US récents sur les mesures de traces sont muettes sur la quantification des incertitudes de mesures d'angle d'impact.

D'autres reconnaissent une incertitude engendrée par le vocabulaire utilisé ou encore inhérente à l'expertise effectuée sans arriver à le mentionner efficacement dans les rapports, ce qui témoigne d'une absence de connaissance en matière de probabilité épistémique et d'interprétation des preuves en science forensique. Ci-dessous, des exemples de la codification "Incertitudes" dans l'analyse qualitative :

« L'incertitude est seulement exprimée quand des résultats quantitatifs d'angles d'impact sont rapportés » [Traduction libre] (participant 7).

« Les incertitudes ne sont liées qu'au vocabulaire employé. Nous aurions la volonté d'introduire un calcul d'incertitude concernant les identifications, mais [...] cela n'a pas été possible » (participant 4).

« Si nous sommes incertains, nous utilisons des catégories générales ou incluons des mécanismes additionnels possibles ou des opinions » [traduction libre] (participant 13).

Finalement, 18 % (n = 3) des sondés reconnaissent utiliser des conclusions vagues pour ne pas dépasser ce que la discipline permet de soutenir et contourner l'expression d'incertitude dans les conclusions. Ci-dessous, un exemple de la codification "Généralisation" dans l'analyse qualitative :

« Nous gardons nos conclusions générales afin de ne pas surestimer ce que le domaine peut réaliser » [traduction libre] (participant 15).

Deux participants (12 %) ont soulevé la problématique de la présence des biais lors de l'analyse des traces de sang. L'un des participants spécifie qu'une vigilance à leur présence doit être apportée pour les éviter et qu'il est parfois nécessaire d'effectuer des actions préventives, tel que la limitation à des informations contextuelles de la scène de crime. Une attention particulière a été apportée aux biais de confirmation par le participant 14 :

« On doit faire preuve d'une grande vigilance pour ne pas se laisser influencer par le biais de confirmation ! » [Traduction libre] (participant 14).

3.2.4 Analyse spécifique du concept de trace

Finalement, parmi les 17 participants, seuls deux (12 %) utilisent le terme traces dans leur vocabulaire. Situation intéressante considérant que la définition de la science forensique par la déclaration de Sydney place la trace au cœur de l'activité :

« Forensic science is a case-based (or multi case-based) research-oriented, science-based endeavour to study traces – the remnants of past activities (such as an individual's presence and actions) – through their detection, recognition, recovery, examination and interpretation to understand anomalous events of public interest (e.g., crimes, security incidents) » (Roux et al., 2022).

Dans ce cas, ne devrait-il pas y avoir un plus grand pourcentage des participants utilisant le terme trace ? Pour quelles raisons seulement deux participants ont effectué cette distinction ? Une analyse plus détaillée des questionnaires de ces deux participants est nécessaire pour répondre à cette question.

Participant 4

Le participant 4 effectue une distinction entre l'accréditation ISO/IEC 17020 et ISO/IEC 17025. D'après lui, la norme ISO/IEC 17020 prendrait en charge les compétences de l'inspecteur, aka l'expert en traces de sang et mettrait de l'avant son impartialité. Alors que la norme ISO/IEC 17025 concernerait la validité des outils utilisés lors de l'analyse. Or l'analyse des traces de sang n'utilise pas d'outils particuliers. Le participant 4 doute de son utilité en analyse des traces de sang.

De plus, il s'agit d'un des participants reconnaissant la présence d'incertitudes dans l'analyse des traces de sang. Les incertitudes verbalisées lors de leurs expertises concernent le vocabulaire utilisé. Cependant, il y a un désir d'introduire des calculs d'incertitude reliée à la classification des patrons, soit leur identification, mais cela leur est impossible par manque de personnel qualifié. Il s'agit du seul participant de l'étude à avoir exprimé une envie de formuler des incertitudes concrètes concernant l'identification des traces de sang. De plus, il souhaiterait l'effectuer avec des informations probabilistes, mais il constate un manque de données de base pour effectuer ce travail.

Participant 6

Le participant 6 est d'avis que les associations ne sont pas utiles, car elles sont constituées d'individus qui sont soit des praticiens sans éducation scientifique ou des académiciens sans expériences concrètes d'une scène de crime. Il n'y aurait aucun bénéfice à faire partie d'une telle association. Il est d'un avis similaire pour les certifications et les accréditations. Il s'agirait de mesures mises en place pour conforter les analystes en trace de sang dans ce qu'ils font. Il ne croit pas qu'elles servent un but réel et, dans la plupart du temps, une telle assurance n'est pas offerte.

« Les certifications en analyses des traces de sang par ceux qui les offrent présentement sont inutiles à mon avis. Tout groupe ou organisation proposant une accréditation est certainement tout aussi inutile. Il semble s'agir de mesure inutile visant à donner aux autres "l'assurance" que les praticiens actuels savent ce qu'ils font » [traduction libre].

Il spécifie que l'analyse des traces de sang est un outil qui doit être utilisé correctement et qu'une analyse globale de la scène de crime doit être effectuée. De plus, il n'est pas suffisant d'être formé à l'analyse des traces de sang. L'expert doit posséder une éducation scientifique et forensique. En effet, la trace n'est pas une chose facile à analyser, il ne s'agit pas d'une tâche routinière ou répétitive.

Il semblerait que l'utilisation du terme trace par les participants 4 et 6 viennent avec une compréhension de son importance centrale en science forensique. Considérons le premier principe de la déclaration de Sydney ; comme quoi la trace est un vecteur fondamental de l'information et qu'il s'agit d'un vestige de l'activité. La trace serait ainsi à la base de l'investigation, mais posséderait une incertitude intrinsèque (Roux et al., 2022). Cette compréhension impacterait leur perception de l'expertise effectuée. L'expertise comporterait des incertitudes à sa base, ce que les participants 4 et 6 reconnaissent. Il y aurait même, de la part du participant 4, une envie de formuler ces incertitudes de façons probabilistes, ce qui n'est pas formulé par les autres participants.

3.3 Limites du sondage et de l'analyse qualitative

La population cible étant limitée et difficile d'accès, les données ne peuvent être vérifiées par une méthode de triangulation. La triangulation dans les données de recherche étant le principe

d'acquérir les données avec des variables différentes (source, temps endroit, individu) (Flick et al., 2004). Les questionnaires sont les seules sources de données utilisées (Miles et al., 2020, p. 293). Parallèlement, l'utilisation du mode d'échantillonnage par participation volontaire implique un risque sur la représentativité de la population. Il est possible que seuls les individus qui se sentent concernés par la problématique répondent au sondage. Il est ainsi important de procéder avec prudence avant d'appliquer les résultats de la présente étude à une population plus grande (Fortin & Gagnon, 2022).

Il s'agit d'une recherche exploratoire, encore plus étant donnée la faible quantité de participants (n=17). Les conclusions sont extrapolées à partir des réponses de ces 17 participants, les informations extraites pourraient ne pas être généralisables.

Chapitre 4 : Discussion

À l'exception des participants 4 et 6, peu des sondés de notre étude semblent percevoir les incertitudes natives à l'analyse des traces de sang, non résolues par les processus d'assurance qualité. Une lecture inversée des chapitres de ce travail permet de mieux percevoir les différents défis qui s'imposent.

4.1 Confrontation du sondage avec notre étude.

Quel que soit le niveau de connaissance qu'ont les participants des processus d'accréditation et de certification, il demeure une disparité entre l'effet attendu et l'apport concret que ces processus peuvent apporter.

En effet, considérons nos bénéfices répertoriés, soit les concepts de confiance (82 %, soit $n = 14$), de crédibilité (76 %, soit $n = 13$), de respect des procédures (47 %, soit $n = 8$) et de compétence de l'expert/formation continue (29 % et 24 %, soit $n = 5$ et $n = 4$). Ils corroborent les bénéfices des accréditations et certifications identifiés par une récente étude de Neuteboom et al. (2023), sur l'apport perçu de la qualité en science forensique en général sur un plus grand échantillon de sondés concernant la science forensique. Les auteurs retiennent les quatre bénéfices suivants aussi cités par les praticiens en traces de sang de notre étude :

1. 85.6 % ($n = 83$) : amélioration de la fiabilité et validité des résultats des tests ;
2. 85.6 % ($n = 83$) : système de management amélioré/systématique ;
3. 83.5 % ($n = 81$) : amélioration personnelle ;
4. 77.3 % ($n = 75$) : confiance/fierté dans l'organisation.

Les accréditations et les certifications participeraient donc à fiabiliser les résultats en s'assurant que le travail effectué soit répétable, reproductible et robuste, compris ici dans un sens consensuel, épistémique plus que statistique. Elles assureraient des conclusions identiques entre praticiens, ce que questionnent les études de Laber et al. (2014), et d'Hicklin et al (2021) dans notre étude sur la morphoanalyse des traces de sang. L'accréditation permettrait de se défendre contre les critiques visant l'impartialité et l'intégrité de l'organisme effectuant les expertises. En bref, les processus d'accréditation et de certification ressemblent surtout à des processus formels emportant la confiance des praticiens envers les résultats obtenus. Reste à savoir si cette

confiance des praticiens est transmise aux décideurs de fait, ce que ne permet pas d'évaluer notre étude.

4.2 Une réelle fiabilité scientifique ?

L'étude de Laber et al. (2014), nous invite à soulever les problèmes des biais cognitifs inhérents à la condition humaine. Leur étude permet de souligner la présence de biais de disponibilité, d'ancrage et possiblement de l'effet de Dunning Kruger. Environ 27 % de leurs participants ont été sujets au biais d'ancrage en conservant une réponse erronée ou non concluante lors des expériences sur les surfaces rigides (112 participants sur 413) et sur les tissus (82 participants sur 321), sans qu'il soit possible d'évaluer ceux qui en sont conscients. De notre côté, seuls 2 participants (12 %) de notre étude ont mentionné la présence de biais dans les expertises, plus particulièrement le biais de confirmation. Ne peut-on, dès lors avancer que les biais sont bien présents en analyse de traces de sang, mais peu identifiés par les praticiens ?

Les données expérimentales d'Hicklin et al. (2021), nous ont permis de questionner la robustesse des classifications et des questions sur l'activité à l'origine des traces de sang. En effet, malgré un pouvoir discriminant d'environ 91 % en classification, la sensibilité de l'ordre de 53 % donne des LR de l'ordre de 6 ou inférieur (sauf en cas d'une spécificité perçue sur certaines traces de sang, soutenues peu robustement par la taille des praticiens sondés, et qui reste ponctuelle à quelques patrons observés). La situation est similaire pour les questions concernant l'activité. Nonobstant la robustesse statistique de cette étude, qui ne peut être consolidée que par de plus grands échantillons d'analyses de conclusions d'experts, se greffe celle de la répétabilité et de la reproductibilité des opinions, surtout lorsque les auteurs de l'étude eux-mêmes soulèvent un problème de sémantique chez les praticiens.

4.3 Rôle des accréditations, certifications : un problème plus général en science forensique

Cette situation est-elle spécifique à l'analyse des traces de sang ? Plusieurs questionnements sont soulevés sur la dynamique des accréditations, des certifications et des normes en science forensique et leur application à la trace. Dédiées principalement, sinon exclusivement à la réglementation et au contrôle des méthodes et des produits utilisés, ainsi qu'à la maintenance et la calibration des instruments (cas de l'ISO/IEC 17025), plus

exceptionnellement à la structuration inférentielle des conclusions (parfois attribuée à l'ISO/IEC 17020, moins suivie), les normes disponibles ont de la difficulté à s'adapter à la trace, et à son incertitude native. Soutenant la compétence des experts, la répétabilité, la reproductibilité des méthodes utilisées, l'assurance qualité, les accréditations et les certifications ne peuvent garantir la robustesse et la fiabilité inférentielle des conclusions d'analyses issues de la trace-spécimen. Au mieux, elles assurent une transparence derrière les méthodes utilisées, une confiance et une harmonisation entre laboratoires (Crispino et al., 2019; Neuteboom et al., 2023; Ribaux, 2023; Ross & Neuteboom, 2022).

Finalement, comment réfuter l'affirmation que ces processus restent formels, voire administratifs et s'alimentent eux-mêmes en étant vides de sens. Certaines des précédentes normes en traces de sang de l'OSAC illustraient bien cette situation : la norme ANSI/ASB 030 : *Standards for a quality assurance program in bloodstain pattern analysis* et la norme ANSI/ASB 072 : *Standard for the validation of procedures in bloodstain pattern analysis* imposaient des exigences minimales et vagues, complétées avec peu d'effort, peinant à soutenir une validité scientifique. Elles ont, d'ailleurs, été retirées.

Finalement, ces normes ne risquent-elles pas de « permettre [...] de continuer à appliquer les mauvaises pratiques existantes, et en cas de contestation de répondre que les experts respectent des normes établies » (Morrison et al., 2020, p. 207) ?

Chapitre 5 : Conclusion

Cette étude exploratoire sur l'analyse des traces de sang a été réalisée à la suite des recommandations des rapports NAS et Hart house d'instaurer des processus d'assurance qualité, consacrés par des accréditations et des certifications pour fiabiliser les conclusions des praticiens dans ce domaine (Pollanen et al., 2013; US National Research Council, 2009). Elle avait comme objectif d'acquérir des connaissances concernant la compréhension et le rôle de ces processus par les praticiens.

Elle permet de revenir sur nos trois hypothèses de travail de recherche :

Hypothèse 1 : Les processus d'assurance qualité mis en œuvre lors de l'analyse des traces de sang sont soutenus et compris par les exécutants.

Hypothèse **corroborée** : Les processus d'assurance qualité mis en œuvre sont soutenus et compris par les praticiens. Ils servent à assurer une confiance envers les expertises effectuées et les conclusions exprimées, cependant confondue avec la fiabilité scientifique.

Hypothèse 2 : Les processus d'assurance qualité mis en œuvre lors de l'analyse des traces de sang sont suffisants pour emporter la confiance.

Hypothèse **non répondue** : La présente étude n'a pu étudier que la confiance des praticiens, pas des destinataires par exemple les juges ou les enquêteurs. Cependant, il est à noter que les études publiées soutiennent que les processus d'assurance qualité permettent d'emporter la confiance entre laboratoires par la transparence des méthodes utilisées, facilitant leur harmonisation.

Hypothèse 3 : Les processus d'assurance qualité mis en œuvre lors de l'analyse des traces de sang intègrent l'incertitude propre à la trace.

Hypothèse **réfutée** : Les processus mis en œuvre ne sont pas pertinents pour intégrer l'incertitude propre à la trace, rarement perçue par les praticiens. Alors que les erreurs instrumentales, analytiques (calcul des angles d'impact et du point d'origine) peinent à être quantifiées même par les propositions de standards US récents, une incertitude résiduelle pèse par le vocabulaire utilisé ou encore par un défaut d'expression de la probabilité épistémique liée à

l'interprétation des preuves en science forensique. En bref, d'autres facteurs que ceux actuellement couverts par l'assurance qualité participent à la fiabilité et la robustesse des conclusions en analyse des traces de sang.

Reconnaitre la trace, cité par nos deux praticiens *outliers*, comme centrale à l'analyse des traces de sang ne permettrait-il pas de réduire les problèmes sémantiques relevés par Hicklin et al. (2021), d'identifier les disciplines supports pertinentes pour cette pratique, d'évaluer la force probante attendue a priori et attribuée à posteriori dans la reconstruction d'une scène d'investigation ? La Déclaration de Sydney n'inviterait-elle pas à une réflexion plus poussée sur la mise en œuvre d'une assurance qualité intégrant ce concept de trace dans la fiabilité des conclusions d'experts, plutôt qu'une simple validation des méthodes et des outils ?

Références

- AAFS Standards Board. (2017, 2020-06-03). *ASB Technical Report 033, Terms and Definitions in Bloodstain Pattern Analysis*. Retrieved 2024-01-31 from <http://asb.aafs.org>
- Aitken, C. G. G., Taroni, F., & Bozza, S. (2020). *Statistics and the evaluation of evidence for forensic scientists* (Third edition ed.). Wiley.
<http://www.vlebooks.com/vleweb/product/openreader?id=none&isbn=9781119245254>
- American National Standards Institute/Academy Standards Board. (2017). ASB Technical Report 033, Terms and Definitions in Bloodstain Pattern Analysis. In (pp. 9): American Academy of Forensic Science.
- American National Standards Institute/Academy Standards Board. (2020). ANSI/ASB Standard 032, Standards for a Bloodstain Pattern Analyst's Training Program. In (pp. 11): American Academy of Forensic Science.
- American National Standards Institute/Academy Standards Board. (2023a). ANSI/ASB Standard 157, Required Components for a Proficiency Testing Program in Bloodstain Pattern Analysis. In (pp. 11): American Academy of Forensic Science.
- American National Standards Institute/Academy Standards Board. (2023b). ANSI/ASB Standard 158, Standard for Developing Standard Operating Procedures in Bloodstain Pattern Analysis. In (pp. 16): American Academy of Forensic Science.
- Attinger, D., Comiskey, P. M., Yarin, A. L., & Brabanter, K. D. (2019). Determining the region of origin of blood spatter patterns considering fluid dynamics and statistical uncertainties. *Forensic Science International*, 298, 323-331.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.02.003>
- Attinger, D., De Brabanter, K., & Champod, C. (2022). Using the likelihood ratio in bloodstain pattern analysis. *Journal of forensic sciences*, 67(1), 33-43.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.14899>
- Balthazard, V., Piédelièvre, R., Desoille, H., & Dérobert, L. (1939). *Étude des gouttes de sang projeté*.
- Banks, D. L., Kafadar, K., Kaye, D. H., & Tackett, M. (2021). *Handbook of forensic statistics*. Chapman & Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780367527709>
- Beck, T. R., & Beck, J. B. (1863). *Elements of medical jurisprudence* (Vol. 2). J.B. Lippincott.
<https://archive.org/details/101541774X2.nlm.nih.gov/page/184/mode/1up>
- Bevel, T., & Gardner, R. M. (2008). *Bloodstain pattern analysis : with an introduction to crime scene reconstruction* (3rd ed.). CRC Press.
- Britannica, T. E. o. E. (2024, 2024-04-25). *shear stress*. Retrieved 2024-05-07 from <https://www.britannica.com/science/shear-stress>
- Camana, F. (2013). Determining the area of convergence in Bloodstain Pattern Analysis: A probabilistic approach. *Forensic Science International*, 231(1), 131-136.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.04.019>
- Carter, A. L. (2001). The Directional Analysis of Bloodstain Patterns Theory and Experimental Validation. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 34(4), 173-189.
<https://doi.org/10.1080/00085030.2001.10757527>

- Christensen, A. M., Crowder, C. M., Ousley, S. D., & Houck, M. M. (2014). Error and its Meaning in Forensic Science. *Journal of forensic sciences*, 59(1), 123-126.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.12275>
- Clotho AI. *Clotho AI*. Retrieved 2024-02-07 from <https://clotho.ai/>
- COFRAC. (2024). *Inspection et vérification d'instruments de mesure selon la norme NF EN ISO/IEC 17020*. Retrieved 2024-12-02 from https://tools.cofrac.fr/fr/documentation/index.php?fol_id=181
- Conseil canadien des normes. (2023). *À propos de l'accréditation*. Retrieved 2023-10-26 from <https://www.scc.ca/fr/accréditation/quest-ce-que-laccréditation/a-propos-de-laccréditation>
- Crispino, F., Roux, C., Delémont, O., & Ribaux, O. (2019). Is the (traditional) Galilean science paradigm well suited to forensic science? *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, 1(6), e1349.
- De Forest, P. R., Pizzola, P. A., & Kammrath, B. W. (2021). *Blood traces : interpretation of deposition and distribution*. John Wiley & Sons, Inc.
<https://doi.org/10.1002/9781119764724>
- Doray, P., Bouchard, F. d. r., & Prud'homme, J. (2015). *Sciences, technologies et sociétés de A à Z*. Les Presses de l'Université de Montréal.
<http://catalogue.bnf.fr/ark:/12148/cb45024214s>
- Doyle, S. (2019a). *Quality management in forensic science*. Academic Press, an imprint of Elsevier.
<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&scope=site&db=nlebk&db=nlabk&AN=1724617>
<https://www.sciencedirect.com/science/book/9780128054161>
<https://uqtr.on.worldcat.org/search/detail/1076269061?queryString=Quality%20Management%20in%20Forensic%20Science&databaseList=1271%2C1672%2C1674%2C1708%2C1711%2C1719%2C2306%2C2584%2C2585%2C2586%2C283%2C3837%2C638&origPageViewName=pages%2Fadvanced-search-page&clusterResults=true&groupVariantRecords=false&expandSearch=false&translateSearch=false&queryTranslationLanguage=&lang=fr&changedFacet=scope>
- Doyle, S. (2019b). Section 1 - Brief Introduction to Some Important Concepts and Key Terms. In S. Doyle (Ed.), *Quality Management in Forensic Science* (pp. 1-24). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805416-1.00001-3>
- Doyle, S. (2019c). Section 6 - Discipline-Specific Quality Management. In S. Doyle (Ed.), *Quality Management in Forensic Science* (pp. 245-323). Academic Press.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805416-1.00006-2>
- Doyle, S. (2020). A review of the current quality standards framework supporting forensic science: Risks and opportunities. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Forensic Science*, 2(3), e1365. <https://doi.org/> <https://doi.org/10.1002/wfs2.1365>
- Dujardin, B., Van den Ende, J., Van Gompel, A., Unger, J. P., & Van der Stuyft, P. (1994). Likelihood ratios: a real improvement for clinical decision making? *European journal of epidemiology*, 10(1), 29-36.
- Dunning, D. (2022). The Dunning-Kruger effect and its discontents. *Psychologist*.
- Esperança, P. (2020a). *Atlas*. Retrieved 2023-10-17 from <http://l-a-c.expert/documentation/>

- Esperança, P. (2020b). *Clé d'identification*. Retrieved 2023-10-17 from <http://l-a-c.expert/documentation/>
- Esperança, P. (2019). *Morphoanalyse des traces de sang : une approche méthodique* (Première édition. ed.). Presses polytechniques et universitaires romandes.
- Evett, I. w., Jackson, G., Lambert, J. A., & McCrossan, S. (2000). The impact of the principles of evidence interpretation on the structure and content of statements. *Science & Justice*, 40(4), 233-239. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(00\)71993-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306(00)71993-9)
- Flick, U., Kardorff, E. v., & Steinke, I. (2004). *A companion to qualitative research*. SAGE.
- Fortin, M.-F., & Gagnon, J. (2022). *Fondements et étapes du processus de recherche : méthodes quantitatives et qualitatives* (4e édition. ed.). Chenelière éducation.
- Furnham, A., & Boo, H. C. (2011). A literature review of the anchoring effect. *The Journal of Socio-Economics*, 40(1), 35-42. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.socec.2010.10.008>
- Gardner, R. M. (2006). Defining the Diameter of the Smallest Parent Stain Produced by a Drip. *JOURNAL OF FORENSIC IDENTIFICATION*, 56(2), 210-221.
- Gouvernement du Canada, Statistique Canada,. (2021, 2021-09-02). 3.2.3 Échantillonnage non probabiliste. Retrieved 2023-12-11 from <https://www150.statcan.gc.ca/n1/edu/power-pouvoir/ch13/nonprob/5214898-fra.htm>
- Groupe Francophone de Morphoanalyse. (2014, 2024). *Terminologie francophone*. International Association of Bloodstain Pattern Analysts. Retrieved 2024-01-31 from https://iabpa.org/docs/French_Terminology_v3_Feb_2015.pdf
- Hicklin, R. A., Winer, K. R., Kish, P. E., Parks, C. L., Chapman, W., Dunagan, K., Richetelli, N., Epstein, E. G., Ausdemore, M. A., & Busey, T. A. (2021). Accuracy and Reproducibility of Conclusions by Forensic Bloodstain Pattern Analysts. *Forensic Science International*, 325. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110856>.
- Home, P. H., Norman, D. G., & Williams, M. A. (2021). Software for the trajectory analysis of blood-drops: A systematic review. *Forensic Science International*, 328, 110992. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110992>
- ILAC. (2024). *Policy Documents (P series)*. Retrieved 2024-12-02 from <https://ilac.org/publications-and-resources/ilac-policy-series/>
- International Association for Identification. (2024, 2024). *Bloodstain Pattern Analyst Certification*. Retrieved 2024-07-22 from https://www.theiai.org/bloodstain_pattern.php
- International Association of Bloodstain Pattern Analysts. (2023, 2023-10-26). *BPA Training Standards*. Retrieved 2023-12-11 from https://www.iabpa.org/bpa_training_standards.php
- International Association of Bloodstain Pattern Analysts. (2024a, 2024). *About the IABPA*. Retrieved 2024-01-23 from https://www.iabpa.org/about_the_iabpa.php
- International Association of Bloodstain Pattern Analysts. (2024b, 2024). *ASB/ANSI - Consensus Body*. Retrieved 2024-04-29 from https://www.iabpa.org/asb_ansi_-_bpa_consensus_body.php
- International Association of Bloodstain Pattern Analysts. (2025, 2025). *ASB/ANSI - BPA Consensus Body*. Retrieved 2025-02-08 from https://www.iabpa.org/asb_ansi_-_bpa_consensus_body.php
- James, S. H., Kish, P. E., & Sutton, T. P. (2005). *Principles of bloodstain pattern analysis : theory and practice*. CRC press.

- Jones, J. P., Getz, A., & Sirk, D. (2023). Organization of Scientific Area Committees (OSAC) for Forensic Science. In M. M. Houck (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences, Third Edition (Third Edition)* (pp. 17-33). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00145-8>
- Joris, P., Jenar, E., Moermans, R., Van de Voorde, W., Vandermeulen, D., & Claes, P. (2022). Bloodstain impact pattern Area of Origin estimation using least-squares angles: A HemoVision validation study. *Forensic Sci Int*, 333, 111211. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111211>
- Koen, W. J., & Goetz, B. (2017). Chapter 9 - Bloodstain Pattern Analysis. In W. J. Koen & C. M. Bowers (Eds.), *Forensic Science Reform* (pp. 271-297). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802719-6.00009-1>
- Laan, N., de Bruin, K. G., Slenter, D., Wilhelm, J., Jermy, M., & Bonn, D. (2015). Bloodstain Pattern Analysis: implementation of a fluid dynamic model for position determination of victims. *Scientific Reports*, 5(1), 11461. <https://doi.org/10.1038/srep11461>
- Laber, T., Kish, P., Taylor, M., Owens, G., Osborne, N., & Curran, J. (2014). Reliability assessment of current methods in bloodstain pattern analysis. *Final Report for the National Institute of Justice. US In: National Institute of Justice*.
- Larousse. (2024). *fiabilité*. Retrieved 2024-05-07 from <https://www.larousse.fr/dictionnaires/francais/fiabilit%C3%A9/33513>
- Li, G., Sliefert, N., Michael, J. B., & Yarin, A. L. (2021). Blood backspatter interaction with propellant gases. *Physics of Fluids*, 33(4).
- Lumivero. (2023). NVivo. In (Vol. Software).
- MacDonell, H. L. (1992). Segments of history, The literature of bloodstain pattern interpretation, Segment 00: Literature through the 1800's. *International Association of Bloodstain Pattern Analysts News*, Vol 8(1), pp. 3-12. <https://static1.squarespace.com/static/543841fce4b0299b22e1956a/t/54be90dfe4b06f2c56012538/1421775071214/Segments+of+History+00.pdf>
- Margot, P. (2014). Traçologie: la trace, vecteur fondamental de la police scientifique. *Revue internationale de criminologie et de police technique et scientifique*, 67(1), 72-97.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2020). *Qualitative data analysis : a methods sourcebook* (Fourth edition. ed.). SAGE.
- Morrison, G. S., Neumann, C., & Geoghegan, P. H. (2020). Vacuous standards—Subversion of the OSAC standards-development process. In: Elsevier.
- Mullen, C., Spence, D., Moxey, L., & Jamieson, A. (2014). Perception problems of the verbal scale. *Science & Justice*, 54(2), 154-158. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2013.10.004>
- Muse, R. (2008, 2008/06//). What's in a name: accreditation vs. certification? Despite the fact that accreditation and certification denote different concepts, they are often used synonymously. In reality, however, the terms are vastly different, describing the end result of entirely different processes. *Quality*, 47(6), 44+. <https://link.gale.com/apps/doc/A180516886/AONE?u=anon~6d5099fe&sid=googleScholar&xid=d420fb7b>
- National Institute of Standards and Technology. (2023, 2025-02-13). *About Us*. Retrieved 2025-02-18 from <https://www.nist.gov/organization-scientific-area-committees-forensic-science/about-us>

- National Institute of Standards and Technology. (2024, 2024-04-03). *OSAC Registry*. Retrieved 2024-04-25 from <https://www.nist.gov/organization-scientific-area-committees-forensic-science/osac-registry#bpa>
- Neuteboom, W., Ross, A., Bugeja, L., Willis, S., Roux, C., & Lothridge, K. (2023). Quality Management in forensic science: A closer inspection. *Forensic Science International*, 111779. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111779>
- Noblis. *Bloodstain Pattern Analysis Black Box Study Dataset (V1, Dec 2020)*. Retrieved 2024-04-04 from
- Organisation internationale de normalisation. (2012). ISO/IEC 17020:2012(fr) In *Conformity assessment — Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection*.
- Organisation internationale de normalisation. (2015). ISO 9000:2015(fr). In *Systèmes de management de la qualité — Principes essentiels et vocabulaire*.
- Organisation internationale de normalisation. (2017). ISO/IEC 17025:2017(fr) In *Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais*.
- Pollanen, M. S., Bowes, M. J., VanLaerhoven, S. L., & Wallace, J. (2013). *Forensic Science in Canada. A Report of Multidisciplinary Discussion*.
- Ribaux, O. (2023). *De la police scientifique à la traçologie* (2th edition ed.). EPFL Press. <https://www.epflpress.org/produit/672/9782889155446>
- Ross, A., & Neuteboom, W. (2021). Implementation of quality management from a historical perspective: the forensic science odyssey. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 53(3), 359-371. <https://doi.org/10.1080/00450618.2019.1704058>
- Ross, A., & Neuteboom, W. (2022). ISO-accreditation-is that all there is for forensic science? *Australian Journal of Forensic Sciences*, 54(1), 2-14.
- Roux, C., Bucht, R., Crispino, F., De Forest, P., Lennard, C., Margot, P., Miranda, M. D., NicDaeid, N., Ribaux, O., & Ross, A. (2022). The Sydney declaration—Revisiting the essence of forensic science through its fundamental principles. *Forensic Science International*, 332, 111182.
- Saldaña, J. (2016). *The coding manual for qualitative researchers* (3rd ed. ed.). SAGE.
- Smith, A. M., & Neal, T. M. (2021). The distinction between discriminability and reliability in forensic science. *Science & Justice*, 61(4), 319-331.
- Smith, F. P., & Kidwell, D. A. (2000). Accreditation of forensic science laboratories. In J. A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (pp. 58-64). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/rwfs.2000.0399>
- Stern, H. S., Cuellar, M., & Kaye, D. (2019). Reliability and validity of forensic science evidence. *Significance*, 16(2), 21-24. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1740-9713.2019.01250.x>
- Suri, H. (2011). Purposeful Sampling in Qualitative Research Synthesis. *Qualitative Research Journal*, 11(2), 63-75. <https://doi.org/https://doi.org/10.3316/QRJ1102063>
- Taroni, F., Bozza, S., Biedermann, A., Garbolino, P., & Aitken, C. (2010). *Data analysis in forensic science : a Bayesian decision perspective*. John Wiley and Sons. <http://onlinelibrary.wiley.com/book/10.1002/9780470665084>
- Tilstone, W. J. (2010). Quality in the Forensic Science Laboratory. In *The Forensic Laboratory Handbook Procedures and Practice* (pp. 335-367). Springer. <https://uqtr.on.worldcat.org/search/detail/261067163?queryString=The%20Forensic%20L>

[aboratory%20Handbook%20Procedures%20and%20Practice&databaseList=1271%2C1672%2C1674%2C1708%2C1711%2C1719%2C2306%2C2584%2C2585%2C2586%2C283%2C3837%2C638&origPageViewName=pages%2Fadvanced-search-page&clusterResults=true&groupVariantRecords=false&expandSearch=false&translateSearch=false&queryTranslationLanguage=&lang=fr&scope=wz%3A23402](#)

- Tversky, A., & Kahneman, D. (1973). Availability: A heuristic for judging frequency and probability. *Cognitive Psychology*, 5(2), 207-232. [https://doi.org/10.1016/0010-0285\(73\)90033-9](https://doi.org/10.1016/0010-0285(73)90033-9)
- U.S. Department of Justice, O. o. J. P. (2008). *Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis: Guidelines for the Minimum Educational and Training Requirements for Bloodstain Pattern Analysts*. Retrieved 2023-04-26 from <https://www.ojp.gov/ncjrs/virtual-library/abstracts/scientific-working-group-bloodstain-pattern-analysis-guidelines#:~:text=Minimum%20pretraining%20requirements%20for%20a,college%20or%20university%20and%202>
- US National Research Council. (2009). *Strengthening forensic science in the United States: a path forward*. <https://www.ojp.gov/pdffiles1/nij/grants/228091.pdf>
- Wolson, T. L. (2016). Serology: Bloodstain Pattern Analysis. In P.-J. Jason & W. B. Roger (Eds.), *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine (Second Edition)* (Second Edition ed., pp. 244-253). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800034-2.00339-6>
- Wonder, A. Y. (2001). *Blood dynamics*. Academic Press.
- Wonder, A. Y. (2007). *Bloodstain pattern evidence : objective approaches and case applications*. Elsevier/Academic Press.
- Zou, T., & Stern, H. S. (2022). Towards a likelihood ratio approach for bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 341, 111512. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111512>

Annexes

5.1 Approbation de Philippe Esperança

**AUTORISATION POUR REPRODUIRE
UNE OEUVRE PROTÉGÉE PAR LE DROIT D'AUTEUR**

Trois-Rivières, le 17 octobre 2023

Monsieur,

Je vous fais parvenir une demande écrite de licence non-exclusive pour fins de reproduction, publication et communication sans frais de matériel, à des fins pédagogiques, dans le cadre de mon travail de mémoire, pour l'insertion d'une reproduction pour laquelle vous détenez les droits d'auteur.

Ce consentement sera valable pour la rédaction de ce travail seulement dont la finalisation aura pour but l'obtention du diplôme de *Maîtrise en science forensique*.

Je m'engage à mentionner la source du ou des extraits d'œuvres, selon le cas, à l'intérieur de mon travail. Voici la mention qui accompagnera les figures et images utilisé :

« reproduit avec la permission de Philippe Esperança »

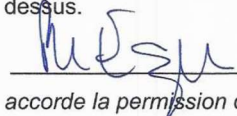
Les références apparaîtront sous les formes suivantes :

Esperança, P. (2020). Atlas. Retrieved 2023-10-17 from <http://l-a-c.expert/documentation/>

Esperança, P. (2020b). Clé d'identification. Retrieved 2023-10-17 from <http://l-a-c.expert/documentation/>

Autorisation accordée :

Je déclare avoir l'autorité permettant d'accorder la permission requise ci-dessus et ainsi, j'autorise Laurence Filiatrault, étudiant(e) au département de chimie, biochimie et physique, de l'Université du Québec à Trois-Rivières, à utiliser la reproduction citée ci-dessus dans le contexte décrit ci-dessus.

 [Signature du titulaire du droit d'auteur / de la personne qui accorde la permission de reproduire l'œuvre]


Philippe Esperança [Prénom, nom et titre en caractères d'imprimerie de cette personne]

ph.esperanca@l-a-c.expert [Coordonnées pertinentes : adresse courriel, adresse postale, numéro de téléphone, titre de la personne]

18 octobre 2023 [Date]

5.2 Certificat d'éthique (3)

4076



UQTR

Savoir.
Surprendre.

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : **Fiabilité et limites de l'accréditation dans le domaine de l'analyse des traces de sang**

Chercheur(s) : Laurence Filiatrault
Département de biologie médicale

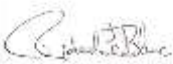
Organisme(s) : Bourse de soutien du LRC aux étudiants de maîtrise en science forensique

N° DU CERTIFICAT : CER-22-289-07.13


PÉRIODE DE VALIDITÉ : Du 11 octobre 2022 au 11 octobre 2023

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.



Me Richard LeBlanc
Président du comité



Fanny Longpré
Secrétaire du comité

Décanat de la recherche et de la création

Date d'émission : 11 octobre 2022



4076

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : **Fiabilité et limites de l'accréditation dans le domaine de l'analyse des traces de sang**

Chercheur(s) : Laurence Filiatrault
Département de biologie médicale

Organisme(s) : Bourse de soutien du LRC aux étudiants de maîtrise en science forensique

N° DU CERTIFICAT CER-22-289-07.13

PÉRIODE DE VALIDITÉ : Du 11 octobre 2023 au 11 octobre 2024

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Me Richard LeBlanc
Président du comité

Fanny Longpré
Secrétaire du comité

Décanat de la recherche et de la création

Date d'émission : 20 octobre 2023



4076

CERTIFICAT D'ÉTHIQUE DE LA RECHERCHE AVEC DES ÊTRES HUMAINS

En vertu du mandat qui lui a été confié par l'Université, le Comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains a analysé et approuvé pour certification éthique le protocole de recherche suivant :

Titre : **Fiabilité et limites de l'accréditation dans le domaine de l'analyse des traces de sang**

Chercheur(s) : Laurence Filiatrault
Département de biologie médicale

Organisme(s) : Bourse de soutien du LRC aux étudiants de maîtrise en science forensique

N° DU CERTIFICAT CER-22-289-07.13

PÉRIODE DE VALIDITÉ : Du 11 octobre 2024 au 11 octobre 2025

En acceptant le certificat éthique, le chercheur s'engage à :

- Aviser le CER par écrit des changements apportés à son protocole de recherche avant leur entrée en vigueur;
- Procéder au renouvellement annuel du certificat tant et aussi longtemps que la recherche ne sera pas terminée;
- Aviser par écrit le CER de l'abandon ou de l'interruption prématurée de la recherche;
- Faire parvenir par écrit au CER un rapport final dans le mois suivant la fin de la recherche.

Me Richard LeBlanc
Président du comité

Fanny Longpré
Secrétaire du comité

Décanat de la recherche et de la création

Date d'émission : 10 septembre 2024

5.3 Questionnaires Experts en traces de sang, version française :

Page de garde, information et consentement des participants

Fiabilité et limites de l'accréditation dans le domaine de l'analyse des traces de sang

Vous avez été invité à participer au projet de recherche mené par l'étudiante à la maîtrise en science forensique Laurence Filiatrault à l'université du Québec à Trois-Rivières. Elle est sous la direction du Professeur Frank Crispino, Ph.D, M.Phil du département de chimie, biochimie et physique, directeur du Groupe de recherche en science forensique (GRSF) à l'UQTR.

Votre participation à ce questionnaire, qui vise à obtenir des données sur votre perception de l'assurance qualité (normes, accréditation, certification) sur la fiabilité et les limites de l'analyse des traces de sang, serait grandement appréciée. Cependant, avant d'accepter de participer à ce projet et d'approuver ce formulaire d'information et de consentement, veuillez prendre le temps de le lire. Il vous aidera à comprendre ce qu'implique votre éventuelle participation à la recherche de sorte que vous puissiez prendre une décision éclairée à ce sujet.

Ce formulaire peut contenir des mots que vous ne comprenez pas. Nous vous invitons à poser toutes les questions que vous jugerez utiles au chercheur responsable de ce projet de recherche. Sentez-vous libre de lui demander de vous expliquer tout mot ou renseignement qui n'est pas clair. Prenez tout le temps dont vous avez besoin pour lire et comprendre ce formulaire avant de prendre votre décision. Vous pouvez joindre cette chercheuse à l'adresse courriel laurence.filiatrault@uqtr.ca

Objectifs et résumés du projet de recherche

L'objectif de ce projet de recherche est d'évaluer l'apport de l'assurance qualité et des procédures d'accréditation sur la fiabilité de l'analyse des traces de sang.

Nature et durée de votre participation

Votre participation à ce projet de recherche consiste à répondre à un questionnaire sur votre travail et la perception que vous en avez. Le remplissage du questionnaire nécessite maximum 30 minute de votre temps. Les conditions d'anonymat qui lui sont attachées empêchent la sauvegarde et la reprise du sondage.

Risques et inconvénients

Aucun risque n'est associé à votre participation. Le temps consacré au projet, soit 30 minute, demeure le seul inconvénient.

Avantages ou bénéfices

La contribution à l'avancement des connaissances au sujet des analyses en trace de sang est le seul bénéfice prévu à votre participation.

Compensation ou incitatif

Aucune compensation d'ordre monétaire n'est accordée.

Confidentialité

Les données recueillies par cette étude sont entièrement confidentielles et ne pourront en aucun cas mener à votre identification. Votre confidentialité est assurée par l'anonymisation complète de votre identité (nom, prénom, matricule, etc.) hormis l'appartenance à votre entité administrative, si vous désirez l'indiquer, au moment de l'exploitation de vos réponses. Les résultats de la recherche, qui pourront être diffusés sous forme d'un mémoire, ne permettront pas d'identifier les participants.

Les données recueillies seront conservées dans un fichier sur l'ordinateur personnel de Mme Filiatrault, protégée par un mot de passe. Les seules personnes qui y auront accès seront Mme Laurence Filiatrault et le professeur Frank Crispino. Ces personnes ont signé un engagement de confidentialité.

Vos données de recherche ne seront utilisées que dans le cadre de recherche portant sur la fiabilité des analyses en trace de sang, effectuées par Mme Filiatrault. Ces projets de recherche seront évalués et approuvés par le Comité d'éthique de la recherche de l'UQTR avant leur réalisation. Vos données de recherche anonymisées seront conservées de façon sécuritaire sur l'ordinateur de la chercheuse principale (avec une copie sur son one drive en cas de problème), auquel seuls Mme Filiatrault et M Crispino auront accès. Vos données de recherche seront conservées pour un maximum de 5 ans à la suite de ce projet. Vos données de recherche seront

par la suite détruites par la suppression définitive des fichiers et ne seront pas utilisées à d'autres fins que celles décrites dans le présent document.

Participation volontaire

Votre participation à cette étude se fait sur une base volontaire. Vous êtes entièrement libre de participer ou non, de refuser de répondre à certaines questions ou de vous retirer en tout temps sans préjudice et sans avoir à fournir d'explications.

En cas de retrait de votre participation, les données précédemment accumulées seront conservées.

Responsable de la recherche

Pour obtenir de plus amples renseignements ou pour toute question concernant ce projet de recherche, vous pouvez communiquer avec Laurence Filiatrault à l'adresse courriel laurence.filiatrault@uqtr.ca.

Surveillance des aspects éthiques de la recherche

Cette recherche est approuvée par le comité d'éthique de la recherche avec des êtres humains de l'Université du Québec à Trois-Rivières et un certificat portant le numéro CER-22-289-07.13 a été émis le 11 octobre 2022.

Pour toute question ou plainte d'ordre éthique concernant cette recherche, vous devez communiquer avec la secrétaire du comité d'éthique de la recherche de l'Université du Québec à Trois-Rivières, par téléphone (819) 376-5011, poste 2129 ou par courrier électronique CEREH@uqtr.ca

Communication des résultats

Les résultats de la recherche seront à votre disposition une fois publiés. Si vous voulez recevoir ces résultats de manière individuelle, communiquer avec la chercheuse à l'adresse laurence.filiatrault@uqtr.ca avec comme sujet du courriel « Fiabilité et limites de l'accréditation dans le domaine de l'analyse des traces de sang ». Les résultats vous seront communiqués dès que possible.

Engagement de la chercheuse ou du chercheur

Moi, Laurence Filiatrault m'engage à procéder à cette étude conformément à toutes les normes éthiques qui s'appliquent aux projets comportant la participation de sujets humains.

Consentement du participant

Je confirme avoir lu et compris la lettre d'information au sujet du projet Fiabilité et limites de l'accréditation dans le domaine de l'analyse des traces de sang. J'ai bien saisi les conditions, les risques et les bienfaits éventuels de ma participation. On a répondu à toutes mes questions à mon entière satisfaction. J'ai disposé de suffisamment de temps pour réfléchir à ma décision de participer ou non à cette recherche. Je comprends que ma participation est entièrement volontaire et que je peux décider de me retirer en tout temps, sans aucun préjudice.

- ☐ J'accepte donc librement de participer à ce projet de recherche
- ☐ Je refuse de participer à ce projet de recherche

Questionnaire :

ENTITÉ ADMINISTRATIVE :

1. Comment définissez-vous l'analyse des traces de sang ?
2. Quel est votre cheminement académique et professionnel ayant permis votre emploi comme analystes des traces de sang ?
3. Parmi les disciplines ci-dessous, pour lesquelles avez-vous eu des cours de niveau universitaire et/ou êtes-vous qualifié. e (classement par ordre alphabétique, plusieurs réponses sont possibles) ?

- ☐ Balistique
- ☐ Biologie
- ☐ Chimie
- ☐ Hématologie
- ☐ Mathématiques
- ☐ Médecine légale

- ☐ Photographie
- ☐ Physique/mécanique et dynamique des fluides
- ☐ Probabilité/Statistiques/Interprétation
- ☐ Sciences forensiques — précisez une spécialité au besoin :
- ☐ Autre, précisez : _____

4. Parmi ces disciplines, lesquelles considérez-vous comme indispensables à l'analyse des traces de sang ?

- ☐ Balistique
- ☐ Biologie
- ☐ Chimie
- ☐ Hématologie
- ☐ Mathématiques
- ☐ Médecine légale
- ☐ Photographie
- ☐ Physique/mécanique et dynamique des fluides
- ☐ Probabilité/Statistiques/Interprétation
- ☐ Sciences forensiques — précisez une spécialité au besoin :
- ☐ Autre, précisez : _____

5. Comment avez-vous été formé. e en analyse de traces de sang (où, qui, durée, évaluation) ?

6. Êtes-vous membre d'une association en tant qu'analyste en trace de sang ? Si oui, laquelle et comment votre expertise est-elle reconnue ?

7. Comment décririez-vous votre poste d'emploi en général au sein de votre établissement ?

8. Depuis combien de temps êtes-vous à votre poste actuel (dans votre établissement) ?

9. Selon votre définition, combien d'heures d'analyse de traces de sang effectuez-vous dans une année (approximer) ?

10. Comment définissez-vous votre mission en analyse de trace de sang lors de votre arrivée sur les lieux d'intervention ou lors de la prise en compte d'un dossier d'assistance en général ? Au besoin, vous pouvez décrire l'une de vos interventions jugées optimales.

- Avec qui prenez-vous contact ?
- Quels sont vos objectifs ?
- À quelle question essayez-vous de répondre ?
- Quelles sont les étapes à suivre (sur la scène ou à votre bureau) ?
- Avez-vous une méthode propre à l'analyse des traces de sang ?

11. Quelle est votre connaissance sur les accréditations et les certifications ? Par exemple :

- À quoi sert une accréditation ou une certification ?
- Pourquoi devez-vous être accrédité. e ou certifié. e (impératif légal, besoin de la cour de justice, demandes des partenaires, politique interne du laboratoire, etc.) ?
- Sous quelle norme êtes-vous qualifié. e ?
- Pourquoi cette norme est-elle utilisée dans le domaine de l'analyse en traces de sang
- Que savez-vous des autres accréditations qui auraient pu être sollicitées ?

12. Cette reconnaissance influence-t-elle vos analyses en traces de sang de la scène d'investigation au laboratoire ? Vous pouvez vous aider des points suivants.

- La compétence du personnel
- La validation des données d'essai
- La validité de la méthode mise en œuvre
- La fiabilité des résultats
- La présence de procédures écrites ?
- Les mesures correctrices dans l'application de la méthode

13. Comment présentez-vous les résultats à vos interlocuteurs ?

- Vos conclusions sont-elles déterministes ou probabilistes ?
- Comment présentez-vous les éventuelles incertitudes dans la méthode ou les résultats ?

14. Désirez-vous remplir ce questionnaire par des informations qui pourraient être pertinentes pour cette étude (perception de votre emploi, critique de ce sondage, etc.) ?

5.4 Questionnaire Experts en traces de sang, version anglophone :

Information and consent of the participants

Reliability and limits of the accreditation in bloodstain pattern analysis

You have been invited to participate in the research project led by the master's student in forensic science Laurence Filiatrault at the Université du Québec à Trois-Rivières. It is under the direction of Professor Frank Crispino, Ph.D, M.Phil of the Department of Chemistry, Biochemistry and Physics, Director of the forensic science Research Group (GRSF) at UQTR.

Your participation in this questionnaire, which aims to obtain data on your perception of assurance quality (standards, accreditations, certifications) on the reliability and limits of bloodstain pattern analysis, would be greatly appreciated. However, before agreeing to participate in this research and approve this information and consent form, do take the time to read it. It will help you understand what your potential participation in this research entails so that you can make an informed decision about it.

This form may contain words that you do not understand. We invite you to ask all the questions you deem useful to the researcher in charge of this research project. Feel free to ask her to explain any words or information that are unclear. Take the time you need to read and understand this form before making your decision. You can reach this researcher at the e-mail address Laurence.filiatrault@uqtr.ca

Objectives and summaries of the research project

The objective of this research project is to evaluate the contribution of quality assurance and accreditation procedures on the reliability of bloodstain pattern analysis.

Nature and duration of your participation

Your participation in this research project consists of answering a questionnaire about your work and your perception of it. Completing the questionnaire requires maximum 30 minutes of your time. The conditions of anonymity attached to it prevent saving and resuming the survey.

Risks and disadvantages

There is no risk associated with your participation. The time devoted to the project, 30 minutes, remains the only drawback.

Advantages or benefits

The contribution to the advancement of knowledge about bloodstain pattern analysis is the only benefit expected from your participation.

Compensation or incentive

No monetary compensation is granted.

Confidentiality

The data collected by this study are completely confidential and can in no way lead to you identification. Your confidentiality is ensured by the complete anonymization of your identity (surname, first name, number, etc.) except for belonging to your administrative entity, if you wish to indicate it, at the time of the exploitation of your answers. The results of the research, which could be distributed in the form of a memoir, will not identify the participants.

The data collected will be stored in a file on Ms. Filiatrault's personal computer, protected by a password. The only people who will have access to it will be Ms. Laurence Filiatrault and Professor Frank Crispino. These people have signed a confidentiality agreement.

Your research data will only be used in the context of a research on the reliability of bloodstain pattern analysis carried out by Ms. Filiatrault. These research projects will be evaluated and approved by the UQTR Research Ethics Committee before they are carried out. Your anonymized research data will be stored securely on the principal researcher's computer (with a copy on her drive, in case of a problem), to which only Ms. Filiatrault and M. Crispino will have access. Your research data will be kept for a maximum of 5 years following this project. Your research data will subsequently be destroyed by permanent deletion of the files and will not be used for any purpose other than that described in this form.

Voluntary participation

Your participation in this study is voluntary. You are completely free to participate or not, to refuse to answer certain questions or to withdraw at any time without prejudice and without having to provide any explanations.

In case of withdrawal of your participation, the data previously accumulated will be kept.

Research Manager

For more information or for any questions regarding this research project, you can contact Laurence Filiatrault at Laurence.filiatrault@uqtr.ca

Oversight of research ethics

This research is approved by the Ethics Committee for Research with Human Beings of the University of Quebec at Trois-Rivières and a certificate bearing the number CER-22-289-07.13 was issued on October 11 2022.

For any questions or complaints of an ethical nature concerning this research, you must contact the secretary of the research ethics committee of the Université du Québec à Trois-Rivières, by telephone (819) 376-5011, extension 2129 or by email CEREH@uqtr.ca

Communication of results

The research results will be available to you once published. If you want to receive these results individually, contact the researcher at laurence.filiatrault@uqtr.ca with the subject of the email "Reliability and limits of the accreditation in bloodstain pattern analysis". The results will be communicated to you as soon as possible.

Commitment of the researcher

I, Laurence Filiatrault undertake to carry out this study in accordance with all the ethical standards that apply to projects involving the participation of human subjects.

Participant Consent

I confirm that I have read and understood the information letter about the project "Reliability and limits of the accreditation in bloodstain pattern analysis". I have clearly understood the conditions, risks, and possible benefits of my participation. All my questions were

answered to my complete satisfaction. I have had enough time to reflect on my decision whether to participate in this research. I understand that my participation is entirely voluntary and that I can choose to withdraw at any time, without any prejudice.

I accept to freely participate in this research project

I refuse to participate in this research project

Questionnaire

ADMINISTRATIVE ENTITY:

1. How would you define bloodstain pattern analysis?
2. What is your academic and professional background that allowed for your employment as a bloodstain pattern analyst?
3. Of the disciplines below, of which have you had a university-level course or are you qualified (alphabetical order, several answers are possible)?

- ☐ Ballistics
- ☐ Biology
- ☐ Chemistry
- ☐ Forensic medicine/Pathology of wounds
- ☐ Hematology
- ☐ Mathematics
- ☐ Photography
- ☐ Physics/Mechanics and dynamic of Fluids
- ☐ Probability/Statistics/Interpretation
- ☐ Forensic sciences – Specify the fields if necessary
- ☐ Other, specify: _____

4. Among these disciplines, which do you consider essential for bloodstain pattern analysis

- ☐ Ballistics

- ☐ Biology
- ☐ Chemistry
- ☐ Forensic medicine/Pathology of wounds
- ☐ Hematology
- ☐ Mathematics
- ☐ Photography
- ☐ Physics/Mechanics and dynamic of Fluids
- ☐ Probability/Statistics/Interpretation
- ☐ Forensic sciences – Specify the fields if necessary
- ☐ Other, specify: _____

5. How were you trained in bloodstain pattern analysis (where, who, how long, method of evaluation)?

6. Are you a member of an association as a bloodstain pattern analyst? If yes, which one and how was your expertise recognized?

7. How would you describe your work in bloodstain pattern analysis in your current position in general?

8. How long have you been in your current position (at your establishment)?

9. In accordance with your definition, how many hours of work in bloodstain pattern analysis do you perform in a year (approximately)?

10. How would you define your mission in bloodstain pattern analysis when you arrive at the scene of intervention or when helping for a file in general? If needed, you can describe one of your interventions deemed optimal.

- Who do you contact?
- What are your goals?
- What questions are you trying to answer?
- What are the steps to follow (on the scene or at your desk)?
- Do you have a method specifically for bloodstain pattern analysis?

11. What is your knowledge of accreditation and certifications? For instance:

- What is the purpose of an accreditation or certification?
- Why do you need to be accredited or certified (legal imperative, the need of the court of justice, request from partners, internal laboratory policy, etc.)?
- Under what standard are you qualified?
- Why is this standard used in the field of bloodstain pattern analysis?
- What do you know of the other accreditations that could have been requested?

12. Does this recognition generally influence your observations in bloodstain pattern analysis on the scene or in the laboratory? You can help yourself with the following questions.

- Staff competence?
- Validation of test data ?
- Validity of the method implemented?
- Reliability of the results?
- Presence of written procedures?
- Corrective measures in the application of the method?

13. How do you present the result to your interlocutors?

- Are your conclusions deterministic or probabilistic?
- How do you express eventual uncertainties in the methods or the results?

14. Would you like to complete this questionnaire with additional information that could be relevant to this study (perception of your job, a critique of this survey, etc.)?

5.5 Listes des associations, des laboratoires et des regroupements contactés

1. International Association of bloodstain pattern analysts, IABPA
2. European Network of Forensic Science Institutes, ENFSI
3. Australian & New Zealand Forensic Science Society, ANZFSS
4. Société canadienne des sciences judiciaires, CSFS
5. International Association for Identification, IAI
6. American Academy of Forensic Sciences, AAFS
7. Laboratoire d'Analyses Criminalistiques, LAC
8. Gendarmerie royale du Canada, GRC
9. Institut de recherche criminelle de la Gendarmerie nationale, IRCGN
10. Centre international de criminologie comparée, CICC
11. Universités canadiennes pour la science judiciaire, CUFFS-UCPSJ
12. SpatterED
13. Association for crime scene reconstruction, ACSR
14. Center for statistics and application in forensic evidence, CSAFE
15. Blutspureninstitut
16. Forenseek
17. Service national de police scientifique, SNPS
18. École des sciences criminelles Université de Lausanne, ESC
19. University of technology Sydney, UTS
20. Laboratoire de science judiciaire et de médecine légale, LSJML
21. Laboratoire pluridisciplinaire de criminalistique

Materials

Code R, sensibilité et sélectivité de la classification

```
install.packages("tidyverse")  
  
#install.packages("gapminder")  
  
#install.packages("rlang")  
  
#install.packages("vctrs")  
  
#install.packages("tibble")  
  
#install.packages("cli")  
  
install.packages("ggplot2")  
  
library(tidyr)  
  
library(dplyr)  
  
library(ggplot2)  
  
library(plotly)  
  
#library(GGally)  
  
#library(devtools)  
  
#library(ggbiplot)  
  
#library(ggdendro)  
  
#library(caret)  
  
#library(pROC)  
  
#library(stringr)  
  
#library(gapminder)
```



```
#importation des données
```

```
classification <- read.table('Hicklin_supp_classe.csv', header = TRUE, sep=";")
```

```
View(head(classification))
```

```
dim(classification)
```

```
str(classification)
```

```
summary(classification)
```

```
#mise en forme pour conservé seulement les données pertinente aux graphiques
```

```
is.na(classification)
```

```
classification <- classification[-c(10,11,12,13,14,15,16,17,18)]
```

```
View(head(classification))
```

```
clean_classification <- classification[-c(2,5)]
```

```
View(clean_classification)
```

```
sum(is.na(clean_classification))
```

```
clean_classification$KnownCause <- as.factor(clean_classification$KnownCause)
```

```
str(clean_classification)
```

```
clean_classification <- rename(clean_classification,
```

```
    Definitive = N.D.,
```

```
    Inconclusive = N.I.,
```

```
    Excluded = N.E.,
```

```
    'Mécanisme' = KnownCause)
```

```
colnames(clean_classification)
```

```
View(clean_classification)
```

```
#transformation des facteurs dans KnownCause pour mieux représenter la légende
```

```
clean_classification$Mécanisme <- recode_factor(clean_classification$Mécanisme,
```

```
          'VRAI' = 'Mécanisme Présent',
```

```
          'FAUX' = 'Mécanisme Absent',
```

```
          'NotCertain' = 'Mécanisme inconnu')
```

```
str(clean_classification)
```

```
levels(clean_classification$Mécanisme)
```

```
#Création des colonnes des réponses en pourcentages
```

```
classification_percent <- clean_classification %>%
```

```
  mutate('pourcentage définitif' =
```

```
    (clean_classification$Definitive/clean_classification$Responses)*100,
```

```
    'pourcentage
```

```
exclus' = (clean_classification$Excluded/clean_classification$Responses)*100,
```

```
    'pourcentage
```

```
inclus' = (clean_classification$Inconclusive/clean_classification$Responses)*100)
```

```
colnames(classification_percent)
```

```
View(head(classification_percent))
```

```
#Graphique avec Mécanisme Absent (n=235 et 115 patron)
```

```
Classification_inexact <- classification_percent%>%
```

```
  filter( Mécanisme == 'Mécanisme Absent')
```

```
Classification_inexact$SampleID <- as.factor(Classification_inexact$SampleID)
```

```
str(Classification_inexact$SampleID)
```

```
View(Classification_inexact)
```

```
Classification_inexact %>%
```

```
  ggplot(aes(x=`pourcentage exclus`, y=`pourcentage définitif`, colour = `Mécanisme`))+
```

```
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Absent" = "red3"))+
```

```
  theme(legend.position = "none")+
```

```
  geom_point()+
```

```
  labs(x= "Pourcentage de Vrais Négatifs (VN)",
```

```
        y= "Pourcentage de Faux Positifs (FP)" )+
```

```
  geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
```

```
               color = "black", linewidth=1) +
```

```
  ylim(0,100)
```

```
#graphique avec les numéro des patrons
```

```
Classification_inexact %>%
```

```
  ggplot(aes(x=`pourcentage exclus`, y=`pourcentage définitif`, colour = `Mécanisme`))+
```

```

scale_color_manual(values = c("Mécanisme Absent" = "red3"))+
theme(legend.position = "none")+
geom_text(aes(label=SampleID))+
labs(x= "Pourcentage de Vrais Négatifs (VN)",
      y= "Pourcentage de Faux Positifs (FP)" )+
geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
             color = "black", linewidth=1) +
ylim(0,100)

```

#Graphique interactif pour connaître les coordonnées exactes

```

Class_inexact<- Classification_inexact %>%
ggplot(aes(x=`pourcentage exclus`, y=`pourcentage définitif`, colour = `Mécanisme`))+
scale_color_manual(values = c("Mécanisme Absent" = "red3"))+
theme(legend.position = "none")+
geom_text(aes(label=SampleID))+
labs(x= "Taux de Vrais Négatifs (VN)",
      y= "Taux de Faux Positifs (FP)" )+
ylim(0,100)

```

```
ggplotly(Class_inexact)
```

#Recherche de données précise

#point entouré en rouge

```
Classification_exclu_37 <- Classification_inexact %>%
```

```
  filter(Classification_inexact$`pourcentage définitif`>=37)
```

```
View(Classification_exclu_37)
```

##Visualisation des données liée au patron 647

```
class_647 <- classification_percent%>%
```

```
  filter(classification_percent$SampleID ==647)
```

```
View(class_647)
```

##Données à la position X=100 et Y=0

```
Classification_exclu_100 <- Classification_inexact %>%
```

```
  filter(Classification_inexact$`pourcentage exclus`>=100)
```

```
View(Classification_exclu_100)
```

#Graphique avec Mécanisme Présent

#(n=157 et 100 patron)

```
Classification_exact <- classification_percent%>%
```

```
  filter(`Mécanisme`=='Mécanisme Présent')
```

```
Classification_exact$SampleID <- as.factor(Classification_exact$SampleID)
```

```
str(Classification_exact$SampleID)
```

```
View(Classification_exact)
```

```
Classification_exact%>%
```

```
  ggplot(aes(x=`pourcentage définitif`, y=`pourcentage exclus`, colour = `Mécanisme`))+
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Présent" = "royalblue3"))+
  theme(legend.position = "none")+
  geom_point()+
  labs(x = "Pourcentage de Vrais Positifs (VP)",
       y = "Pourcentage de Faux Négatifs (FN)" )+
  geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
              color = "black", linewidth=1) +
  ylim(0,100)
```

```
#Numéro de patron plutot que des points
```

```
Classification_exact%>%
```

```
  ggplot(aes(x=`pourcentage définitif`, y=`pourcentage exclus`, colour = `Mécanisme`))+
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Présent" = "royalblue3"))+
  theme(legend.position = "none")+
  geom_text(aes(label=SampleID))+
  labs(x = "Pourcentage de Vrais Positifs (VP)",
       y = "Pourcentage de Faux Négatifs (FN)" )+
```

```
geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
             color = "black", linewidth=1) +
ylim(0,100)
```

#Graphique interactif pour connaitre les coordonnées exactes

```
Class_exact<- Classification_exact %>%

ggplot(aes(x=`pourcentage définitif`, y=`pourcentage exclus`, colour = `Mécanisme`))+
scale_color_manual(values = c("Mécanisme Présent" = "royalblue3"))+
theme(legend.position = "none")+
geom_text(aes(label=SampleID))+
labs(x= "Taux de Vrais Positifs (VP)",
      y= "Taux de Faux Négatifs (FN)" )+
geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
             color = "black", linewidth=1) +
ylim(0,100)
```

```
ggplotly(Class_exact)
```

#Recherche de données précise

#point entouré en vert

```

Classification_27 <- Classification_exact %>%
  filter(Classification_exact$`pourcentage définitif`>=84)
View(Classification_27)

```

#point entouré en rouge

```

Classification_78 <- Classification_exact %>%
  filter(Classification_exact$`pourcentage exclus`>=78)
View(Classification_78)

```

##Visualisation des données liée au patron 211

```

class_211 <- classification_percent%>%
  filter(classification_percent$SampleID ==211)
View(class_211)

```

##Données à la position X=100 et Y=0

```

Classification_exact_100 <- Classification_exact %>%
  filter(Classification_exact$`pourcentage définitif`>=100)
View(Classification_exact_100)

```

#Pour déterminer combien de relevé en tout, effectuer à la fin (191 patron dans les classifications)


```
clean_classification$SampleID <- as.factor(clean_classification$SampleID)  
  
str(clean_classification)
```

```
##table contingence relevé 481
```

```
class_481 <- classification_percent %>%
```

```
  filter(classification_percent$SampleID == 481)
```

```
View(class_481)
```

Code R, figure 16

```
# Beta à priori, paramètres
```

```
alpha <- 1
```

```
beta <- 1
```

```
#Likelihood (binomiale, paramètres
```

```
n <- 28
```

```
y <- 0
```

```
# Beta posteriori, paramètres
```

```
alphap <- alpha + y
```

```
betap <- beta + n - y
```

```
#Densité de probabilité
```

```
plot(function(x) dbeta(x,alphap,betap),
```

```
      xlab = expression(paste(theta)),
```

```
      ylab = "Densité")
```

```
#Probabilité de 95% que la proportion réelle de FP soit inférieur a
```

```
d= round(qbeta(0.95,alphap,betap), 4)
```

```
print (paste('Bayes decision FP =', d))
```

```
abline(v = d, col= "firebrick2")
```

```

#Pour la sensibilité

#likelihood

n2 <- 21

y2 <- 0

#Beta posterior

alphap2 <- alpha + y2

betap2 <- beta + n2 - y2

#Densité probabilité

plot(function(x) dbeta(x,alphap2,betap2),
      xlab = expression(paste(theta)),
      ylab = "Densité")

#Probabilité de 95% que la proportion réelle de FN soit inférieur a

dsens= round(qbeta(0.95,alphap2,betap2), 4)

print (paste('Bayes decision FN =', dsens))

abline(v = dsens, col= "firebrick2")


#intégration des FP dans le LR

Sens <- 1

FP<-seq(0,0.2, by=0.001)

LR <- Sens/FP

plot(FP,LR, type="l",

```

```

ylim = c(0,800))

abline(h=1, col= "firebrick2")

abline(v=0, col= "firebrick2")

#LR si sensibilité est de 0.8727 (99%)

LRsens<- (1-dsens)/FP

plot(FP,LRsens, type = "l",

      ylim = c(0,800))

#LR si sensibilité est de 0.8111 (99%)

LRsens2<- (0.8111)/FP

plot(FP,LRsens2, type = "l",

      ylim = c(0,800))

#Comparaison si change valeur de Sensibilité

plot(FP,LR, type="l",

      col = "red",

      ylim = c(0,300),

      xlim = c(0,0.15))

par(new=TRUE)

plot(FP,LRsens, type = "l",

```

```
xaxt="n", yaxt="n",  
xlab = "", ylab = "",  
col = "blue",  
ylim = c(0,300),  
xlim = c(0,0.15))  
par(new=TRUE)  
plot(FP,LRsens2, type = "l",  
xaxt="n", yaxt="n",  
xlab = "", ylab = "",  
col = "green",  
ylim = c(0,300),  
xlim = c(0,0.15))  
legend(0.05, 200, legend=c("Sensibilité = 1", "Sensibilité = 0.8727 (95%)", "Sensibilité =  
0.8111 (99%)"),  
fill = c("red","blue", "green"))  
segments(0.0981, -5, 0.0981, 30)  
abline(h=10, lty = "dashed")
```

Code R, sensibilité et sélectivité des questions

#Les consignes pour utiliser la routine R sont

#dans le document word "Utilisation R"

```
install.packages("tidyverse")
```

```
#install.packages("gapminder")
```

```
#install.packages("rlang")
```

```
#install.packages("vctrs")
```

```
#install.packages("tibble")
```

```
#install.packages("cli")
```

```
install.packages("ggplot2")
```

```
library(tidyr)
```

```
library(dplyr)
```

```
library(ggplot2)
```

```
library(plotly)
```

```
#library(GGally)
```

```
#library(devtools)
```

```
#library(ggbiplot)
```

```
#library(ggdendro)
```

```
#library(caret)
```

```
#library(pROC)
```

```
#library(stringr)
```

```
#library(gapminder)
```

```
#importation des données
```

```
question <- read.csv('Hicklin_supp_quest.csv', sep = ";")
```

```
View(head(question))
```

```
dim(question)
```

```
str(question)
```

```
summary(question)
```

```
#mise en forme pour conservé seulement les données pertinente aux graphiques
```

```
is.na(question)
```

```
question <- question[-c(10,11,12,13,14,15,16,17)]
```

```
View(head(question))
```

```
clean_question <- question[-c(2,5)]
```

```
clean_question <- na.omit(clean_question)
```

```
View(clean_question)
```

```
sum(is.na(clean_question))
```

```
clean_question$KnownCause <- as.factor(clean_question$KnownCause)
```

```
str(clean_question)
```

```
clean_question <- rename(clean_question,
```

```
    Non = N.N.,
```

```
    Possible = N.P.,
```

```

    Oui = N.Y.,

    'Mécanisme' = KnownCause)

colnames(clean_question)

View(clean_question)

#transfomration des facteur dans KnownCause pour mieux représenter la légende
clean_question$Mécanisme <- recode_factor(clean_question$Mécanisme,

      'VRAI' = 'Mécanisme Présent',

      'FAUX' = 'Mécanisme Absent',

      'NotCertain' = 'Mécanisme Inconnu')

str(clean_question)

levels(clean_question$Mécanisme)

#Création des colones des réponses en pourcentages
question_percent <- clean_question %>%

  mutate('pourcentage Oui' =

    (clean_question$Oui/clean_question$Responses)*100,

    'pourcentage Non'=(clean_question$Non/clean_question$Responses)*100,

    'pourcentage Possible'=(clean_question$Possible/clean_question$Responses)*100)

colnames(question_percent)

View(head(question_percent))

```



```
#Graphique avec Mécanisme Absent (n=62 et 43 patrons)
```

```
Question_Absent <- question_percent%>%
```

```
  filter(`Mécanisme`=='Mécanisme Absent')
```

```
Question_Absent$SampleID <- as.factor(Question_Absent$SampleID)
```

```
str(Question_Absent$SampleID)
```

```
Question_Absent %>%
```

```
  ggplot(aes(x=`pourcentage Non`, y=`pourcentage Oui`, colour = `Mécanisme`))+
```

```
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Absent" = "red3"))+
```

```
  theme(legend.position = "none")+
```

```
  geom_point()+
```

```
  labs(x= "Taux de Vrais Négatifs (VN)",
```

```
        y= "Taux de Faux Positifs (FP)" )+
```

```
  geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
```

```
               color = "black", linewidth=1) +
```

```
  ylim(0,100)
```

```
#Graphique avec les numéros des patrons
```

```
Question_Absent %>%
```

```
  ggplot(aes(x=`pourcentage Non`, y=`pourcentage Oui`, colour = `Mécanisme`))+
```

```
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Absent" = "red3"))+
```

```

theme(legend.position = "none")+
geom_text(aes(label=SampleID))+
labs(x= "Taux de Vrais Négatifs (VN)",
      y= "Taux de Faux Positifs (FP)" )+
geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
              color = "black", linewidth=1) +
ylim(0,100)

```

#Graphique interactif pour connaître les coordonnées exactes

```

Quest_Absent <- Question_Absent %>%

ggplot(aes(x=`pourcentage Non`, y=`pourcentage Oui`, colour = `Mécanisme`))+
scale_color_manual(values = c("Mécanisme Absent" = "red3"))+
theme(legend.position = "none")+
geom_text(aes(label=SampleID))+
labs(x= "Taux de Vrais Négatifs (VN)",
      y= "Taux de Faux Positifs (FP)" )+
geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
              color = "black", linewidth=1) +
ylim(0,100)

ggplotly(Quest_Absent)

```

```
#recherche de données précises
```

```
Question_Absent_45 <- Question_Absent %>%
```

```
  filter(Question_Absent$`pourcentage Non` >= 45)
```

```
View(Question_Absent_45)
```

```
#Graphique avec Mécanisme présent (n=34 et 32 patrons)
```

```
Question_Présent <- question_percent %>%
```

```
  filter(`Mécanisme`=='Mécanisme Présent')
```

```
Question_Présent$SampleID <- as.factor(Question_Présent$SampleID)
```

```
str(Question_Présent$SampleID)
```

```
View(Question_Présent)
```

```
Question_Présent %>%
```

```
  ggplot(aes(x=`pourcentage Oui`, y=`pourcentage Non`, colour = `Mécanisme`))+
```

```
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Présent" = "royalblue3"))+
```

```
  theme(legend.position = "none")+
```

```
  geom_point()+
```

```
  labs(x= "Taux de Vrais Positifs (VP)",
```

```
        y= "Taux de Faux Négatifs (FN)" )+
```

```
  geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
```

```

    color = "black", linewidth=1) +
  ylim(0,100)

```

```

#Graphique avec les numéros des patrons

```

```

Question_Présent %>%

```

```

  ggplot(aes(x=`pourcentage Oui`, y=`pourcentage Non`, colour = `Mécanisme`))+
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Présent" = "royalblue3"))+
  theme(legend.position = "none")+
  geom_text(aes(label=SampleID))+
  labs(x= "Taux de Vrai Positifs (VP)",
       y= "Taux de Faux Négatifs (FN)" )+
  geom_abline( intercept = 0, slope = 1, linetype="dotted",
              color = "black", linewidth=1) +
  ylim(0,100)

```

```

#Graphique interactif pour connaitre les coordonnées exact

```

```

Quest_Présent <- Question_Présent %>%

```

```

  ggplot(aes(x=`pourcentage Oui`, y=`pourcentage Non`, colour = `Mécanisme`))+
  scale_color_manual(values = c("Mécanisme Présent" = "royalblue3"))+
  theme(legend.position = "none")+
  geom_text(aes(label=SampleID))+

```

```
labs(x= "Taux de Vrai Positifs (VP)",
     y= "Taux de Faux Négatifs (FN)" )+
ylim(0,100)
```

```
ggplotly(Quest_Présent)
```

```
#recherche de données précise
```

```
Question_Présent_47 <- Question_Présent %>%
  filter(Question_Présent$`pourcentage Oui` >= 47)
View(Question_Présent_47)
```

```
Question_Présent_100 <- Question_Présent %>%
  filter(Question_Présent$`pourcentage Oui` >= 100)
View(Question_Présent_100)
```

```
#Pour déterminer combien de patron en tout, effectuer à la fin 130 patron dans les
question
```

```
clean_question$SampleID <- as.factor(clean_question$SampleID)
str(clean_question)
```

Code R, figure 19

```
# Beta à priori, paramètres
```

```
alpha <- 1
```

```
beta <- 1
```

```
#Likelihood (binomiale, paramètres
```

```
n <- 19
```

```
y <- 0
```

```
# Beta posteriori, paramètres
```

```
alphap <- alpha + y
```

```
betap <- beta + n - y
```

```
#Densité de probabilité
```

```
plot(function(x) dbeta(x,alphap,betap),
```

```
      xlab = expression(paste(theta)),
```

```
      ylab = "Posterior")
```

```
#Probabilité de 95% que la proportion réelle de FP soit inférieur a
```

```
d= round(qbeta(0.95,alphap,betap), 4)
```

```
print (paste('Bayes decision 95% FP =', d))
```

```
abline(v = d, col= "firebrick2")
```

```
#intégration des FP dans le LR
```

```
Sens <- 0.2
```

```
FP<-seq(0,0.2, by=0.001)
```

```
LR <- Sens/FP
```

```
plot(FP,LR, type="l",
```

```
      ylim = c(0,200))
```

```
abline(h=1, col= "firebrick2")
```

```
abline(v=0, col= "firebrick2")
```

```
#intégration des FP avec une sensibilité de 1
```

```
Sens1 <- 1
```

```
FP<-seq(0,0.2, by=0.001)
```

```
LR1 <- Sens1/FP
```

```
plot(FP,LR1, type="l",
```

```
      ylim = c(0,100))
```

```
abline(h=1, col= "firebrick2")
```

```
abline(v=0, col= "firebrick2")
```

```
#Comparaison différente sensibilité
```

```
plot(FP,LR, type="l",  
     col = "blue",  
     ylim = c(0,150),  
     xlim = c(0,0.15))  
par(new=TRUE)  
plot(FP,LR1, type = "l",  
     xaxt="n", yaxt="n",  
     xlab = "", ylab = "",  
     col = "red",  
     ylim = c(0,150),  
     xlim = c(0,0.15))  
legend(0.05, 100, legend=c("Sensibilité = 1", "Sensibilité = 0.2"),  
      fill = c("red","blue"))  
segments(0.1391, -5, 0.1391, 15)  
abline(h=10, lty = "dashed")  
abline(h=1)
```


Code R, ANOVA

```
install.packages("caret")
```

```
library(caret)
```

```
library(dplyr)
```

```
valeurs = c(5,3,2,7,6,3,2,2,1,5,3,5,8,4,7,2,2)
```

```
Profession= c("Instructeurs", "Divers", "Expert/Consultant", "Expert/Consultant",  
"Expert/Consultant",
```

```
      "Expert/Consultant", "Divers", "Instructeurs", "Divers", "Expert/Consultant",  
"Expert/Consultant",
```

```
      "Expert/Consultant", "Technicien de scene de crime", "Expert/Consultant",  
"Expert/Consultant",
```

```
      "Technicien de scene de crime", "Technicien de scene de crime")
```

```
Experience= c("0 - 5 ans", "0 - 5 ans", "20 - 25 ans", "5 - 10 ans", "25 ans et +",
```

```
      "25 ans et +", "5 - 10 ans", "0 - 5 ans", "10 - 15 ans", "5 - 10 ans",
```

```
      "15 - 20 ans", "15 - 20 ans", "5 - 10 ans", "25 ans et +", "5 - 10 ans", "25 ans et  
+", "10 - 15 ans")
```

```
Certification= c("oui", "non", "non", "non", "non", "oui", "oui", "oui",
```

```
      "non", "oui", "non", "oui", "non", "non", "non", "non", "non")
```

```
as.factor(Profession)
```

```
as.factor(Experience)
```

```
as.factor(Certification)
```

```
#Deux ANOVA a un facteur pour évaluer l'effet de la
```

```
#profession et de l'expérience sur la quantité de thème mentionné
```

```
#Hypothèse Ho les moyenne des thèmes sont égal
```

```
#Hypothèse H1 les moyenne des thèmes ne sont pas égale pour au moins 1 pair
```

```
#rejet de Ho si  $F_o > F_{\alpha-1; N-a; 0.05}$ 
```

```
anova(lm(valeurs~Profession))
```

```
# $F_o=1.261$  et  $p=0.3284$ 
```

```
# $F_{3;13;0.05}=3.49$ 
```

```
#Ho ne peut être rejeté
```

```
#Hypothèse Ho les moyenne sont égal
```

```
#Hypothèse H1 les moyenne ne sont pas égale pour au moins 1 pair
```

```
#rejet Ho si  $F_o > F_{\alpha-1; N-a; 0.05}$ 
```

```
anova(lm(valeurs~Experience))
```

```
# $F_o=1.9447$  et  $p=0.1663$ 
```

```
# $F_{5;11;0.05}=3.11$ 
```

```
#Ho ne peut être rejeté
```

#ANOVA pour les disciplines qualifié et indispensable

dis_qualifie = c(8,0,5,8,5,9,6,8,1,6,5,5,3,7,6,6,4)

#Hypothèse H_0 les moyenne sont égal

#Hypothèse H_1 les moyenne ne sont pas égale pour au moins 1 paire

#rejet H_0 si $F_o > F_{\alpha-1;N-a;0.05}$

anova(lm(dis_qualifie~Experience))

$F_o=0.8132$

$F_{5;11;0.05}=3.11$

H_0 ne peut être rejeté

anova(lm(dis_qualifie~Profession))

$F_o=5.176$

$F_{3;31;0.05}=3.49$

H_0 rejeté

#retiré la catégorie divers car outliers.

dis_qualifie_o = c(8,5,8,5,9,8,6,5,5,3,7,6,6,4)

```

Profession_o= c("Instructeurs", "Expert/Consultant", "Expert/Consultant",
"Expert/Consultant",

               "Expert/Consultant", "Instructeurs", "Expert/Consultant", "Expert/Consultant",

               "Expert/Consultant", "Technicien de scene de crime", "Expert/Consultant",
"Expert/Consultant",

               "Technicien de scene de crime", "Technicien de scene de crime")

```

```

Experience_o= c("0 - 5 ans", "20 - 25 ans", "5 - 10 ans", "25 ans et +",

               "25 ans et +", "0 - 5 ans", "5 - 10 ans",

               "15 - 20 ans", "15 - 20 ans", "5 - 10 ans", "25 ans et +", "5 - 10 ans", "25 ans et
+", "10 - 15 ans")

```

```

Certification_o= c("oui", "non", "non", "non", "oui", "oui",

                  "oui", "non", "oui", "non", "non", "non", "non", "non")

```

```
as.factor(Profession_o)
```

```
as.factor(Experience_o)
```

```
as.factor(Certification_o)
```

```
anova(lm(dis_qualifie_o~Profession_o))
```

```
#Ho rejeté p=0.0458
```

```
anova(lm(dis_qualifie~Certification))
```

```
#Ho rejeté, différence entre les moyennes
```

```
dis_indis = c(7,3,5,4,3,9,9,7,2,2,6,4,5,8,4,4,8)
```

```
#Hypothèse Ho les moyenne sont égal
```

```
#Hypothèse H1 les moyenne ne sont pas égale pour au moins 1 paire
```

```
#rejet Ho si  $F_o > F_{\alpha-1; N-a; 0.05}$ 
```

```
anova(lm(dis_indis~Experience))
```

```
# $F_o=0.1071$ 
```

```
# $F_{5;11;0.05}=3.11$ 
```

```
#Ho ne peut être rejeté
```

```
anova(lm(dis_indis~Profession))
```

```
# $F_o=0.4477$ 
```

```
# $F_{3;31;0.05}=3.49$ 
```

```
#Ho ne peut être rejeté
```

```
#La profession est significative avec et sans la catégorie divers
```

```
#quel catégorie est différente?
```

```
boxplot(dis_qualifie~Profession)
```

```
boxplot(dis_qualifie_o~Profession_o)
```

```
#Avec quel catégorie est ce que il y a une différents dans les moyennes
```

```
rejet <- aov(dis_qualifie~Profession)
```

```
TukeyHSD(rejet)
```

```
#Quel p adj est inférieur a 0.05? si oui, la différence est significative
```

```
#Divers est significatif avec expert/consultant et Instructeur
```

```
#Avec quel autre catégorie est ce que il y a une différents dans les moyennes
```

```
rejet_o <- aov(dis_qualifie_o~Profession_o)
```

```
TukeyHSD(rejet_o)
```

```
#Tech est significatif avec instructeurs
```

Recherche Bibliographique

. (2010). In M. M. Houck & J. A. Siegel (Eds.), *Fundamentals of Forensic Science (Second Edition)* (pp. 633-661). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374989-5.00030-2>

. (2011). In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction (Second Edition)* (pp. 651-659). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386460-4.00036-9>

. (2013). In E. M. Robinson (Ed.), *Introduction to Crime Scene Photography* (pp. 399-415). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386543-4.18001-0>

. (2016). In J. Payne-James & R. W. Byard (Eds.), *Encyclopedia of Forensic and Legal Medicine (Second Edition)* (pp. 685-784). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800034-2.09001-7>

. (2019). In M. M. Houck (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences, Third Edition (Third Edition)* (pp. 841-899). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.09001-2>

Acampora, G., Vitiello, A., Di Nunzio, C., Saliva, M., & Garofano, L. (2014). Bloodstain pattern analysis: A new challenge for computational intelligence community. FCTA 2014 - Proceedings of the International Conference on Fuzzy Computation Theory and Applications,

Acar, K., Kurtulus Dereli, A., Avci, E., Zeybek, V., Kutlu, E., Demir, S., & Senol, H. (2020). Determination of haemoglobin A1c levels using high-performance liquid chromatography of bloodstains [Article]. *Medicine, Science and the Law*, 60(1), 19-25. <https://doi.org/10.1177/0025802419879272>

Adam, C. D. (2019). Experimental and theoretical studies into the release of blood droplets from weapon tips. *Forensic Science International*, 303, 109934. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109934>

Adamowicz, P., & Ziora, B. (2022). Can scene bloodstains be used to quantify drug concentration at the moment of injury? [Article]. *Forensic Science International*, 341, Article 111498. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111498>

Advancement in science. (1996). *Science & Justice*, 36(1), 59-62.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(96\)72557-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306(96)72557-1)

Agrawal, P., Barnet, L., & Attinger, D. (2017). Bloodstains on woven fabric: Simulations and experiments for quantifying the uncertainty on the impact and directional angles. *Forensic Science International*, 278, 240-252.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.07.008>

Airlie, M., Robertson, J., Krosch, M. N., & Brooks, E. (2021). Contemporary issues in forensic science—Worldwide survey results. *Forensic Science International*, 320, 110704.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110704>

Aitken, C., Taroni, F., & Garbolino, P. (2003). A graphical model for the evaluation of cross-transfer evidence in DNA profiles. *Theoretical Population Biology*, 63(3), 179-190.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-5809\(03\)00004-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0040-5809(03)00004-2)

Almazrouei, M. A., Dror, I. E., & Morgan, R. M. (2019). The forensic disclosure model: What should be disclosed to, and by, forensic experts? *International Journal of Law, Crime and Justice*, 59, 100330. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ijlcrj.2019.05.003>

Alonso, A., Salas, A., Albarrán, C., Arroyo, E., Castro, A., Crespillo, M., Di Lonardo, A. M., Lareu, M. V., Cubría, C. L., Soto, M. L., Lorente, J. A., Semper, M. M., Palacio, A., Paredes, M., Pereira, L., Lezaun, A. P., Brito, J. P., Sala, A., Vide, M. C., . . . Gómez, J. (2002). Results of the 1999-2000 collaborative exercise and proficiency testing program on mitochondrial DNA of the GEP-ISFG: An inter-laboratory study of the observed variability in the heteroplasmy level of hair from the same donor [Article]. *Forensic Science International*, 125(1), 1-7.
[https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(01\)00602-8](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(01)00602-8)

Amerini, I., Caldelli, R., Del Bimbo, A., Di Fuccia, A., Rizzo, A. P., & Saravo, L. (2015). Detection of manipulations on printed images to address crime scene analysis: A case study.

Forensic Science International, 251, e9-e14.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.03.020>

Amin, M. O., Al-Hetlani, E., & Lednev, I. K. (2021). Trends in vibrational spectroscopy of fingerprints for forensic purposes. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 143, 116341.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trac.2021.116341>

Amin, M. O., Al-Hetlani, E., & Lednev, I. K. (2023). Discrimination of smokers and nonsmokers based on the analysis of fingerprints for forensic purposes. *Microchemical Journal*, 188, 108466. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.108466>

Amornpan, P., Petthai, A., Monthatong, M., & Lomthaisong, K. (2017). Human DNA identification and sex determination from bloodstains by duplex PCR analysis [Article]. *Asia-Pacific Journal of Science and Technology*, 22(4), Article Apst-22-04-02.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85051126098&partnerID=40&md5=715e1c60916ce295b40bf9c81a0180ee>

Andersen, J., Martin, P., Carracedo, A., Dobosz, M., Eriksen, B., Johnsson, V., Kimpton, C., Kloosterman, A., Konialis, C., Kratzer, A., Phillips, P., Mevåg, B., Pfitzinger, H., Rand, S., Rosén, B., Schmitter, H., Schneider, P., & Vide, M. (1996). Report on the third EDNAP collaborative STR exercise [Article]. *Forensic Science International*, 78(2), 83-93.

[https://doi.org/10.1016/0379-0738\(95\)01871-9](https://doi.org/10.1016/0379-0738(95)01871-9)

Anderson, S., Howard, B., Hobbs, G. R., & Bishop, C. P. (2005). A method for determining the age of a bloodstain [Article]. *Forensic Science International*, 148(1), 37-45.

<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.04.071>

Arora, H. M., Kaplan-Damary, N., & Stern, H. S. (2024). Reliability of ordinal outcomes in forensic black-box studies. *Forensic Science International*, 354, 111909.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111909>

Arthur, R. M., Hoogenboom, J., Baiker, M., Taylor, M. C., & de Bruin, K. G. (2018). An automated approach to the classification of impact spatter and cast-off bloodstain patterns. *Forensic Science International*, 289, 310-319.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.05.019>

Attinger, D., Comiskey, P. M., Yarin, A. L., & Brabanter, K. D. (2019). Determining the region of origin of blood spatter patterns considering fluid dynamics and statistical uncertainties. *Forensic Science International*, 298, 323-331.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.02.003>

Attinger, D., Moore, C., Donaldson, A., Jafari, A., & Stone, H. A. (2013). Fluid dynamics topics in bloodstain pattern analysis: Comparative review and research opportunities. *Forensic Science International*, 231(1), 375-396.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.04.018>

Atwater, C. S., Durina, M. E., Durina, J. P., & Blackledge, R. D. (2006). Visualization of gunshot residue patterns on dark clothing. *Journal of Forensic Sciences*,

Baechtel, F. S., Presley, K. W., & Smerick, J. B. (1995). D1S80 typing of DNA from simulated forensic specimens [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 40(4), 536-545.

<https://doi.org/10.1520/jfs13822j>

Ballantyne, K. N., Edmond, G., & Found, B. (2017). Peer review in forensic science. *Forensic Science International*, 277, 66-76.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.05.020>

Barber, A. P., Weber, A. R., & Lednev, I. K. (2024). Raman spectroscopy to determine the time since deposition of heated bloodstains. *Forensic Chemistry*, 37, 100549.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2024.100549>

Basu, N., & Bandyopadhyay, S. K. (2016). 2D Source area prediction based on physical characteristics of a regular, passive blood drip stain. *Forensic Science International*, 266, 39-53.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.04.024>

Basu, N., & Bandyopadhyay, S. K. (2017). Crime scene reconstruction—Sex prediction from blood stained foot sole impressions [Article]. *Forensic Science International*, 278, 156-172.

<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.06.017>

Beckett, J., & Slay, J. (2011). Scientific underpinnings and background to standards and accreditation in digital forensics. *Digital Investigation*, 8(2), 114-121.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.diin.2011.08.001>

Behrooz, N., Hulse-Smith, L., & Chandra, S. (2011). An Evaluation of the Underlying Mechanisms of Bloodstain Pattern Analysis Error. *Journal of Forensic Sciences*, 56(5), 1136-1142. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01835.x>

Bekman, N. I., Pomelova, V. G., Laricheva, S. Y., & Osin, N. S. (2004). The lanthanide fluorescence immunoassay of the total thyroxine in bloodstains dried in paper [Article]. *Klinicheskaya Laboratornaya Diagnostika*(8), 15-20.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-4644278175&partnerID=40&md5=34c75e0cda4ed92102bc193722b2acd6>

Bergman, T., Klöden, M., Dreßler, J., & Labudde, D. (2022). Automatic Classification of Bloodstains with Deep Learning Methods [Article]. *KI - Kunstliche Intelligenz*, 36(2), 135-141.

<https://doi.org/10.1007/s13218-022-00760-y>

Bergmann, T., Heinke, F., & Labudde, D. (2017). Towards substrate-independent age estimation of blood stains based on dimensionality reduction and k-nearest neighbor classification of absorbance spectroscopic data. *Forensic Science International*, 278, 1-8.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.05.023>

Bettison, A., Krosch, M. N., Chaseling, J., & Wright, K. (2021). Bloodstain pattern analysis: Does experience equate to expertise? [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 66(3), 866-878. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14661>

Beveridge, M., & Fox, J. (2006). Automatic generation of spoken dialogue from medical plans and ontologies. *Journal of Biomedical Informatics*, 39(5), 482-499.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jbi.2005.12.008>

Blau, S. (2023). Skeletal Analysis. In M. M. Houck (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences, Third Edition (Third Edition)* (pp. 551-562). Elsevier.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00002-7>

Bock, J. H., & Norris, D. O. (2016). Chapter 2 - Suitability of Forensic Plant Science Evidence for Courtroom Presentations. In J. H. Bock & D. O. Norris (Eds.), *Forensic Plant Science* (pp. 23-33). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801475-2.00002-6>

Bonfanti, M. S., & De Kinder, J. (2000). PATTERN EVIDENCE | Shotgun Ammunition on a Target. In J. A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (pp. 1210-1216). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/rwfs.2000.0591>

Boos, K., Orr, A., Illes, M., & Stotesbury, T. (2019). Characterizing drip patterns in bloodstain pattern analysis: An investigation of the influence of droplet impact velocity and number of droplets on static pattern features. *Forensic Science International*, 301, 55-66. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.05.002>

Bremmer, R. H., De Bruin, K. G., Van Gemert, M. J. C., Van Leeuwen, T. G., & Aalders, M. C. G. (2012). Forensic quest for age determination of bloodstains [Review]. *Forensic Science International*, 216(1-3), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2011.07.027>

Brinkmann, B. (1971). Erythrocytäre Enzym polymorphismen in der forensischen Serologie [Review]. *Zeitschrift für Rechtsmedizin*, 69(2), 83-117. <https://doi.org/10.1007/BF02093371>

Brown, B. L. (1981). The determination of the sex of an individual from a dried bloodstain using radioimmunoassay of testosterone, progesterone, and estradiol-17 β [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 26(4), 766-781. <https://doi.org/10.1520/jfs11432j>

Brunel, C., Fermanian, C., Durigon, M., & de la Grandmaison, G. L. (2010). Homicidal and suicidal sharp force fatalities: Autopsy parameters in relation to the manner of death. *Forensic Science International*, 198(1), 150-154. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.02.017>

Buck, U., & Kneubuehl, B. (2012). Response to “3D bloodstain pattern analysis: Ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains” by Buck et al. [Forensic Sci. Int. 206 (2011) 22–28]. *Forensic Science International*, 220(1), e41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.03.008>

Buck, U., Kneubuehl, B., Näther, S., Albertini, N., Schmidt, L., & Thali, M. (2011). 3D bloodstain pattern analysis: Ballistic reconstruction of the trajectories of blood drops and determination of the centres of origin of the bloodstains. *Forensic Science International*, 206(1), 22-28. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.06.010>

Budowle, B., Planz, J. V., Campbell, R., & Eisenberg, A. J. (2010). Chapter 26 - Molecular Diagnostic Applications in Forensic Science. In G. P. Patrinos & W. J. Ansorge (Eds.), *Molecular Diagnostics (Second Edition)* (pp. 393-406). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374537-8.00026-2>

Burns, D. C. (2001). When used in the criminal legal process forensic science shows a bias in favour of the prosecution. Discuss. *Science & Justice*, 41(4), 271-277. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(01\)71910-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306(01)71910-7)

Butler, J. M. (2012). Chapter 17 - New Technologies and Automation. In J. M. Butler (Ed.), *Advanced Topics in Forensic DNA Typing: Methodology* (pp. 497-514). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374513-2.00017-8>

Butler, J. M. (2015). U.S. initiatives to strengthen forensic science & international standards in forensic DNA. *Forensic Science International: Genetics*, 18, 4-20. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2015.06.008>

Butler, J. M., & Willis, S. (2020). Interpol review of forensic biology and forensic DNA typing 2016-2019. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 352-367. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2019.12.002>

Camana, F. Determining the area of convergence in Bloodstain Pattern Analysis: A probabilistic approach. *Forensic Science International*, 231(1-3), 131-136. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.04.019>

Camana, F. (2013). Determining the area of convergence in Bloodstain Pattern Analysis: A probabilistic approach. *Forensic Science International*, 231(1), 131-136. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.04.019>

Camilleri, A., Abarno, D., Bird, C., Coxon, A., Mitchell, N., Redman, K., Sly, N., Wills, S., Silenieks, E., Simpson, E., & Lindsay, H. (2019). A risk-based approach to cognitive bias in forensic science. *Science & Justice*, 59(5), 533-543.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.04.003>

Carew, R. M., & Errickson, D. (2019). Imaging in forensic science: Five years on. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 16, 24-33.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jofri.2019.01.002>

Carew, R. M., & Errickson, D. (2020). An Overview of 3D Printing in Forensic Science: The Tangible Third-Dimension. *Journal of Forensic Sciences*, 65(5), 1752-1760.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.14442>

Carter, A. L. (1991). Bloodstain pattern analysis with a scientific calculator [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 24(1), 37-42.

<https://doi.org/10.1080/00085030.1991.10756981>

Casey, T., Mistek, E., Halámková, L., & Lednev, I. K. (2020). Raman spectroscopy for forensic semen identification: Method validation vs. environmental interferences. *Vibrational Spectroscopy*, 109, 103065. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.vibspec.2020.103065>

Castelló, A., Alvarez, M., & Verdú, F. (2002). Accuracy, reliability, and safety of luminol in bloodstain investigation [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 35(3), 113-121. <https://doi.org/10.1080/00085030.2002.10757540>

Chapter 7 - Confirmation Bias in Forensic Science. (2018). In W. J. Koen & C. M. Bowers (Eds.), *The Psychology and Sociology of Wrongful Convictions* (pp. 215-245). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802655-7.00007-1>

Chapter 9 - Bloodstain Pattern Analysis. (2017). In W. J. Koen & C. M. Bowers (Eds.), *Forensic Science Reform* (pp. 271-297). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802719-6.00009-1>

Chapter 10 - Crime Scene Reconstruction. (2017). In W. J. Koen & C. M. Bowers (Eds.), *Forensic Science Reform* (pp. 299-329). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802719-6.00010-8>

Chapter 11 - Fingerprints. (2017). In W. J. Koen & C. M. Bowers (Eds.), *Forensic Science Reform* (pp. 331-361). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802719-6.00011-X>

Chard, T., & Rubenstein, E. M. (1989). A model-based system to determine the relative value of different variables in a diagnostic system using Bayes theorem. *International Journal of Bio-Medical Computing*, 24(2), 133-142. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0020-7101\(89\)90016-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0020-7101(89)90016-0)

Charron, J., Currier, C., Hess, P., Jacobs, P., & Zerbe, J. (2023). Interpol Review Paper of Marks and Impression Evidence 2019-2022. *Forensic Science International: Synergy*, 6, 100308. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100308>

Chase, C. E., & Liscio, E. (2023). Technical Note: Validation of Recon-3D, iPhone LiDAR for bullet trajectory documentation. *Forensic Science International*, 350, 111787. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111787>

Chen, H., Tian, L., Sun, X., Liu, L., Ma, R., & Zhang, M. (2023). Alkaline Phosphatase for Estimating the Time since Deposition of Blood Fingerprints by Scanning Electrochemical Microscopy [Article]. *Analytical Chemistry*, 95(50), 18470-18478. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.3c03692>

Chisum, W. J. (2007). Chapter 9 - Reconstruction using bloodstain evidence. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction* (pp. 313-359). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012369375-4/50012-3>

Chisum, W. J. (2011). Chapter 12 - Reconstruction Using Bloodstain Evidence. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction (Second Edition)* (pp. 319-364). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386460-4.00012-6>

Chisum, W. J., & Turvey, B. E. (2007a). Chapter 1 - A history of crime reconstruction. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction* (pp. 1-35). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012369375-4/50004-4>

Chisum, W. J., & Turvey, B. E. (2007b). Chapter 4 - Practice standards for the reconstruction of crime. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction* (pp. 85-126). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012369375-4/50007-X>

Chisum, W. J., & Turvey, B. E. (2007c). Chapter 12 - Staged crime scenes. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction* (pp. 441-481). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012369375-4/50015-9>

Chisum, W. J., & Turvey, B. E. (2011). Chapter 2 - A History of Crime Reconstruction. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction (Second Edition)* (pp. 19-44). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386460-4.00002-3>

Chisum, W. J., & Turvey, B. E. (2012). CHAPTER 11 - An Introduction to Crime Reconstruction. In B. E. Turvey (Ed.), *Criminal Profiling (Fourth Edition)* (pp. 253-286). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385243-4.00011-3>

Choi, W., Shin, J., Hyun, K.-A., Song, J., & Jung, H.-I. (2019). Highly sensitive and accurate estimation of bloodstain age using smartphone. *Biosensors and Bioelectronics*, 130, 414-419. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.09.017>

Choi, W., Shin, J., Hyun, K. A., Song, J., & Jung, H. I. (2019). Highly sensitive and accurate estimation of bloodstain age using smartphone [Article]. *Biosensors and Bioelectronics*, 130, 414-419. <https://doi.org/10.1016/j.bios.2018.09.017>

Collins, J. M. (2020). Chapter 11 - The Innocence Audit. In J. M. Collins (Ed.), *Crime Lab Report* (pp. 267-302). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816915-5.00011-4>

Comiskey, P. M., Yarin, A. L., & Attinger, D. (2019). Implications of two backward blood spatter models based on fluid dynamics for bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 301, 299-305. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.05.026>

Connolly, C., Illes, M., & Fraser, J. Affect of impact angle variations on area of origin determination in bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 223(1-3), 233-240. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.09.009>

Connolly, C., Illes, M., & Fraser, J. (2012). Affect of impact angle variations on area of origin determination in bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 223(1), 233-240. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2012.09.009>

Cooley, C. M. (2007). Chapter 14 - Reconstructionists in a post-daubert and post-dna courtroom. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction* (pp. 507-571). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012369375-4/50017-2>

Cooley, C. M. (2011). Chapter 18 - Crime Reconstruction: Expert Testimony and the Law. In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction (Second Edition)* (pp. 551-606). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386460-4.00018-7>

Cosso, S., & Reynolds, R. (1995). Validation of the AmpliFLP(TM) D1S80 PCR amplification kit for forensic casework analysis according to TWGDAM guidelines [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 40(3), 424-434. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028988913&partnerID=40&md5=8f99965de5af95cae615f1edcb797f74>

Coyle, H. M. (2012). The importance of scientific evaluation of biological evidence — Data from eight years of case review. *Science & Justice*, 52(4), 268-270. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2012.01.002>

Crime scene investigation. (2003). *Forensic Science International*, 136, 16-24. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(03\)90006-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0379-0738(03)90006-5)

Cseh, K., & Liscio, E. (2024). Empirical investigation of passive blood drop trajectory and first point of contact on inclined surfaces. *Forensic Science International*, 357, 111986. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.111986>

Daniels, D. L., Hall, A. M., & Ballantyne, J. (2004). SWGDAM developmental validation of a 19-locus Y-STR system for forensic casework [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 49(4), 668-683. <https://doi.org/10.1520/jfs2003134>

Das, D. K., Al-Ayadhy, B., Ajrawi, M. T. G., Shaheen, A. A., Sheikh, Z. A., Malik, M., Pathan, S. K., Ebrahim, B., Francis, I. M., Satar, S. A., Abdulla, M. A., Luthra, U. K., & Junaid, T. A. (2001). Cytodiagnosis of nipple discharge: A study of 602 samples from 484 cases. *Diagnostic Cytopathology*, 25(1), 25-37. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/dc.1098>

Das, T., Harshey, A., Nigam, K., Yadav, V. K., & Srivastava, A. (2020). Analytical approaches for bloodstain aging by vibrational spectroscopy: Current trends and future perspectives. *Microchemical Journal*, 158, 105278. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105278>

De Bruin, K. G., Stoel, R. D., & Limborgh, J. C. M. (2011). Improving the Point of Origin Determination in Bloodstain Pattern Analysis [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 56(6), 1476-1482. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01841.x>

De Vittori, E., Barni, F., Lewis, S. W., Antonini, G., Rapone, C., & Berti, A. (2016). Forensic application of a rapid one-step tetramethylbenzidine-based test for the presumptive trace detection of bloodstains at the crime scene and in the laboratory. *Forensic Chemistry*, 2, 63-74. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2016.10.002>

de Vries, J. H., Kling, D., Vidaki, A., Arp, P., Kalamara, V., Verbiest, M. M. P. J., Piniewska-Róg, D., Parsons, T. J., Uitterlinden, A. G., & Kayser, M. (2022). Impact of SNP microarray analysis of compromised DNA on kinship classification success in the context of investigative genetic genealogy. *Forensic Science International: Genetics*, 56, 102625. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2021.102625>

Devranoglu, D., Tavaci, I., Filoglu, G., & Bulbul, O. (2021). Effect of type of degraded DNA samples on human eye color prediction [Article]. *Pakistan Journal of Zoology*, 53(4), 1201-1209. <https://doi.org/10.17582/JOURNAL.PJZ/20200310120332>

Dicken, L., Knock, C., Carr, D. J., & Beckett, S. (2019). The effect of fabric mass per unit area and blood impact velocity on bloodstain morphology. *Forensic Science International*, 301, 12-27. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.05.001>

Dicken, L., Knock, C., Carr, D. J., & Beckett, S. (2022). The effect of the digital printing of fabric on the morphology of passive bloodstains. *Forensic Science International*, 341, 111515. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111515>

Doty, K. C., & Lednev, I. K. (2018a). Differentiating Donor Age Groups Based on Raman Spectroscopy of Bloodstains for Forensic Purposes [Article]. *ACS Central Science*, 4(7), 862-867. <https://doi.org/10.1021/acscentsci.8b00198>

Doty, K. C., & Lednev, I. K. (2018b). Differentiation of human blood from animal blood using Raman spectroscopy: A survey of forensically relevant species [Article]. *Forensic Science International*, 282, 204-210. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.11.033>

Doty, K. C., & Lednev, I. K. (2018). Raman spectroscopy for forensic purposes: Recent applications for serology and gunshot residue analysis. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 103, 215-222. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trac.2017.12.003>

Doty, K. C., McLaughlin, G., & Lednev, I. K. (2016). A Raman "spectroscopic clock" for bloodstain age determination: the first week after deposition [Article]. *Analytical and bioanalytical chemistry*, 408(15), 3993-4001. <https://doi.org/10.1007/s00216-016-9486-z>

Doty, K. C., Muro, C. K., & Lednev, I. K. (2017). Predicting the time of the crime: Bloodstain aging estimation for up to two years [Article]. *Forensic Chemistry*, 5, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2017.05.002>

Doyle, S. (2019a). Section 3 - An Introduction to the Standards Applicable to the Management, Practice, and Delivery of Forensic Science. In S. Doyle (Ed.), *Quality Management in Forensic Science* (pp. 63-154). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805416-1.00003-7>

Doyle, S. (2019b). Section 6 - Discipline-Specific Quality Management. In S. Doyle (Ed.), *Quality Management in Forensic Science* (pp. 245-323). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805416-1.00006-2>

Dubyk, M., & Liscio, E. (2016). Using a 3D laser scanner to determine the area of origin of an impact pattern [Article]. *Journal of Forensic Identification*, 66(3), 259-272.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84974802699&partnerID=40&md5=c3717f00d2c3638ad1f31471f131289d>

E. Turvey, B., & Freeman, J. (2023). Chapter 15 - Case Linkage: Offender Modus Operandi and Signature. In B. E. Turvey (Ed.), *Criminal Profiling (Fifth Edition)* (pp. 457-513). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815583-7.00015-0>

Ecker, P., Sparer, A., Lukitsch, B., Elenkov, M., Seltenhammer, M., Crevenna, R., Gföhler, M., Harasek, M., & Windberger, U. (2021). Animal blood in translational research: How to adjust animal blood viscosity to the human standard. *Physiological Reports*, 9(10), e14880. <https://doi.org/https://doi.org/10.14814/phy2.14880>

Eldridge, H., Spellman, B. A., Morgan, J., Busey, T., & Taylor, M. K. (2022). Overview of special issue: Human factors in forensic science practice sourcebook. *Forensic Science International: Synergy*, 4, 100219. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100219>

Eldridge, H., Stimac, J., & Vanderkolk, J. (2022). The benefits of errors during training. *Forensic Science International: Synergy*, 4, 100207. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2021.100207>

Elian, A. A. (1999). Detection of low levels of flunitrazepam and its metabolites in blood and bloodstains [Article]. *Forensic Science International*, 101(2), 107-111. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(99\)00013-4](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(99)00013-4)

Elliott, C. I., Stotesbury, T. E., & Shafer, A. B. A. (2022). Using total RNA quality metrics for time since deposition estimates in degrading bloodstains. *Journal of Forensic Sciences*, 67(5), 1776-1785. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.15072>

Esaias, O., Noonan, G. W., Everist, S., Roberts, M., Thompson, C., & Krosch, M. N. (2020). Improved Area of Origin Estimation for Bloodstain Pattern Analysis Using 3D Scanning [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 65(3), 722-728. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14250>

Evans, M. (2023). Interpol review of fire debris analysis and fire investigation 2019–2022. *Forensic Science International: Synergy*, 6, 100310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2022.100310>

Evetts, I. W. (1993). Establishing the evidential value of a small quantity of material found at a crime scene. *Journal of the Forensic Science Society*, 33(2), 83-86.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(93\)72985-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368(93)72985-0)

Fang, C., Zhao, J., Li, J., Qian, J., Liu, X., Sun, Q., Liu, W., Tian, Y., Ji, A., Wu, H., & Yan, J. (2019). Massively parallel sequencing of microRNA in bloodstains and evaluation of environmental influences on miRNA candidates using realtime polymerase chain reaction.

Forensic Science International: Genetics, 38, 32-38.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.10.001>

Fang, C., Zhou, P., Li, R., Guo, J., Qiu, H., Zhang, J., Li, M., Yu, C., Meng, D., Xu, X., Liu, X., Guan, D., & Yan, J. (2023). Development of a novel forensic age estimation strategy for aged blood samples by combining piRNA and miRNA markers [Article]. *International Journal of Legal Medicine*, 137(5), 1327-1335. <https://doi.org/10.1007/s00414-023-03028-8>

Ferreira, K. B., Oliveira, A. G. G., Gonçalves, A. S., & Gomes, J. A. (2017). Evaluation of Hyperspectral Imaging Visible/Near Infrared Spectroscopy as a forensic tool for automotive paint distinction [Article]. *Forensic Chemistry*, 5, 46-52.

<https://doi.org/10.1016/j.forc.2017.06.001>

Ferris, J. A. J. (1987). Forensic science and the justice system in the late twentieth century. *Journal of the Forensic Science Society*, 27(3), 147-155.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(87\)72732-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368(87)72732-7)

Fischer, E., & Jukola, S. (2024). Bodies of evidence: The ‘Excited Delirium Syndrome’ and the epistemology of cause-of-death inquiry. *Studies in History and Philosophy of Science*, 104, 38-47. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.shpsa.2023.12.009>

Fish, J. T., & Fish, J. (2014). 1 - Introduction: From the Scene of the Crime to the Desk of the Prosecutor. In J. T. Fish & J. Fish (Eds.), *Crime Scene Investigation Case Studies* (pp. 1-13). Anderson Publishing, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3123-7.00001-7>

Flight, C., Jones, M., & Ballantyne, K. N. (2018). Determination of the maximum distance blood spatter travels from a vertical impact. *Forensic Science International*, 293, 27-36.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.10.015>

Forsythe-Erman, J. (2001). A comparison of blood enhancement techniques [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 34(4), 159-165.
<https://doi.org/10.1080/00085030.2001.10757525>

Franco, A. (2023). Bite Mark Analysis. In M. M. Houck (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences, Third Edition (Third Edition)* (pp. 342-353). Elsevier.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00001-5>

Fregeau, C. J., & Fournay, R. M. (1993). DNA typing with fluorescently tagged short tandem repeats: A sensitive and accurate approach to human identification [Article]. *BioTechniques*, 15(1), 100-119. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0027318997&partnerID=40&md5=2eb5955d9bab01cb89b1370977f84f92>

Fu, J., & Allen, R. W. (2019). A method to estimate the age of bloodstains using quantitative PCR [Article]. *Forensic Science International: Genetics*, 39, 103-108.
<https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.12.004>

Fujita, Y., Kojima, K., & Kubo, S. I. (2000). Immunological identification of human hemoglobin - A practical system for detecting human bloodstains [Article]. *Japanese Journal of Legal Medicine*, 54(2), 227-232. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0033800270&partnerID=40&md5=cd03c6fc90643a9018213cbf95572443>

García-Hirschfeld, J., Alonso, A., García, O., Amorim, A., & Gómez, J. (2006). 2004–2005 GEP proficiency testing programs: Special emphasis on the interlaboratory analysis of mixed stains. *International Congress Series*, 1288, 855-857.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ics.2005.09.167>

Gardner, B. O., Kelley, S., Murrie, D. C., & Dror, I. E. (2019). What do forensic analysts consider relevant to their decision making? *Science & Justice*, 59(5), 516-523.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.04.005>

Geddes, L. (2009). Forensic evidence goes on trial. *New Scientist*, 201(2697), 6-7.
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(09\)60547-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-4079(09)60547-9)

Giulietti, N., Discepolo, S., Castellini, P., & Martarelli, M. (2023). Neural network based hyperspectral imaging for substrate independent bloodstain age estimation [Article]. *Forensic Science International*, 349, Article 111742. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111742>

Glossary. (2000). In J. A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (pp. i-lxv). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B0-12-227215-3/00957-4>

Glossary. (2014). In J. T. Fish, L. S. Miller, M. C. Braswell, & E. W. Wallace (Eds.), *Crime Scene Investigation (Third Edition)* (pp. 413-422). Anderson Publishing, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7540-8.00026-5>

Goel, B., & Yadav, B. (2020). Blood dating based on haemoglobin derivatives [Article]. *Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 37(1), 9-13. <https://doi.org/10.5958/0974-4568.2020.00002.2>

Gomes, A. M. (2021). Chapter 10 - Intervention in the preservation and collection of evidences. In A. M. Gomes (Ed.), *EMS in Crime Scene* (pp. 133-173). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-824420-3.00011-3>

Gómez, J., García-Hirschfeld, J., García, O., & Carracedo, A. (2004). GEP proficiency testing program in forensic genetics: 10 years of experience. *International Congress Series*, 1261, 124-126. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0531-5131\(03\)01841-7](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0531-5131(03)01841-7)

Grafit, A., Cohen, A., & Cohen, Y. (2012). Estimation of original volume of dry bloodstains using spectrophotometric method [Article]. *Journal of Forensic Identification*, 62(4), 305-314. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84864447098&partnerID=40&md5=d9a8496552326f9d4293f21b8c18ad63>

Griffiths, G., Liscio, E., Gurny, H., Le, Q., Northfield, D., & Williams, G. A. (2021). Inter-observer error for area of origin analysis using FARO Zone 3D. *Science & Justice*, 61(3), 291-298. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.02.006>

Grunbaum, B. W. (1976). Some new approaches to the individualization of fresh and dried bloodstains [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 21(3), 488-497.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0017127264&partnerID=40&md5=813594f0f913b7440e59925234321553>

Hahn, S., Mourges, M., & Simpson, A. (2018). Chapter 1 - Forensic Sciences and Forensic Identification. In T. J. David & J. M. Lewis (Eds.), *Forensic Odontology* (pp. 1-17). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805198-6.00001-3>

Hakim, N., & Liscio, E. (2015). Calculating Point of Origin of Blood Spatter Using Laser Scanning Technology [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 60(2), 409-417. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.12639>

Hamnett, H. J., & Jack, R. E. (2019). The use of contextual information in forensic toxicology: An international survey of toxicologists' experiences. *Science & Justice*, 59(4), 380-389. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.02.004>

Harman, O. (2013). Unformed minds: Juveniles, neuroscience, and the law. *Studies in History and Philosophy of Science Part C: Studies in History and Philosophy of Biological and Biomedical Sciences*, 44(3), 455-459. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.shpsc.2013.04.005>

Hayn, S., Wallace, M. M., Prinz, M., & Shaler, R. C. (2004). Evaluation of an Automated Liquid Hybridization Method for DNA Quantitation [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 49(1), 87-91. <https://doi.org/10.1520/jfs2003124>

He, Y., Yang, C., Jiang, S., Deng, Z., Zhao, P., & Li, Y. (2022). Bloodstain Identification Based on Visible/Near-Infrared Hyperspectral Imaging with Convolutional Neural Network [Article]. *IEEE Access*, 10, 79795-79804. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3195029>

Hicklin, R. A., Winer, K. R., Kish, P. E., Parks, C. L., Chapman, W., Dunagan, K., Richetelli, N., Epstein, E. G., Ausdemore, M. A., & Busey, T. A. Accuracy and reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts. *Forensic Science International*, 325. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110856>

Hicklin, R. A., Winer, K. R., Kish, P. E., Parks, C. L., Chapman, W., Dunagan, K., Richetelli, N., Epstein, E. G., Ausdemore, M. A., & Busey, T. A. (2021). Accuracy and

reproducibility of conclusions by forensic bloodstain pattern analysts. *Forensic Science International*, 325, 110856. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110856>

Hickman, D. A. (1986). Tailored for the analyst. *Journal of the Forensic Science Society*, 26(2), 153-154. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(86\)72464-X](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368(86)72464-X)

Hochmeister, M. N., Budowle, B., Sparkes, R., Rudin, O., Gehrig, C., Thali, M., Schmidt, L., Cordier, A., & Dirnhofer, R. (1999). Validation studies of an immunochromatographic 1-step test for the forensic identification of human blood [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 44(3), 597-602. <https://doi.org/10.1520/jfs14516j>

Hołowko, E., Januszkiewicz, K., Bolewicki, P., Sitnik, R., & Michoński, J. (2016). Application of multi-resolution 3D techniques in crime scene documentation with bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 267, 218-227. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.08.036>

Home, P. H., Norman, D. G., Palmer, A., Field, P., & Williams, M. A. (2022). Quantifying forensic investigations involving bloodstain pattern analysis within the UK. *Forensic Science International*, 339, 111424. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111424>

Home, P. H., Norman, D. G., Wade, K., Spearing, E., & Williams, M. A. (2024). 3D scanning a crime scene to enhance juror understanding of Bloodstain Pattern Analysis evidence. *Science & Justice*. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2024.04.007>

Home, P. H., Norman, D. G., & Williams, M. A. (2021). Software for the trajectory analysis of blood-drops: A systematic review. *Forensic Science International*, 328, 110992. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.110992>

Houck, M. M., Crispino, F., & McAdam, T. (2012). Chapter 7.3 - Photogrammetry and 3D Reconstruction. The authors are very indebted to Commander Laurent Chartier, Head of the Signal Image Voice Department of the Forensic Research Institute of the Gendarmerie Nationale (IRCGN – France) for having helped with this section. In M. M. Houck, F. Crispino, & T. McAdam (Eds.), *The Science of Crime Scenes* (pp. 331-345). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386464-2.00027-6>

Houck, M. M., Crispino, F., & McAdam, T. (2018). Chapter 7.3 - Photogrammetry and 3D Reconstruction**The authors are indebted to Commander Laurent Chartier, Head of the Signal Image Voice Department of the Forensic Research Institute of the Gendarmerie Nationale (IRCGN – France) for having helped with this section. In M. M. Houck, F. Crispino, & T. McAdam (Eds.), *The Science of Crime Scenes (Second Edition)* (pp. 361-377). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849878-1.00027-2>

Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2010). Chapter 10 - Serology and Bloodstain Pattern Analysis. In M. M. Houck & J. A. Siegel (Eds.), *Fundamentals of Forensic Science (Second Edition)* (pp. 229-253). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374989-5.00010-7>

Houck, M. M., & Siegel, J. A. (2015). Chapter 10 - Serology and Bloodstain Pattern Analysis. In M. M. Houck & J. A. Siegel (Eds.), *Fundamentals of Forensic Science (Third Edition)* (pp. 235-260). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800037-3.00010-8>

Huang, J., & Huang, Y. (2024). A novel three-step DNA extraction method for mixed bloodstains. *Electrophoresis*, 45(5-6), 474-479. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/elps.202300094>

Huang, W., Gao, L., Guo, W., Cui, H., Li, Z., Xu, X., & Wang, G. (2021). Analysis into Functional Data of Spectral Images from Bloodstains of Human and Two Species of Animal [Article]. *Forensic Science and Technology*, 46(6), 551-558, Article 1008-3650(2021)06-0551-08. <https://doi.org/10.16467/j.1008-3650.2021.0055>

Huang, W., Zhang, Y., Liu, G., Zhang, Z., Huang, W., Li, Z., Xu, X., & Wang, G. (2020). UAV-carried Hyperspectral Imaging System to Recognize the Bloodstain on Bitumen Road [Article]. *Forensic Science and Technology*, 45(4), 331-334, Article 1008-3650(2020)04-0331-04. <https://doi.org/10.16467/j.1008-3650.2020.04.001>

Hulse-Smith, L., & Illes, M. (2007). A blind trial evaluation of a crime scene methodology for deducing impact velocity and droplet size from circular bloodstains. *Journal of Forensic Sciences*,

Hulse-Smith, L., & Illes, M. (2007). A Blind Trial Evaluation of a Crime Scene Methodology for Deducing Impact Velocity and Droplet Size from Circular Bloodstains*. *Journal of Forensic Sciences*, 52(1), 65-69. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2006.00298.x>

Hurley, I. P., Cook, R., Laughton, C. W., Pickles, N. A., Ireland, H. E., & Williams, J. H. H. (2009). Detection of human blood by immunoassay for applications in forensic analysis [Article]. *Forensic Science International*, 190(1-3), 91-97. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2009.05.018>

Idan, A. K., & Al-Dahmoshi, H. O. M. (2020). Forensic human and non-human blood discrimination using mitochondrial 12s rrnagene [Article]. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 14(2), 1419-1426. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85087393927&partnerID=40&md5=fe2ca786973fc60678f4df217b510dc8>

Illes, M., & Boué, M. (2013). Robust estimation for area of origin in bloodstain pattern analysis via directional analysis. *Forensic Science International*, 226(1), 223-229. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.01.030>

Illes, M., & Boués, M. (2011). Investigation of a model for stain selection in bloodstain pattern analysis [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 44(1), 1-12. <https://doi.org/10.1080/00085030.2011.10768137>

Illes, M., & Stotesbury, T. Development of an application method for a zone stain selection model in bloodstain pattern analysis. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 49(1), 19-25. <https://doi.org/10.1080/00085030.2015.1108541>

Illes, M., & Stotesbury, T. (2016). Development of an application method for a zone stain selection model in bloodstain pattern analysis [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 49(1), 19-25. <https://doi.org/10.1080/00085030.2015.1108541>

Illes, M., Wilson, P., & Bruce, C. (2020). Forensic epistemology: A need for research and pedagogy. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 51-59. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2019.11.004>

Indalecio-Céspedes, C. R., Hernández-Romero, D., Legaz, I., Sánchez Rodríguez, M. F., & Osuna, E. (2021). Occult bloodstains detection in crime scene analysis [Article]. *Forensic Chemistry*, 26, Article 100368. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2021.100368>

Index. (2007). In W. J. Chisum & B. E. Turvey (Eds.), *Crime Reconstruction* (pp. 573-587). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012369375-4/50018-4>

Index. (2012). In M. M. Houck, F. Crispino, & T. McAdam (Eds.), *The Science of Crime Scenes* (pp. 387-392). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386464-2.00041-0>

Index. (2013). In J. A. Siegel, P. J. Saukko, & M. M. Houck (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences (Second Edition)* (pp. 389-502). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.09001-2>

Index. (2014). In J. T. Fish, L. S. Miller, M. C. Braswell, & E. W. Wallace (Eds.), *Crime Scene Investigation (Third Edition)* (pp. 423-433). Anderson Publishing, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7540-8.00027-7>

Index. (2015). In M. M. Houck & J. A. Siegel (Eds.), *Fundamentals of Forensic Science (Third Edition)* (pp. 677-703). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800037-3.18001-X>

Index. (2016). In E. M. Robinson (Ed.), *Crime Scene Photography (Third Edition)* (pp. 769-780). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802764-6.18001-8>

Index. (2017). In W. J. Koen & C. M. Bowers (Eds.), *Forensic Science Reform* (pp. 363-366). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802719-6.18001-X>

Index. (2018). In W. J. Koen & C. M. Bowers (Eds.), *The Psychology and Sociology of Wrongful Convictions* (pp. 377-382). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802655-7.00017-4>

Index. (2019). In S. Doyle (Ed.), *Quality Management in Forensic Science* (pp. 375-387). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805416-1.18001-6>

Inoue, H., Maeno, Y., Iwasa, M., Koyama, H., Sato, Y., & Matoba, R. (1997). Sensitive detection of human globin chains by microbore high-performance liquid chromatography and its forensic application [Article]. *Journal of Chromatography B: Biomedical Applications*, 688(2), 221-227. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(96\)00295-2](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(96)00295-2)

Ishizu, H. (1993). Special communication 1. Sex identification of forensic biological materials. *Japanese Journal of Legal Medicine*,

Izawa, H., Umezawa, H., Fujishiro, M., Ishiwata, Y., Ohtawa, T., Arima, Y., Takahashi, Y., Lee, X. P., Tsutsumi, H., & Sato, K. (2008). Semiquantitative analysis of the absorption-elution test for ABO blood grouping of bloodstains [Article]. *Journal of the Showa Medical Association*, 68(3), 162-174. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-56249120608&partnerID=40&md5=00af136408b005e503cf490bfba9ae8d>

Jayaprakash, P. T. (2006). Postmortem skin erosions caused by ants and their significance in crime reconstruction [Article]. *Journal of Forensic Identification*, 56(6), 972-999. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-33750931395&partnerID=40&md5=b9a2e041460554c2c21de9197cf3d772>

Jiang, X., Jia, F., Shen, H., Yu, J., & Jin, P. (2012). An integrated detection of ABO typing and multiplex STR testing in forensic amplification [Article]. *Chinese Journal of Forensic Medicine*, 27(5), 368-371. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84983292971&partnerID=40&md5=b74a56ad4cdd5e035008ab6ae38fd66e>

Jiang, X., Jia, F., Zhao, J., Shen, H., Chen, C., Jin, P., Guo, F., Li, Q., Shao, W., & Yu, J. (2012). Development of a 20-locus STR fluorescent-multiplex PCR for forensic purposes [Article]. *Chinese Journal of Forensic Medicine*, 27(3), 185-189. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84983319786&partnerID=40&md5=fa40f605322afccee8609933a890d16e>

Joris, P., Develter, W., Jenar, E., Suetens, P., Vandermeulen, D., Van de Voorde, W., & Claes, P. Calculation of bloodstain impact angles using an Active Bloodstain Shape Model. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 2(4), 188-198. <https://doi.org/10.1016/j.jofri.2014.09.004>

Joris, P., Develter, W., Jenar, E., Suetens, P., Vandermeulen, D., Van de Voorde, W., & Claes, P. (2014). Calculation of bloodstain impact angles using an Active Bloodstain Shape Model. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 2(4), 188-198.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jofri.2014.09.004>

Joris, P., Develter, W., Jenar, E., Suetens, P., Vandermeulen, D., Van de Voorde, W., & Claes, P. (2015). HemoVision: An automated and virtual approach to bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 251, 116-123.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.03.018>

Joris, P., Develter, W., Jenar, E., Vandermeulen, D., Coudyzer, W., Wuestenbergs, J., De Dobbelaer, B., Van de Voorde, W., Geusens, E., & Claes, P. (2014). 1.2. A novel approach to automated bloodstain pattern analysis using an active bloodstain shape model. *Journal of Forensic Radiology and Imaging*, 2(2), 95.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jofri.2014.02.005>

Joris, P., Jenar, E., Moermans, R., Van de Voorde, W., Vandermeulen, D., & Claes, P. Bloodstain impact pattern Area of Origin estimation using least-squares angles: A HemoVision validation study. *Forensic Science International*, 333.

<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111211>

Joris, P., Jenar, E., Moermans, R., Van de Voorde, W., Vandermeulen, D., & Claes, P. (2022). Bloodstain impact pattern Area of Origin estimation using least-squares angles: A HemoVision validation study [Article]. *Forensic Science International*, 333, Article 111211.

<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111211>

Kabaliuk, N., Jermy, M. C., Morison, K., Stotesbury, T., Taylor, M. C., & Williams, E. (2013). Blood drop size in passive dripping from weapons. *Forensic Science International*, 228(1), 75-82. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.02.023>

Kabaliuk, N., Jermy, M. C., Williams, E., Laber, T. L., & Taylor, M. C. (2014). Experimental validation of a numerical model for predicting the trajectory of blood drops in typical crime scene conditions, including droplet deformation and breakup, with a study of the

effect of indoor air currents and wind on typical spatter drop trajectories. *Forensic Science International*, 245, 107-120. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.10.020>

Kafadar, K. (2015). Statistical Issues in Assessing Forensic Evidence. *International Statistical Review*, 83(1), 111-134. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/insr.12069>

Kanchanabat, B., Kanchanapitak, P., Thanapongsathorn, W., & Manomaiphiboon, A. (2000). Fine-Needle Aspiration Cytology for Diagnosis and Management of Palpable Breast Mass. *Australian and New Zealand Journal of Surgery*, 70(11), 791-794. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1440-1622.2000.01975.x>

Kaplan, J., Ling, S., & Cuellar, M. (2020). Public beliefs about the accuracy and importance of forensic evidence in the United States. *Science & Justice*, 60(3), 263-272. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2020.01.001>

Kassin, S. M., Dror, I. E., & Kukucka, J. (2013). The forensic confirmation bias: Problems, perspectives, and proposed solutions. *Journal of Applied Research in Memory and Cognition*, 2(1), 42-52. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jarmac.2013.01.001>

Kent, E. J. M., Elliot, D. A., & Miskelly, G. M. (2003). Inhibition of bleach-induced luminol chemiluminescence. *Journal of Forensic Sciences*,

Kesarwani, S., Parihar, K., Sankhla, M. S., & Kumar, R. (2021). Nano-Forensic: New Perspective and Extensive Applications in Solving Crimes [Review]. *Letters in Applied NanoBioScience*, 10(1), 1792-1798. <https://doi.org/10.33263/LIANBS101.17921798>

Kieser, D., Carr, D., Jermy, M., Mabbott, A., & Kieser, J. (2016). Chapter 8 - Injury Biomechanics. In M. D. Freeman & M. P. Zeegers (Eds.), *Forensic Epidemiology* (pp. 201-230). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404584-2.00008-2>

Kieser, R. E., & Budowle, B. (2020). Chapter 13 - Select methods for microbial forensic nucleic acid analysis of trace and uncultivable specimens. In B. Budowle, S. Schutzer, & S. Morse (Eds.), *Microbial Forensics (Third Edition)* (pp. 195-205). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815379-6.00013-1>

Kim, S., Ma, Y., Agrawal, P., & Attinger, D. (2016). How important is it to consider target properties and hematocrit in bloodstain pattern analysis? *Forensic Science International*, 266, 178-184. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.05.015>

Kimura, H., & Matsuzawa, S. (1991). Lewis blood group determination in bloodstains by planimetric measurement of eluted monoclonal antibodies [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 36(4), 999-1009. <https://doi.org/10.1520/jfs13115j>

Kind, S. S., & Lang, B. G. (1976). Some Observations on the Ammoniacal Extraction Method in Blood Stain Grouping and its Comparison with other Extractive and Non-Extractive Methods [Article]. *Journal of the Forensic Science Society*, 16(1), 47-54. [https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(76\)71025-9](https://doi.org/10.1016/S0015-7368(76)71025-9)

Kislov, M. A., Chauhan, M., Khanna, S. K., Leonov, S. V., Leonova, E. N., Nagornov, M. N., Berezovsky, B. D., Lomakin, Y. V., Bychkov, A. A., Stepanov, S. A., Krupin, K. N., & Sergeevna, Z. M. (2023). Mapping homicide by 3-D modelling of bloodstain patterns at crime scene [Article]. *Medico-Legal Journal*, 91(2), 109-112. <https://doi.org/10.1177/00258172221145782>

Kloosterman, A. (1989). Application of immunoglobulin allotyping in forensic stain analysis: Reliability and sensitivity of Gm and Km typing [Article]. *Experimental and Clinical Immunogenetics*, 6(1), 123-132. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0024454981&partnerID=40&md5=352dfabdfa5a6aacf4fa92f34ef6ef9e>

Knox, M. A. (2010). Forensic engineering applications in crime scene reconstruction. ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE),

Kovalev, V. A., Grigoriev, A. Y., & Ahn, H. S. (1996). Robust recognition of white blood cell images. Proceedings - International Conference on Pattern Recognition,

Kumar, Y., Guareschi, E. E., Bharti, H., & Magni, P. A. (2023). Haemorrhagic Artefacts Produced by Ant Activity on Human Cadavers in the Early Post-Mortem Period [Article]. *Forensic Sciences*, 3(3), 506-520. <https://doi.org/10.3390/forensicsci3030035>

Laan, N., Bremmer, R. H., Aalders, M. C. G., & de Bruin, K. G. (2014). Volume Determination of Fresh and Dried Bloodstains by Means of Optical Coherence Tomography. *Journal of Forensic Sciences*, 59(1), 34-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.12272>

Laberke, P. J., Ilg, S., Bieri, H. P., Hausmann, R., & Balitzki, B. (2011). Amido black 10B in forensic stain analysis : Comparative investigations on forensic stain material [Article]. *Rechtsmedizin*, 21(5), 452-456. <https://doi.org/10.1007/s00194-011-0740-6>

Lazarjan, M. S., Geoghegan, P. H., Jermy, M. C., & Taylor, M. (2014). Experimental investigation of the mechanical properties of brain simulants used for cranial gunshot simulation. *Forensic Science International*, 239, 73-78. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.03.022>

Le, Q., & Liscio, E. (2019). A comparative study between FARO Scene and FARO Zone 3D for area of origin analysis. *Forensic Science International*, 301, 166-173. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.05.031>

Lee, H. C., & Pagliaro, E. M. (2000). SEROLOGY | Blood Identification. In J. A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (pp. 1331-1338). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/rwfs.2000.0421>

Lee, R., & Liscio, E. The accuracy of laser scanning technology on the determination of bloodstain origin. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 49(1), 38-51. <https://doi.org/10.1080/00085030.2015.1110918>

Lee, R., & Liscio, E. (2016). The accuracy of laser scanning technology on the determination of bloodstain origin [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 49(1), 38-51. <https://doi.org/10.1080/00085030.2015.1110918>

Lee, S.-Y., Lim, H.-S., Yie, H.-Y., Rhee, K.-J., Kim, S.-M., & Seo, Y.-I. A study on the estimation of area of origin of swing cast-off pattern. *Journal of Forensic Sciences*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.15510>

Lee, S.-Y., Seo, Y.-I., Moon, B.-S., Kim, J.-P., Goh, J.-M., Park, N.-K., & Shin, S.-H. (2020). Study on development of forensic blood substitute: Focusing on bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 316, 110461.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110461>

Lee, S. Y., Lim, H. S., Yie, H. Y., Rhee, K. J., Kim, S. M., & Seo, Y. I. (2024). A study on the estimation of area of origin of swing cast-off pattern [Article]. *Journal of Forensic Sciences*. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15510>

Lennard, C. (2013). Principles of Quality Assurance. In J. A. Siegel, P. J. Saukko, & M. M. Houck (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences (Second Edition)* (pp. 509-514). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00234-8>

Li, H., Shen, C., Wang, G., Sun, Q., Yu, K., Li, Z., Liang, X., Chen, R., Wu, H., Wang, F., Wang, Z., & Lian, C. (2023). BloodNet: An attention-based deep network for accurate, efficient, and costless bloodstain time since deposition inference [Article]. *Briefings in Bioinformatics*, 24(1), Article bbac557. <https://doi.org/10.1093/bib/bbac557>

Li, M., Hu, Y., Sun, Y., Yang, X., Wang, L., & Liu, Y. (2017). A surgical instruments sorting system based on stereo vision and impedance control. 2017 IEEE International Conference on Information and Automation, ICIA 2017,

Li, Z., Xu, J., Chen, P., Yin, C., Hu, L., Huang, H., Li, R., Jia, D., & Chen, F. (2018). Forensic efficiency and genetic divergence of 30 autosomal InDels in Chinese Han population from Jiangsu province. *Forensic Science International: Genetics*, 37, e17-e19.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.08.006>

Lidén, M., & Almazrouci, M. A. (2023). “Blood, Bucks and Bias”: Reliability and biasability of crime scene investigators’ selection and prioritization of blood traces. *Science & Justice*, 63(2), 276-293. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2023.01.005>

Liesegang, J. (2004). Bloodstain pattern analysis—blood source location [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 37(4), 215-222.

<https://doi.org/10.1080/00085030.2004.10757578>

Lin, H., Zhang, Y., Wang, Q., Li, B., Fan, S., & Wang, Z. (2017). Species identification of bloodstains by ATR-FTIR spectroscopy: the effects of bloodstain age and the deposition environment. *International Journal of Legal Medicine*, 132(3), 667-674.

<https://doi.org/10.1007/s00414-017-1634-2>

Lin, H., Zhang, Y., Wang, Q., Li, B., Fan, S., & Wang, Z. (2018). Species identification of bloodstains by ATR-FTIR spectroscopy: the effects of bloodstain age and the deposition environment [Article]. *International Journal of Legal Medicine*, 132(3), 667-674.

<https://doi.org/10.1007/s00414-017-1634-2>

Lipton, P. (2013). Inference to the best explanation. In *The Routledge Companion to Philosophy of Science* (pp. 225-234). Taylor and Francis.

<https://doi.org/10.4324/9780203744857-30>

Liscio, E., Bozek, P., Guryn, H., & Le, Q. (2020). Observations and 3D Analysis of Controlled Cast-Off Stains. *Journal of Forensic Sciences*, 65(4), 1128-1140.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.14301>

Liscio, E., & Le, Q. (2022). Inter observer errors of cast-off stains using FARO zone 3D. *Forensic Science International*, 330, 111098.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2021.111098>

Liu, F., Jia, F., Sun, F., Zhao, B., & Shen, H. (2020). Validation of a multiplex amplification system of 19 autosomal STRs and 27 Y-STRs [Article]. *Forensic Sciences Research*, 5(4), 292-299. <https://doi.org/10.1080/20961790.2019.1665158>

Liu, Y., Attinger, D., & De Brabanter, K. (2020). Automatic Classification of Bloodstain Patterns Caused by Gunshot and Blunt Impact at Various Distances [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 65(3), 729-743. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14262>

Liu, Y., Guo, Y., Jin, X., Mei, S., Xie, T., Lan, Q., Fang, Y., & Zhu, B. (2020). Developmental validation study of a 24-plex Y-STR direct amplification system for forensic application [Article]. *International Journal of Legal Medicine*, 134(3), 945-951.

<https://doi.org/10.1007/s00414-019-02220-z>

López-López, M., & García-Ruiz, C. (2014). Recent non-chemical approaches to estimate the shooting distance. *Forensic Science International*, 239, 79-85.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2014.03.023>

Lowenstein, J. M., Reuther, J. D., Hood, D. G., Scheuenstuhl, G., Gerlach, S. C., & Ubelaker, D. H. (2006). Identification of animal species by protein radioimmunoassay of bone fragments and bloodstained stone tools [Article]. *Forensic Science International*, 159(2-3), 182-188. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2005.08.007>

Lewis, T., Leslie, K., Barksdale, L. E., & Carter, D. O. (2012). Determining the sensitivity and reliability of Hemascein [Article]. *Journal of Forensic Identification*, 62(3), 204-214. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84862217037&partnerID=40&md5=a8d94753f0f90bc5bc5bfa2ba7035559>

Luo, T., Zhou, T., & Qu, J. (2020). Discrimination of wet or dried arterial and venous blood for forensic applications via eosin fluorescence lifetime. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 304, 127018. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.snb.2019.127018>

Luo, Y., Zhang, J., Ni, M., Mei, Z., Ye, Q., Guo, B., Fang, L., Feng, D., Wang, L., Yan, J., & Wang, G. Pilot validation of on-field STR typing and human identity testing by MinION nanopore sequencing. *Electrophoresis*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/elps.202300234>

Makovický, P., Horáková, P., Slavík, P., Mošna, F., & Pokorná, O. (2013). The use of trigonometry in bloodstain analysis [Article]. *Soudní lékařství / časopis Sekce soudního lékařství Čs. lékařské společnosti J. Ev. Purkyne*, 58(2), 20-25. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84891405899&partnerID=40&md5=b2a340dca59b42128601ae7f3c5eadde>

Manning, L., Laman, M., Mare, T., Hwaiwhanje, I., Siba, P., & Davis, T. M. E. (2014). Accuracy of cerebrospinal leucocyte count, protein and culture for the diagnosis of acute bacterial meningitis: a comparative study using Bayesian latent class analysis. *Tropical Medicine & International Health*, 19(12), 1520-1524. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/tmi.12400>

Mapes, A. A., Kloosterman, A. D., van Marion, V., & de Poot, C. J. (2016). Knowledge on DNA Success Rates to Optimize the DNA Analysis Process: From Crime Scene to Laboratory. *Journal of Forensic Sciences*, 61(4), 1055-1061.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.13102>

Marks, P. (2010). Blood ballistics model improves crime scene investigation. *New Scientist*, 207(2769), 20. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-4079\(10\)61726-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0262-4079(10)61726-5)

Marrone, A., La Russa, D., Montesanto, A., Lagani, V., La Russa, M. F., & Pellegrino, D. (2021). Short and long time bloodstains age determination by colorimetric analysis: A pilot study [Article]. *Molecules*, 26(20), Article 6272. <https://doi.org/10.3390/molecules26206272>

Matsubara, K., Tanabe, K. I., Yuasa, I., Nakamura, H., Tanabe, Y., Idzu, T., Takahashi, S., & Kimura, K. (1996). A unique and sensitive ELISA technique for typing ABH antigens in bloodstains using UEA-I lectin - The removal of detergent with a sephadex G-25 mini-column improves sensitivity [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 41(1), 35-39.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0030071674&partnerID=40&md5=c129b4b6d1b6abf875943e4ce7d32ca8>

McCleary, S., Liscio, E., De Brabanter, K., & Attinger, D. (2021). Automated reconstruction of cast-off blood spatter patterns based on Euclidean geometry and statistical likelihood. *Forensic Science International*, 319, 110628.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110628>

McElhone, R. L., Meakin, G. E., French, J. C., Alexander, T., & Morgan, R. M. (2016). Simulating forensic casework scenarios in experimental studies: The generation of footwear marks in blood [Article]. *Forensic Science International*, 264, 34-40.

<https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.023>

Menzyk, A., Martyna, A., Damin, A., Vincenti, M., & Zadora, G. (2023). Breaking with trends in forensic dating: A likelihood ratio-based comparison approach. *Forensic Science International*, 349, 111763. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111763>

Mertens, K., De Ketelaere, B., Kamers, B., Bamelis, F. R., Kemps, B. J., Verhoelst, E. M., De Baerdemaeker, J. G., & Decuypere, E. M. (2005). Dirt detection on brown eggs by means of

color computer vision [Article]. *Poultry Science*, 84(10), 1653-1659.

<https://doi.org/10.1093/ps/84.10.1653>

Miller, M. T. (2008). Eyewitnesses, physical evidence, and forensic science: A case study of State of North Carolina v. James Alan Gell [Article]. *Victims and Offenders*, 3(2-3), 142-149.

<https://doi.org/10.1080/15564880801938177>

Miller, M. T., & Massey, P. (2016). Chapter 7 - Reconstruction Activities. In M. T. Miller & P. Massey (Eds.), *The Crime Scene* (pp. 135-183). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801245-1.00007-4>

Miller, M. T., & Massey, P. (2019). Chapter 8 - Reconstruction Activities. In M. T. Miller & P. Massey (Eds.), *The Crime Scene (Second Edition)* (pp. 179-227). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812960-9.00008-1>

Mistek-Morabito, E., & Lednev, I. K. (2021). Discrimination of menstrual and peripheral blood traces using attenuated total reflection Fourier transform-infrared (ATR FT-IR) spectroscopy and chemometrics for forensic purposes [Article]. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 413(9), 2513-2522. <https://doi.org/10.1007/s00216-021-03206-w>

Mistek, E., Halámková, L., & Lednev, I. K. (2019). Phenotype profiling for forensic purposes: Nondestructive potentially on scene attenuated total reflection Fourier transform-infrared (ATR FT-IR) spectroscopy of bloodstains. *Forensic Chemistry*, 16, 100176.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2019.100176>

Mohammed, F., & Tayel, S. M. (2005). Sex identification of normal persons and sex reverse cases from bloodstains using FISH and PCR [Article]. *Journal of Clinical Forensic Medicine*, 12(3), 122-127. <https://doi.org/10.1016/j.jcfm.2004.08.007>

Mohammed, L. A., & Cunningham, L. (2019). Chapter 10 - Dealing with bias. In L. A. Mohammed (Ed.), *Forensic Examination of Signatures* (pp. 141-156). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813029-2.00010-4>

Morillas, A. V., Gooch, J., & Frascione, N. (2018). Feasibility of a handheld near infrared device for the qualitative analysis of bloodstains [Article]. *Talanta*, 184, 1-6.

<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2018.02.110>

Morris, J. W., & Brenner, C. H. (1988). Bloodstain classification errors revisited. *Journal of the Forensic Science Society*, 28(1), 49-53. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(88\)72802-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368(88)72802-9)

Morrison, G. S., Neumann, C., & Geoghegan, P. H. (2020). Vacuous standards – Subversion of the OSAC standards-development process. *Forensic Science International: Synergy*, 2, 206-209. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2020.06.005>

Morrison, J., Watts, G., Hobbs, G., & Dawnay, N. (2018). Field-based detection of biological samples for forensic analysis: Established techniques, novel tools, and future innovations. *Forensic Science International*, 285, 147-160. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.02.002>

Mudd, J. L., & Adams, D. E. (1990). A modification of the microplate method for reverse ABO typing of bloodstains and additional validation studies [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 35(2), 447-451. <https://doi.org/10.1520/jfs12845j>

Mundasad, B., McAllister, I., Pyper, P. C., & Carson, J. (2003). Posters. P17 Accuracy of fine needle aspiration cytology in diagnosis of thyroid swellings. *Cytopathology*, 14(s1), 18-18. https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2303.14.s1.1_33.x

Nara, A., Harihara, S., Iwadate, K., & Uemura, K. (2009). Sequence analysis for HV I region of mitochondrial DNA using WGA (Whole Genome Amplification) method. *Legal Medicine*, 11, S115-S118. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2009.01.114>

Neves, F. B., Arnold, G. P., Nasir, S., Wang, W., MacDonald, C., Christie, I., & Abboud, R. J. (2018). Establishing state of motion through two-dimensional foot and shoe print analysis: A pilot study. *Forensic Science International*, 284, 176-183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2018.01.008>

Nissan, E. (2012). The Forensic Disciplines: Some Areas of Actual or Potential Application. In *Law, Governance and Technology Series* (Vol. 5, pp. 841-989). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-90-481-8990-8_8

O'Connor, M., Jansen, K., Hodge, J., O'Brien, C., Pence, I., & Mahadevan-Jansen, A. (2016). Shedding new light on forensic timelines [Review]. *Spectroscopy (Santa Monica)*, 31(9), 40-45. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84989925919&partnerID=40&md5=47232749c84cc9c53c2e2b63c8043585>

Orr, A., Illes, M., Beland, J., & Stotesbury, T. Validation of Sherlock, a linear trajectory analysis program for use in bloodstain pattern analysis. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 52(2), 78-94. <https://doi.org/10.1080/00085030.2019.1577793>

Orr, A., Illes, M., Beland, J., & Stotesbury, T. (2019). Validation of Sherlock, a linear trajectory analysis program for use in bloodstain pattern analysis [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 52(2), 78-94. <https://doi.org/10.1080/00085030.2019.1577793>

Osborne, N. K. P., & Taylor, M. C. (2018). Contextual information management: An example of independent-checking in the review of laboratory-based bloodstain pattern analysis. *Science & Justice*, 58(3), 226-231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2018.01.001>

Osborne, N. K. P., Taylor, M. C., Healey, M., & Zajac, R. Bloodstain pattern classification: Accuracy, effect of contextual information and the role of analyst characteristics. *Science & Justice*, 56(2), 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2015.12.005>

Osborne, N. K. P., Taylor, M. C., Healey, M., & Zajac, R. (2016). Bloodstain pattern classification: Accuracy, effect of contextual information and the role of analyst characteristics. *Science & Justice*, 56(2), 123-128. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2015.12.005>

Osborne, N. K. P., Taylor, M. C., & Zajac, R. (2016). Exploring the role of contextual information in bloodstain pattern analysis: A qualitative approach. *Forensic Science International*, 260, 1-8. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.12.039>

Osborne, N. K. P., Zajac, R., Taylor, M. C., & Healey, M. (2016). Bloodstain pattern classification: Accuracy, effect of contextual information and the role of analyst characteristics. *Science and Justice*, 56(2), 123-128. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2015.12.005>

Osterburg, J. W., & Ward, R. H. (2010). Chapter 2 - Physical Evidence: Development, Interpretation, Investigative Value. In J. W. Osterburg & R. H. Ward (Eds.), *Criminal Investigation (Sixth Edition)* (pp. 21-90). Anderson Publishing, Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-4224-6328-4.50010-4>

Ou, X. l., Gao, J., Wang, H., Wang, H. s., Lu, H. l., & Sun, H. y. (2012). Predicting human age with bloodstains by sjTREC quantification [Article]. *PLoS ONE*, 7(8), Article e42412. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042412>

Outteridge, R. A. (1963). Bloodstain Grouping—Elution v. Inhibition [Article]. *Journal of the Forensic Science Society*, 4(2), 87-90. [https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(63\)70163-0](https://doi.org/10.1016/S0015-7368(63)70163-0)

Palenik, S. (2000). MICROCHEMISTRY. In J. A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (pp. 1111-1116). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/rwfs.2000.0574>

Palmer, T. J., Nicoll, S. M., McKean, M. E., Park, A. J., Bishop, D., Baker, L., & Imrie, J. E. A. (2013). Prospective parallel randomized trial of the MultiCyte™ ThinPrep® imaging system: the Scottish experience. *Cytopathology*, 24(4), 235-245. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2303.2012.00982.x>

Park, C.-S., Ihm, C.-H., Cho, N.-S., & Chung, N.-E. (2014). Application of Volume-of-Fluid Method to Analyze the Viscosity Effect on the Spine Formation of Bloodstains. *Journal of Forensic Sciences*, 59(6), 1552-1558. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.12484>

Parson, W., Brandstätter, A., Alonso, A., Brandt, N., Brinkmann, B., Carracedo, A., Corach, D., Froment, O., Furac, I., Grzybowski, T., Hedberg, K., Keyser-Tracqui, C., Kupiec, T., Lutz-Bonengel, S., Mevag, B., Ploski, R., Schmitter, H., Schneider, P., Syndercombe-Court, D., . . . Scheithauer, R. (2004). The EDNAP mitochondrial DNA population database (EMPOP) collaborative exercises: organisation, results and perspectives. *Forensic Science International*, 139(2), 215-226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2003.11.008>

Peabody, A. J., Oxborough, R. J., Cage, P. E., & Evett, I. W. (1983). The Discrimination of Cat and Dog Hairs. *Journal of the Forensic Science Society*, 23(2), 121-129.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(83\)72220-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368(83)72220-6)

Petherick, W. (2009a). Chapter 4 - Criminal Profiling Methods. In W. Petherick, W. Petherick, C. Ferguson, T. Goldsworthy, B. Turvey, B. Woodhouse, R. Brogan, G. Norris, D. B. Kennedy, R. Homant, M. McGrath, D. Field, A. Lowe, & E. Fry (Eds.), *Serial Crime (Second Edition)* (pp. 67-108). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374998-7.00004-6>

Petherick, W. (2009b). Chapter 9 - Where to from Here? In W. Petherick, W. Petherick, C. Ferguson, T. Goldsworthy, B. Turvey, B. Woodhouse, R. Brogan, G. Norris, D. B. Kennedy, R. Homant, M. McGrath, D. Field, A. Lowe, & E. Fry (Eds.), *Serial Crime (Second Edition)* (pp. 213-233). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374998-7.00009-5>

Petherick, W., & Brooks, N. (2014). 12 - Where to From Here? In W. Petherick (Ed.), *Profiling and Serial Crime (Third Edition)* (pp. 241-259). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-3174-9.00012-4>

Pettenati, M. J., Rao, P. N., Schnell, S., Hayworth-Hodge, R., Lantz, P. E., & Geisinger, K. R. (1995). Gender identification of dried human bloodstains using fluorescence in situ hybridization [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 40(5), 885-887. <https://doi.org/10.1520/jfs15403j>

Pietro, D. S., Kammrath, B. W., & De Forest, P. R. (2019). Is forensic science in danger of extinction? *Science & Justice*, 59(2), 199-202. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2018.11.003>

Pirani, F., Bonasoni, M. P., Cornacchia, A., Lacchè, E., Giorgetti, A., Pelotti, S., & Pelletti, G. (2024). Reliability in distinguishing murder from accidental event with current forensic criteria in traumatic head injury [Article]. *Legal Medicine*, 68, Article 102436. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2024.102436>

Pyrek, K. M. (2007). CHAPTER 10 - NOT ALL SCIENCE IS CREATED EQUAL. In K. M. Pyrek (Ed.), *Forensic Science Under Siege* (pp. 235-289). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012370861-8/50012-7>

Qu, Y., Tao, R., Yu, H., Yang, Q., Wang, Z., Tan, R., Zhang, X., Xia, R., Xiong, L., Xi, S., Wu, J., Gao, Y., Zhang, S., & Li, C. (2021). Development and validation of a forensic six-dye multiplex assay with 29 STR loci. *Electrophoresis*, 42(14-15), 1419-1430.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/elps.202100019>

Raj, A., Dehingia, N., Singh, A., McAuley, J., & McDougal, L. (2021). Machine learning analysis of non-marital sexual violence in India. *EClinicalMedicine*, 39, 101046.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2021.101046>

Rampete, K., Elliott, C. I., & Stotesbury, T. (2023). Monitoring the solid-state VIS profiles of degrading bloodstains. *Forensic Chemistry*, 35, 100507.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2023.100507>

Raymond, M. A., & Johns, S. H. (2013). International Organizations and Cooperation. In J. A. Siegel, P. J. Saukko, & M. M. Houck (Eds.), *Encyclopedia of Forensic Sciences (Second Edition)* (pp. 497-503). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00231-2>

Reid, C. A., & Howes, L. M. (2020). Communicating forensic scientific expertise: An analysis of expert reports and corresponding testimony in Tasmanian courts. *Science & Justice*, 60(2), 108-119. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2019.09.007>

Ren, Z., Luo, H., Song, F., Wei, W., Yang, Y., Zhai, X., Chen, X., & Hou, Y. (2015). Developing a multiplex mtSNP assay for forensic application in Han Chinese based on mtDNA phylogeny and hot spot. *Electrophoresis*, 36(4), 633-639.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/elps.201400396>

Reynolds, M., Franklin, D., Raymond, M. A., & Dadour, I. (2008). Bloodstain measurement using computer-fitted theoretical ellipses: A study in accuracy and precision [Article]. *Journal of Forensic Identification*, 58(4), 469-484.

<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-46149109858&partnerID=40&md5=df4bef7af501d71925ae81b157436b78>

Reynolds, M., & Raymond, M. A. (2008). New bloodstain measurement process using Microsoft Office Excel 2003 AutoShapes [Article]. *Journal of Forensic Identification*, 58(4), 453-468. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-46149095501&partnerID=40&md5=946564c8fc34133a83b8663c2d267f49>

Reynolds, M. E., Raymond, M. A., & Dadour, I. (2009). The use of small bloodstains in blood source area of origin determinations [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 42(2), 133-146. <https://doi.org/10.1080/00085030.2009.10757602>

Ribeiro, G., Tangen, J. M., & McKimmie, B. M. (2019). Beliefs about error rates and human judgment in forensic science. *Forensic Science International*, 297, 138-147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.01.034>

Richetelli, N., LeMay, J., Dunagan, K. M., Parks, C. L., Hicklin, R. A., & Chapman, W. J. (2024). Accuracy and reproducibility of forensic tire examination decisions. *Forensic Science International*, 358, 112009. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112009>

Robinson, E. M. (2016). Chapter 9 - Special Photography Situations. In E. M. Robinson (Ed.), *Crime Scene Photography (Third Edition)* (pp. 455-586). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802764-6.00009-X>

Rosenblatt, R., Halámková, L., Doty, K. C., de Oliveira, E. A. C., & Lednev, I. K. (2019). Raman spectroscopy for forensic bloodstain identification: Method validation vs. environmental interferences. *Forensic Chemistry*, 16, 100175. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2019.100175>

Roux, C., Bucht, R., Crispino, F., De Forest, P., Lennard, C., Margot, P., Miranda, M. D., NicDaeid, N., Ribaux, O., Ross, A., & Willis, S. (2022). The Sydney declaration – Revisiting the essence of forensic science through its fundamental principles. *Forensic Science International*, 332, 111182. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111182>

Sadler Simões, S., Castañera Ajenjo, A., & Dias, M. J. (2018). Dried blood spots combined to an UPLC–MS/MS method for the simultaneous determination of drugs of abuse in forensic toxicology [Article]. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 147, 634-644. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2017.02.046>

Sanchez, J. J., Børsting, C., Balogh, K., Berger, B., Bogus, M., Butler, J. M., Carracedo, A., Court, D. S., Dixon, L. A., Filipović, B., Fondevila, M., Gill, P., Harrison, C. D., Hohoff, C., Huel, R., Ludes, B., Parson, W., Parsons, T. J., Petkovski, E., . . . Morling, N. (2008). Forensic typing of autosomal SNPs with a 29 SNP-multiplex—Results of a collaborative EDNAP exercise. *Forensic Science International: Genetics*, 2(3), 176-183. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2007.12.002>

Sant, S. P., & Fairgrieve, S. I. (2012). Exsanguinated Blood Volume Estimation Using Fractal Analysis of Digital Images [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 57(3), 610-617. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02056.x>

Sant, S. P., & Fairgrieve, S. I. (2012). Exsanguinated Blood Volume Estimation Using Fractal Analysis of Digital Images*. *Journal of Forensic Sciences*, 57(3), 610-617. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02056.x>

Schmitter, H., & Kissling, E. (1984). Gc subtyping of bloodstains by isoelectric focusing in immobilized pH gradients [Article]. *Archiv fur Kriminologie*, 173(1-2), 50-54. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0021336906&partnerID=40&md5=3ae3b47b61e7dfd7b4e66e03d3cc1185>

Schneider, T. D., Kraemer, T., & Steuer, A. E. (2023). Determination of the Time since Deposition of blood-traces in a forensic context: Application of untargeted LC-HR-MS/MS metabolomics profiling. *Drug Testing and Analysis*, 15(8), 840-852. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/dta.3480>

Schoolland, M., Allpress, S., & Sterrett, G. F. (2002). Adenocarcinoma of the cervix. *Cancer Cytopathology*, 96(1), 5-13. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/cncr.10313>

Sehrawat, J. S., & Ahlawat, B. (2024). Forensic age estimation from aspartic acid racemization (AAR): Scrutiny of multiple source samples. *Microchemical Journal*, 196, 109644. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109644>

Seki, T., Hsiao, Y. Y., Ishizawa, F., Sugano, Y., & Takahashi, Y. (2024). Establishment of a random forest regression model to estimate the age of bloodstains based on temporal colorimetric analysis [Article]. *Legal Medicine*, 69, Article 102343. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2023.102343>

Selvin, S., & Grunbaum, B. W. (1987). Genetic marker determination in evidence bloodstains: the effect of classification errors on probability of non-discrimination and probability of concordance. *Journal of the Forensic Science Society*, 27(1), 57-63. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(87\)72707-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368(87)72707-8)

Selvin, S. S., & Grunbaum, B. W. (1988). Bloodstain classification errors revisited. *Journal of the Forensic Science Society*, 28(1), 55-56. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(88\)72803-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0015-7368(88)72803-0)

Semba, S., Yamamoto, Y., & Ishizu, H. (1994). Sex determination from blood and bloodstains by polymerase chain reaction (PCR) [Article]. *Japanese Journal of Legal Medicine*, 48(1), 7-18. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0028220549&partnerID=40&md5=1b0cff1a5132a246fe8e5d1bf4c34dca>

Sena, M. M., Rocha, W. F. C., Braga, J. W. B., Silva, C. S., & Urbas, A. (2020). 4.06 - Chemometrics in Forensics. In S. Brown, R. Tauler, & B. Walczak (Eds.), *Comprehensive Chemometrics (Second Edition)* (pp. 113-148). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.14601-3>

Sensabaugh, G. F. (1981). 9 - Uses of Polymorphic Red Cell Enzymes in Forensic Science. *Clinics in Haematology*, 10(1), 185-207. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-2261\(21\)00215-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0308-2261(21)00215-0)

Seok, A. E., Lee, J., Lee, Y. R., Lee, Y. J., Kim, H. J., Ihm, C., Sung, H. J., Hyun, S. H., & Kang, H. G. (2018). Estimation of Age of Bloodstains by Mass-Spectrometry: A Metabolomic

Approach [Article]. *Analytical Chemistry*, 90(21), 12431-12441.

<https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b01367>

Sharma, B., Koundal, D., & Singh, S. (2020). 14 - Medical imaging security and forensics: a systematic literature review. In D. Koundal & S. Gupta (Eds.), *Advances in Computational Techniques for Biomedical Image Analysis* (pp. 273-297). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820024-7.00014-1>

Sharma, S., Chophi, R., Jossan, J. K., & Singh, R. (2021). Detection of bloodstains using attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy supported with PCA and PCA-LDA [Article]. *Medicine, Science and the Law*, 61(4), 292-301.

<https://doi.org/10.1177/00258024211010926>

Sharma, V., & Kumar, R. Trends of chemometrics in bloodstain investigations. *Trends in Analytical Chemistry*, 107, 181-195. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.006>

Sharma, V., & Kumar, R. (2018). Trends of chemometrics in bloodstain investigations. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 107, 181-195.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.08.006>

Shelton, D. E. (2012). *Forensic science evidence : can the law keep up with science?* LFB Scholarly Pub. LLC. <http://site.ebrary.com/id/10561090>

Shen, H., Guo, F., Jin, P., Yu, J., Jia, F., Zhao, J., & Jiang, X. (2014). Application of the 24-locus multiplex system [Article]. *Chinese Journal of Forensic Medicine*, 29(2), 109-113.

<https://doi.org/10.13618/j.issn.1001-5728.2014.02.006>

Shin, J., Choi, S., Yang, J.-S., Song, J., Choi, J.-S., & Jung, H.-I. Smart Forensic Phone: Colorimetric analysis of a bloodstain for age estimation using a smartphone. *Sensors & Actuators: B. Chemical*, 243, 221-225. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.11.142>

Shin, J., Choi, S., Yang, J.-S., Song, J., Choi, J.-S., & Jung, H.-I. (2017). Smart Forensic Phone: Colorimetric analysis of a bloodstain for age estimation using a smartphone. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 243, 221-225. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.11.142>

Shin, J., Choi, S., Yang, J. S., Song, J., Choi, J. S., & Jung, H. I. (2017). Smart Forensic Phone: Colorimetric analysis of a bloodstain for age estimation using a smartphone [Article]. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 243, 221-225. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.11.142>

Shoumy, N. J., Yaakob, S. N., Ehkan, P., Ali, M. S., & Khatun, S. (2017). Cascade-forward neural network performance study for bloodstain image analysis. 2016 3rd International Conference on Electronic Design, ICED 2016,

Shukla, R. K., Kumar, A., Kumar, R., Singh, D., & Kumar, A. (2019). Numerical study of pore formation in thermal spray coating process by investigating dynamics of air entrapment. *Surface and Coatings Technology*, 378, 124972. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.124972>

Sikirzhytskaya, A., Sikirzhytski, V., & Lednev, I. K. (2017). Determining Gender by Raman Spectroscopy of a Bloodstain [Article]. *Analytical Chemistry*, 89(3), 1486-1492. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.6b02986>

Sincerbox, S. N., & DiGangi, E. A. (2018). Chapter 1 - Introduction. In S. N. Sincerbox & E. A. DiGangi (Eds.), *Forensic Taphonomy and Ecology of North American Scavengers* (pp. 1-16). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813243-2.00001-4>

Sloan, K., & Robertson, J. (2023). Textile and Fiber Damage. In M. M. Houck (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences, Third Edition (Third Edition)* (pp. 726-736). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00178-1>

Smith, F. R., & Brutin, D. (2018). Wetting and spreading of human blood: Recent advances and applications. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 36, 78-83. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cocis.2018.01.013>

Spellman, B. A., Eldridge, H., & Bieber, P. (2022). Challenges to reasoning in forensic science decisions. *Forensic Science International: Synergy*, 4, 100200. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsisyn.2021.100200>

Stacks, B., & Witte, M. M. (1996). Sex determination of dried blood stains using the polymerase chain reaction (PCR) with homologous X-Y primers of the zinc finger protein gene [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 41(2), 287-290. <https://doi.org/10.1520/jfs15428j>

Stevenson, S., & Liscio, E. Assessing iPhone LiDAR & Recon-3D for determining area of origin in bloodstain pattern analysis. *Journal of Forensic Sciences*, n/a(n/a). <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.15476>

Stevenson, S., & Liscio, E. (2024). Assessing iPhone LiDAR & Recon-3D for determining area of origin in bloodstain pattern analysis [Article]. *Journal of Forensic Sciences*. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15476>

Stevenson, S., & Liscio, E. (2024). Assessing iPhone LiDAR & Recon-3D for determining area of origin in bloodstain pattern analysis. *Journal of Forensic Sciences*. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.15476>

Stotesbury, T., Illes, M., Wilson, P., & Vreugdenhil, A. J. (2017). The application of silicon sol-gel technology to forensic blood substitute development: Investigation of the spreading dynamics onto a paper surface. *Forensic Science International*, 275, 308-313. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.03.020>

Strasser, S., Zink, A., Kada, G., Hinterdorfer, P., Peschel, O., Heckl, W. M., Nerlich, A. G., & Thalhammer, S. (2007). Age determination of blood spots in forensic medicine by force spectroscopy. *Forensic Science International*, 170(1), 8-14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.08.023>

Subject Index. (2016). In M. D. Freeman & M. P. Zeegers (Eds.), *Forensic Epidemiology* (pp. 405-416). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404584-2.18002-4>

Sun, H., Dong, Y., Zhang, P., Meng, Y., Wen, W., Li, N., & Guo, Z. (2017). Accurate Age Estimation of Bloodstains Based on Visible Reflectance Spectroscopy and Chemometrics Methods [Article]. *IEEE Photonics Journal*, 9(1), Article 7814193. <https://doi.org/10.1109/JPHOT.2017.2651580>

Sunde, N. (2021). What does a digital forensics opinion look like? A comparative study of digital forensics and forensic science reporting practices. *Science & Justice*, 61(5), 586-596.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.06.010>

Sunde, N., & Dror, I. E. (2019). Cognitive and human factors in digital forensics: Problems, challenges, and the way forward. *Digital Investigation*, 29, 101-108.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.diin.2019.03.011>

Taroni, F., Lambert, J. A., Fereday, L., & Werrett, D. J. (2002). Evaluation and presentation of forensic DNA evidence in European laboratories. *Science & Justice*, 42(1), 21-28.

[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306\(02\)71793-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1355-0306(02)71793-0)

Taylor, D., Kokshoorn, B., & Biedermann, A. (2018). Evaluation of forensic genetics findings given activity level propositions: A review. *Forensic Science International: Genetics*, 36, 34-49. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2018.06.001>

Taylor, M. C., Laber, T. L., Kish, P. E., Owens, G., & Osborne, N. K. (2016a). The Reliability of Pattern Classification in Bloodstain Pattern Analysis, Part 1: Bloodstain Patterns on Rigid Non-absorbent Surfaces [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 61(4), 922-927.

<https://doi.org/10.1111/1556-4029.13091>

Taylor, M. C., Laber, T. L., Kish, P. E., Owens, G., & Osborne, N. K. P. (2016a). The Reliability of Pattern Classification in Bloodstain Pattern Analysis—PART 2: Bloodstain Patterns on Fabric Surfaces. *Journal of Forensic Sciences*, 61(6), 1461-1466.

<https://doi.org/10.1111/1556-4029.13191>

Taylor, M. C., Laber, T. L., Kish, P. E., Owens, G., & Osborne, N. K. P. (2016b). The Reliability of Pattern Classification in Bloodstain Pattern Analysis—PART 2: Bloodstain Patterns on Fabric Surfaces [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 61(6), 1461-1466.

<https://doi.org/10.1111/1556-4029.13191>

Taylor, M. C., Laber, T. L., Kish, P. E., Owens, G., & Osborne, N. K. P. (2016b). The Reliability of Pattern Classification in Bloodstain Pattern Analysis, Part 1: Bloodstain Patterns on Rigid Non-absorbent Surfaces. *Journal of Forensic Sciences*, 61(4), 922-927.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.13091>

Taylor, M. C., Osborne, N. K. P., Laber, T. L., Kish, P. E., & Owens, G. (2016). The Reliability of Pattern Classification in Bloodstain Pattern Analysis—PART 2: Bloodstain Patterns on Fabric Surfaces. *Journal of Forensic Sciences*, 61(6), 1461-1466.

<https://doi.org/10.1111/1556-4029.13191>

Tha Aye, U. (1978). The Reliability of ABO Grouping of Bloodstains Contaminated with Sweat [Article]. *Journal of the Forensic Science Society*, 18(3-4), 193-195.

[https://doi.org/10.1016/S0015-7368\(78\)71202-8](https://doi.org/10.1016/S0015-7368(78)71202-8)

Thanakiatkrai, P., Yaodam, A., & Kitpipit, T. (2013). Age estimation of bloodstains using smartphones and digital image analysis. *Forensic Science International*, 233(1), 288-297.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.09.027>

Thong, Z., Chan, X. L. S., Tan, J. Y. Y., Loo, E. S., & Syn, C. K. C. (2017). Evaluation of DNA methylation-based age prediction on blood [Article]. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 6, e249-e251. <https://doi.org/10.1016/j.fsigss.2017.09.095>

Tian, L., Chen, H., Ma, R., & Zhang, M. (2022). Estimating Time since Deposition of Bloodstains by Scanning Electrochemical Microscopy. *ChemElectroChem*, 9(17), e202200434.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/celec.202200434>

Turingan, R. S., Tan, E., Jiang, H., Brown, J., Estari, Y., Krautz-Peterson, G., & Selden, R. F. (2020). Developmental Validation of the ANDE 6C System for Rapid DNA Analysis of Forensic Casework and DVI Samples. *Journal of Forensic Sciences*, 65(4), 1056-1071.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.14286>

Turvey, B. E. (2000). CRIMINAL PROFILING. In J. A. Siegel (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences* (pp. 466-471). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1006/rwfs.2000.0754>

Turvey, B. E. (2016). Chapter 2 - Criminal Profiling: Fraud and Failures. In B. E. Turvey & M. A. Esparza (Eds.), *Behavioral Evidence Analysis* (pp. 11-31). Academic Press.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800607-8.00002-1>

Turvey, B. E. (2023a). Chapter 19 - Offender Characteristics: Rendering a Criminal Profile. In B. E. Turvey (Ed.), *Criminal Profiling (Fifth Edition)* (pp. 593-635). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815583-7.00019-8>

Turvey, B. E. (2023b). Chapter 24 - Criminal Profiling: Pseudo-profilers and Courtroom Testimony*. In B. E. Turvey (Ed.), *Criminal Profiling (Fifth Edition)* (pp. 771-797). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815583-7.00024-1>

Turvey, B. E., & Baltazar, K. V. (2023). Chapter 13 - An Introduction to Crime Scene Investigation and Reconstruction**This chapter is adapted and updated from material published in Chisum and Turvey (2012). In B. E. Turvey (Ed.), *Criminal Profiling (Fifth Edition)* (pp. 363-413). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815583-7.00013-7>

Turvey, B. E., & Chisum, W. J. (2017). Chapter 6 - Crime Scene Processing. In B. E. Turvey & S. Crowder (Eds.), *Forensic Investigations* (pp. 125-156). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-800680-1.00006-7>

Ukanchanakitti, P., Winaichatsak, N., Cho, N., & Sumetpipat, K. (2023). Predicting Blood Drop Height and Volume using Physics Equations, VGG-19, and XGBoost. ACM International Conference Proceeding Series,

Vitiello, A., Di Nunzio, C., Garofano, L., Saliva, M., Ricci, P., & Acampora, G. (2016). Bloodstain pattern analysis as optimisation problem. *Forensic Science International*, 266, e79-e85. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.06.022>

Walters, M., & Liscio, E. (2020). The Accuracy and Repeatability of Reconstructing Single Bullet Impacts Using the 2D Ellipse Method. *Journal of Forensic Sciences*, 65(4), 1120-1127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.14309>

Wang, C., & Zhang, L. T. (2014). Simulations of blood drop spreading and impact for bloodstain pattern analysis [Article]. *CMES - Computer Modeling in Engineering and Sciences*, 98(1), 41-67. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84901982188&partnerID=40&md5=b29728bea9ebf8c67f3cf3ffc9b5a615>

Wang, D., Zhai, L., Fang, J., Li, Y., & Xu, Z. (2024). psoResNet: An improved PSO-based residual network search algorithm. *Neural Networks*, 172, 106104.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neunet.2024.106104>

Wang, F., Gallardo, V., Michielsen, S., & Fang, T. (2021). Fundamental study of porcine drip bloodstains on fabrics: Blood droplet impact and wicking dynamics. *Forensic Science International*, 318, 110614. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110614>

Wang, H., Ding, X., He, X., Guo, G., Yang, J., Zhang, Y., Jia, Z., Zhang, J., Li, J., & Wang, Q. (2024). Application of ATR-FTIR spectroscopy and chemometrics for the forensic discrimination of aged peripheral and menstrual bloodstains. *Microchemical Journal*, 197, 109933. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2024.109933>

Wang, J., Fu, G., Wang, Q., Ma, G., Wang, Z., Lu, C., Fu, L., Zhang, X., Cong, B., & Li, S. (2024). Differences of circular RNA expression profiles between monozygotic twins' blood, with the forensic application in bloodstain and saliva. *Forensic Science International: Genetics*, 69, 103001. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2023.103001>

Wang, J., Li, Z., Hu, W., Shao, Y., Wang, L., Wu, R., Ma, K., Zou, D., & Chen, Y. (2019). Virtual reality and integrated crime scene scanning for immersive and heterogeneous crime scene reconstruction. *Forensic Science International*, 303, 109943. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2019.109943>

Wang, Z., Zhang, P., Liu, H., Zhao, Z., Xiong, L., He, W., Kwok, R. T. K., Lam, J. W. Y., Ye, R., & Tang, B. Z. (2019). Robust Serum Albumin-Responsive AIEgen Enables Latent Bloodstain Visualization in High Resolution and Reliability for Crime Scene Investigation [Article]. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 11(19), 17306-17312. <https://doi.org/10.1021/acsami.9b04269>

Wang, Z., Zhou, D., Zhang, S., Bian, Y., Hu, Z., Zhu, R., Lu, D., & Li, C. (2015). Logical Framework of Forensic Identification: Ability to Resist Fabricated DNA [Article]. *Molecular Biotechnology*, 57(11-12), 1030-1037. <https://doi.org/10.1007/s12033-015-9893-y>

Weber, A. R., & Lednev, I. K. (2020). Crime clock – Analytical studies for approximating time since deposition of bloodstains. *Forensic Chemistry*, 19, 100248.

<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100248>

Weedn, V. W. (1996). Forensic DNA Tests. *Clinics in Laboratory Medicine*, 16(1), 187-196. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0272-2712\(18\)30294-4](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0272-2712(18)30294-4)

Wei, S., Ruili, C., Haoyu, W., Zhiwei, S., & Xun, H. (2023). Experimental study on the identification of bloodstain species based on hyperspectral imaging technology and machine learning methods. *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*,

Wiegand, P., & Rolf, B. (2003). Analysis of biological traces. Part 1: Functional blood trace morphology, bodily secretions, hair. Methode of detection and proof [Review]. *Rechtsmedizin*, 13(2), 103-113. <https://doi.org/10.1007/s00194-002-0175-1>

Wilcox, A. M. (2023). Pattern Evidence Disciplines: Overview. In M. M. Houck (Ed.), *Encyclopedia of Forensic Sciences, Third Edition (Third Edition)* (pp. 113-119). Elsevier. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823677-2.00185-9>

Wilde, M. H., & Carrigan, M. J. (2003). A chart audit of factors related to urine flow and urinary tract infection. *Journal of Advanced Nursing*, 43(3), 254-262. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2648.2003.02708.x>

Wiles, J., Alexander, T., Ashlock, S., Ballou, S., Depew, L., Dominguez, G., Ehuan, A., Green, R., Long, J., Reis, K., Schroader, A., Schuler, K., & Thompson, E. (2007). Chapter 10 - Murder and Money: The Story of Standards, Accreditation, and Certification in Computer Forensics. In J. Wiles, T. Alexander, S. Ashlock, S. Ballou, L. Depew, G. Dominguez, A. Ehuan, R. Green, J. Long, K. Reis, A. Schroader, K. Schuler, & E. Thompson (Eds.), *Techno Security's Guide to E-Discovery and Digital Forensics* (pp. 261-276). Syngress. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-159749223-2.50014-5>

Willis, C., Piranian, A. K., Donaggio, J. R., Barnett, R. J., & Rowe, W. F. (2001). Errors in the estimation of the distance of fall and angles of impact blood drops. *Forensic Science International*, 123(1), 1-4. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(01\)00506-0](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0379-0738(01)00506-0)

Wilson, R. B., Ferrara, J. L., Baum, H. J., & Shaler, R. C. (1994). Guidelines for internal validation of the HLA-DQ α DNA typing system [Article]. *Forensic Science International*, 66(1), 9-22. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(94\)90315-8](https://doi.org/10.1016/0379-0738(94)90315-8)

Witzke, D. S. (2013). Chapter 6 - Digital Processing of Evidentiary Photography. In E. M. Robinson (Ed.), *Introduction to Crime Scene Photography* (pp. 303-356). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386543-4.00006-7>

Wolson, T. L. (2001). DNA analysis and the interpretation of bloodstain patterns [Article]. *Journal of the Canadian Society of Forensic Science*, 34(4), 151-157. <https://doi.org/10.1080/00085030.2001.10757524>

Wonder, A. Y. (2007). CHAPTER 30 - BLOODSTAIN PATTERN EVIDENCE AND THE LAW. In A. Y. Wonder (Ed.), *Bloodstain Pattern Evidence* (pp. 265-275). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-012370482-5/50086-0>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015). *Bloodstain Patterns: Identification, Interpretation and Application* [Book]. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/C2011-0-05797-6>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015a). Chapter 1 - Introduction. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 3-17). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00001-9>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015b). Chapter 2 - The Science of Bloodstain Pattern Evidence. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 19-30). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00002-0>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015c). Chapter 7 - Information for Interpretation. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 143-157). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00007-X>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015d). Chapter 9 - Staging. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 185-203). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00009-3>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015e). Chapter 10 - Expanding Applications in Bloodstain Pattern Evidence. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 207-219). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00010-X>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015f). Chapter 12 - Bloodstain Pattern Application in Court. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 241-264). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00012-3>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015g). Chapter 13 - Reinventing the Wheel. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 267-284). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00013-5>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015h). Chapter 14 - Research Project Examples. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 285-309). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00014-7>

Wonder, A. Y., & Yezzo, G. M. (2015i). Chapter 15 - Summation and Review. In A. Y. Wonder & G. M. Yezzo (Eds.), *Bloodstain Patterns* (pp. 311-317). Academic Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/B978-0-12-415930-3.00015-9>

Wu, J., Zhang, M., Devahastin, S., & Chen, H. (2022). Improving 3D printability of pumpkin pastes by addition of surimi. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), e17127. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfpp.17127>

Xiong, H., Wang, Q., Zhao, M., Zheng, Z., Zhu, S., Zhu, Y., Li, Y., Li, S., Ding, S., Li, H., & Li, J. (2021). Drowning and postmortem immersion identification using attenuated total reflection-Fourier transform infrared spectroscopy. *Microchemical Journal*, 167, 106310. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106310>

Xuan, J., Ding, M., Wang, B., Pang, H., Xing, J., & Meng, J. (2011). Study on DNA polymorphism in the trace bloodstain on FTA card [Article]. *Chinese Journal of Forensic Medicine*, 26(3), 218-220. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79959724241&partnerID=40&md5=456fd24b3ab47ab6b0f34ca004b36dde>

Yamagishi, T., Sakurai, W., Watanabe, K., Toyomane, K., & Akutsu, T. (2024). Development and comparison of forensic interval age prediction models by statistical and machine learning methods based on the methylation rates of ELOVL2 in blood DNA [Article]. *Forensic Science International: Genetics*, 69, Article 103004. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2023.103004>

Yan, L. Q., & Gao, Y. (2016). Determination of bloodstain age by UV visible integrating sphere reflection spectrum [Article]. *Journal of Forensic Medicine*, 32(5), 326-328. <https://doi.org/10.3969/j.issn.1004-5619.2016.05.002>

Yang, F., Qian, J., Qu, H., Ji, Z., Li, J., Hu, W., Cheng, F., Fang, X., & Yan, J. (2023). DNA methylation-based age prediction with bloodstains using pyrosequencing and random forest regression [Article]. *Electrophoresis*, 44(9-10), 835-844. <https://doi.org/10.1002/elps.202200250>

Yang, Z. C., Shi, L., Cai, J., & Zhang, H. (2021). Raman Spectral Blood Stain Identification Based on Band Selection [Article]. *Guang Pu Xue Yu Guang Pu Fen Xi/Spectroscopy and Spectral Analysis*, 41(10), 3137-3141. [https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593\(2021\)10-3137-05](https://doi.org/10.3964/j.issn.1000-0593(2021)10-3137-05)

Yao, L., Xu, Z., Zhao, H., Tu, Z., Liu, Z., Li, W., Hu, L., & Wan, L. (2018). Concordance of mitochondrial DNA sequencing methods on bloodstains using Ion PGM™ [Article]. *Legal Medicine*, 32, 27-30. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2018.02.005>

Yeh, K., Burr, W. S., Stock, N. L., & Stotesbury, T. (2020). Preliminary analysis of latent fingerprints recovered from underneath bloodstains using matrix-assisted laser desorption/ionization fourier-transform ion cyclotron resonance mass spectrometry imaging (MALDI FT-ICR MSI). *Forensic Chemistry*, 20, 100274. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forc.2020.100274>

Yu, Y., Luo, Y., Huang, L., & Quan, Y. (2021). The impact of contextual information on decision-making in footwear examination: An eye-tracking study. *Journal of Forensic Sciences*, 66(6), 2218-2231. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1556-4029.14861>

Yuan, W. A. (2010). Diagnostic PCR to identify five rare species of Cypriniformes in China [Article]. *Molecular Ecology Resources*, 10(6), 1092-1097. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2010.02852.x>

Yuen, S. K. Y., Taylor, M. C., Owens, G., & Elliot, D. A. (2017). The Reliability of Swipe/Wipe Classification and Directionality Determination Methods in Bloodstain Pattern Analysis [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 62(4), 1037-1042. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.13298>

Yunan, H., Chenxuan, Y., Sheng, J., Zhiji, D., Peng, Z., & Ye, L. (2022). Bloodstain Identification Based on Visible/Near-Infrared Hyperspectral Imaging With Convolutional Neural Network. *IEEE Access*, 10, 79795-79804. <http://dx.doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3195029>

Zadora, G., & Menzyk, A. (2018). In the pursuit of the holy grail of forensic science – Spectroscopic studies on the estimation of time since deposition of bloodstains. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 105, 137-165. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.trac.2018.04.009>

Zajac, P. L., & Grunbaum, B. W. (1978). Problems of reliability in the phenotyping of erythrocyte acid phosphatase in bloodstains [Article]. *Journal of Forensic Sciences*, 23(3), 615-618. <https://doi.org/10.1520/jfs10714j>

Zehner, R., & Bohrer, U. (1998). DYS19 and amelogenin in artificial blood stains with defined amounts of male and female cells [Article]. *International Journal of Legal Medicine*, 111(6), 340-342. <https://doi.org/10.1007/s004140050186>

Zhang, J., Liu, K., Wang, R., Chang, J., Xu, X., Du, M., Ye, J., & Yang, X. (2024). Transcriptomic changes and prediction of time since deposition of blood stains. *Forensic Science International*, 355, 111930. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.111930>

Zhang, K., Liu, R., Wei, X., Wang, Z., & Huang, P. (2024). Use of Raman spectroscopy to study rat lung tissues for distinguishing asphyxia from sudden cardiac death††Electronic supplementary information (ESI) available: Plots of the selection of latent variables for the PLS-DA model; ROC curves and confusion matrix for the PLS-DA model; classification results of decomposed lung tissues in the PLS-DA model built with fresh lung tissues; comparison of total

protein content between the two groups. See DOI: <https://doi.org/10.1039/d3ra07684a>. *RSC Advances*, 14(8), 5665-5674. <https://doi.org/https://doi.org/10.1039/d3ra07684a>

Zheng, J. L., Wen, H. Y., Zhang, B., Gong, J. H., Teng, Y., & Li, Z. Y. (2019). Development of Integrated Device of Trace Bloodstains Imaging and Age Analysis [Article]. *Journal of Forensic Medicine*, 35(2), 230-233and239. <https://doi.org/10.12116/j.issn.1004-5619.2019.02.018>

Zou, T., Pan, T., Taylor, M., & Stern, H. (2021). Recognition of overlapping elliptical objects in a binary image [Article]. *Pattern Analysis and Applications*, 24(3), 1193-1206. <https://doi.org/10.1007/s10044-020-00951-z>

Zou, T., & Stern, H. S. (2022). Towards a likelihood ratio approach for bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 341, 111512. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111512>

Zubakov, D., Liu, F., Kokmeijer, I., Choi, Y., van Meurs, J. B. J., van Ijcken, W. F. J., Uitterlinden, A. G., Hofman, A., Broer, L., van Duijn, C. M., Lewin, J., & Kayser, M. (2016). Human age estimation from blood using mRNA, DNA methylation, DNA rearrangement, and telomere length [Article]. *Forensic Science International: Genetics*, 24, 33-43. <https://doi.org/10.1016/j.fsigen.2016.05.014>