

La discrimination des traces de sang sur une scène d'investigation : un soutien pour la sélection de traces pertinentes

par Valentin CARLIER*, Andy BÉCUE**
et Olivier DELÉMONT***

Résumé

Cet article est une revue de la littérature traitant des méthodes permettant de différencier des traces de sang, et en particulier en fonction de leur source (entre différentes espèces animales, entre sang périphérique et sang menstruel, entre différents individus humains). Cette problématique est de première importance pour les enquêteurs intervenant sur scène, car il leur est souvent nécessaire de sélectionner les traces qui seront prélevées pour analyse. Parmi les techniques couvertes, il est possible de citer la photographie, la morpho-analyse, l'utilisation des chiens policiers, l'imagerie hyperspectrale, la spectroscopie Raman, la chromatographie couplée à la spectrométrie de masse, l'immunodétection et la biologie moléculaire. Chaque méthode est brièvement décrite afin d'offrir aux lecteurs un aperçu du fonctionnement et du type de résultat obtenu. Une discussion critique permet de mettre en évidence les avantages et limites de chacune. Enfin, un projet de recherche actuellement en cours dans l'institution sur cette thématique est présenté.

Mots-clés: discrimination sources; investigation; scène de crime; traces de sang

Summary

This article is a review of the literature dealing with methods to differentiate traces of blood, and more specifically their source (between different animal species, between peripheral and menstrual bloods, between different human individuals). This issue is of primary importance for investigators intervening on stage, because it is often necessary for them to select the traces that will be taken for analysis. Techniques covered include photography, blood pattern analysis, trained dogs, hyperspectral imaging, Raman spectroscopy, chromatography coupled with mass spectrometry, immunodetection and molecular biology. Each method is briefly described on a technical aspect, in order to offer readers an overview of how it works, and the type of result obtained. A critical discussion highlights the advantages and limitations of each. Finally, a research project currently underway in the institution on this theme is presented.

Keywords: bloodstains; crime scene; discrimination of sources; investigation

* Etudiant doctorant à l'Ecole des Sciences Criminelles, université de Lausanne, Suisse.

** Professeur assistant à l'Ecole des Sciences Criminelles, université de Lausanne, Suisse.

*** Professeur ordinaire à l'Ecole des Sciences Criminelles, université de Lausanne, Suisse.

Préambule

En 1954, Marilyn Sheppard fut retrouvée morte dans sa demeure de l'Ohio (USA); elle avait succombé des suites de multiples blessures. Son mari, Sam Sheppard fut le suspect principal autour duquel l'enquête a gravité. Condamné pour meurtre au second degré la même année, il fut acquitté en 1966 [1-3].

Dans cette affaire, trente-cinq coups de couteau furent dénombrés sur le corps de Marylin Sheppard, et un très grand nombre de traces de sang furent retrouvées sur les lieux. Lors de l'investigation, des tests sérologiques furent effectués en laboratoire afin de déterminer le groupe sanguin de certaines de ces traces de sang; Marilyn Sheppard et Sam Sheppard étant respectivement de groupe O et A. Le service de médecine légale effectua une recherche du groupe sanguin ABO sur deux montres trouvées sur la scène de crime; la montre de Marylin Sheppard trouvée sur le sol, et la montre de Sam Sheppard retrouvée dans un sac récupéré sous un buisson. Malheureusement, les démarches de typage ABO ne donnèrent pas de résultat, donc une recherche des antigènes M, N et S (groupe sanguin MNS) fut alors effectuée [2]. Cette seconde recherche mis en exergue la présence de l'antigène M sur les deux montres. La portée de cette information était cependant limitée car près de 80 % de la population caucasienne possède cet antigène [4].

Lors du jugement en appel de 1966, Paul Kirk présenta des résultats supplémentaires, découlant d'autres tests sérologiques effectués sur d'autres traces de sang retrouvées sur les lieux du crime (sur des portes d'armoire). Selon ses conclusions, une de ces traces ne correspondait ni au sang de Marylin Sheppard, ni à celui de Sam Sheppard [1,3]. Ce fut là l'un des indices qui justifia, entre autres, l'acquiescement de M. Sheppard intervenu en 1966.

Au-delà de son importance dans la construction d'une culture collective autour des grandes affaires criminelles, l'enquête qui suivit le décès violent de Marylin Sheppard a attiré l'attention sur la difficulté inhérente à l'exploitation d'une scène d'investigation maculée de sang. Alors même qu'une large majorité des traces présentes sur cette scène découle des blessures infligées à la victime, une infime portion de ces traces peut potentiellement provenir d'une autre personne, par hypothèse, l'auteur de l'agression lui-même blessé dans le cours des événements. Alors même que les possibilités techniques actuelles d'exploitation de l'information véhiculée par les traces de sang surpassent largement celles en vigueur au moment de l'affaire Sheppard, la sélection sur la scène du délit des traces pertinentes à soumettre à ces analyses demeure un enjeu majeur. Près de 65 ans après l'homicide de Marylin Sheppard, la discrimination de traces de sang provenant de personnes différentes sur les lieux d'une investigation demeure un défi de taille pour les investigateurs de scènes de crime, qui ne possèdent pas à l'heure actuelle, de méthode propre pour les aider à sélectionner les traces de sang pertinentes de sources différentes.

Problématique

Les analyses génétiques sont actuellement très prisées pour leur sensibilité, leur portabilité récente, et leur capacité à fournir des informations génétiques détaillées sur la source du sang analysé. Cependant, en dépit des progrès technologiques qui accélèrent continuellement le processus, elles requièrent toujours un certain temps d'analyse, ainsi qu'une étape préalable de sélection et de prélèvement des traces d'intérêt. Ces deux critères peuvent s'avérer problématiques en présence d'un grand nombre de traces de sang. De plus, selon les juridictions, le délai entre l'envoi d'un prélèvement et la réception des résultats d'analyses peut être très long (phénomène connu sous le terme de *backlog*), ce qui peut être un frein à l'envoi des prélèvements. Cela même si parfois la procédure pénale régit le temps de traitement règlementaire [5]. Une telle situation rend pratiquement impossible l'analyse génétique de l'ensemble des traces, et la question du choix des traces à prélever pour une telle analyse se pose nécessairement.

Il serait donc pertinent, et éminemment précieux, de pouvoir disposer d'une «méthode» capable de discriminer des traces sanglantes directement sur la scène d'investigation, offrant une aide à la sélection des traces à prélever, en préambule à d'autres analyses, ou en renseignant sur le nombre minimum de sources (*i.e.* de personnes) à l'origine de ces traces.

Ce dernier point soulève un problème inhérent au travail des spécialistes de l'investigation de scènes de crime. Contraints par des ressources (financières, de temps, etc.) qui ne sont pas illimitées, ces spécialistes ne peuvent pas tout prélever, et doivent procéder à la sélection des prélèvements. D'un autre côté, ils doivent réaliser un certain nombre de prélèvements pour pouvoir dégager une information pertinente et utile à l'enquête à partir des traces récoltées. Ils sont donc confrontés à une décision difficile – quelle quantité et quelles traces prélever – qui prend alors la forme d'un compromis souvent délicat à trouver. Dans le cas de traces de sang, le choix du prélèvement intervient souvent dans le cadre de la reconstruction des événements. En s'appuyant sur les indices détectés, sur la localisation et les configurations des traces de sang, sur les informations à disposition par rapport au déroulement des faits, voire sur son expérience, le spécialiste de l'exa-

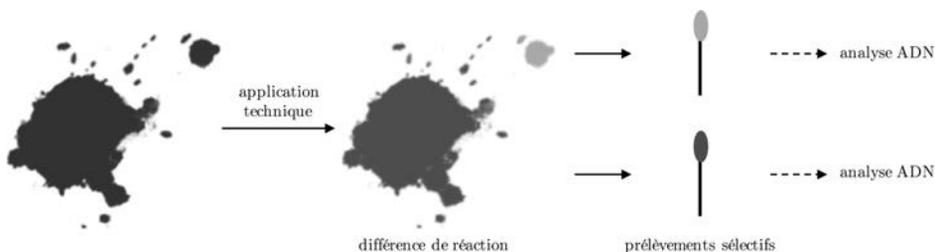


Figure 1: Représentation de la problématique associée à la discrimination des traces de sang de sources différentes.

men de scène de crime décide quelles sont les traces qu'il va prélever en vue d'une analyse ultérieure. Une analyse morphologique de la distribution des traces de sang (aussi appelée morpho-analyse) ou la présence d'une trace isolée qui, par raisonnement, peut interpeler sur l'action qui l'a produite, peuvent parfois orienter une telle décision. Néanmoins, une méthode permettant plus généralement de discriminer, au moins en partie, des traces de sang de sources/personnes différentes pourrait apporter un soutien essentiel aux intervenants sur la scène d'investigation (Figure 1). Le traitement de toutes ces informations sur la scène de crime permet également d'améliorer la démarche de triage des prélèvements à envoyer en laboratoire d'analyse génétique dès l'investigation de la scène de crime.

Approches possibles pour la discrimination des traces de sang

Le tableau 1 offre un aperçu des différentes approches qui permettent de différencier des spécimens de sang selon leurs sources. Les recherches mentionnées font référence à la discrimination de spécimens de sang de tous types, qu'ils soient d'origine animale, dont humaine, ou de type périphérique ou menstruel.

La photographie

Aucune étude n'a pour l'instant été publiée dans laquelle l'utilisation d'un appareil photographique a permis de différencier la source de différentes traces de sang par l'analyse des couleurs des traces de sang. Toutefois, la photographie est un moyen incontournable de documentation de la scène de crime et permet de sauvegarder, puis d'illustrer des différences morphologiques entre des traces de sang.

La morpho-analyse des traces de sang

L'étude des différences morphologiques ou de conformation de traces est à la base du domaine de la morpho-analyse des traces de sang (*Blood Pattern Analysis* – BPA) [6,7]. Cette méthode est susceptible de fournir des informations sur la production des traces de sang (par exemple, sa trajectoire, la distance de projection) et sur la ou les victime-s (par exemple, sa position relative). En fonction des motifs de traces de sang retrouvés, il est possible d'associer un ensemble de traces de sang à une même action, ou au contraire, de suggérer que des traces de sang spatialement proches découlent d'actions distinctes. D'après ces informations, il est alors possible de distinguer des motifs d'impact de sang différents et incohérents pour orienter des prélèvements.

Que la morpho-analyse soit effectuée directement sur les lieux d'investigation ou par l'intermédiaire de photographies, cette méthode peut contribuer à la sélection de traces de sang pertinentes. Cependant, dans des cas complexes, comme lors d'agressions de multiples victimes ou survenant

Approche	Technique	Différenciation	Différences entre les fluides	Conclusion	Référence
Imagerie hyperspectrale	Proche infrarouge (1000–2500 nm)	3 sangs humain et un de bovin	Post-traitement avec ajout de couleurs	Différenciation des quatre sources	[23]
	Raman	Sang humain, canin, félin Sang humain menstruel et périphérique	Sang humain contient plus de glucose, d'acide ascorbique et d'insuline Sang périphérique : tryptophane, hème, amides tertiaires Sang menstruel : amides primaires	Différenciation des sangs	[37] [43]
Spectroscopie		Sang d'animaux, dont homme	Spectres et tests statistiques		[34,36,38,39]
	SPME-GC/MS	Sang humain	Spectres chromatographiques et tests statistiques	Différenciation des sangs	[52]
Chromatographie et spectrométrie de masse	Détermination groupe sanguin	Sang humain (tests paternité)	Selon le groupe sanguin (ABO principalement)		[55,56]
	Absorption-éluition ; Test d'agglutination	Sang humain	Selon le groupe sanguin	Différenciation des sangs	[57–60]
Immunologique (anticorps)	Immunocytochimie, ELISA	Sang humain (sang périphérique et menstruel)	Récepteur α à l'œstrogène et métalloprotéinases matricielles (MMP) 14 spécifiques au sang menstruel	Identification du sang menstruel par rapport au sang périphérique et des sécrétions vaginales	[59,62–64] [65]
	Électrophorèse sur gel d'agarose	Sang humain (sang menstruel, sécrétions vaginales)	Sang menstruel et sécrétions vaginales : lactate déshydrogénase (LDH) de formes 4 et 5 Plusieurs molécules spécifiques du sang menstruel, dont MMP, Différence dans le degré de méthylation des gènes	Différenciation selon le poids moléculaire des protéines	[66,67]
Biologie moléculaire	PCR			Identification du sang menstruel par rapport au sang périphérique et des sécrétions vaginales	[68–70]
	PCR + méthylation Kits d'analyses ADN ; ParaDNA®	Sang humain	Profils génétiques	Différenciation des sangs	[71] [72–79]

Tableau 1: Résumé des approches et techniques reportées dans la littérature et ayant pour but de différencier des spécimens de sang.

dans des lieux exigus, il devient difficile d'associer des groupes de traces sanglantes à différents protagonistes.

Les brigades canines

Le recours aux chiens policiers est envisageable dans plusieurs domaines [8,9], tels que la recherche de stupéfiants, d'explosifs ou de produits inflammables, de cadavres et de fluides biologiques, de personnes disparues ou en fuite. Selon le cas de figure, soit le chien dispose d'une odeur de référence (comme dans la recherche de stupéfiants ou de cadavres), soit il n'en dispose pas et c'est alors au maître chien de la définir (comme pour la recherche de personnes disparues). Les chiens policiers peuvent être formés pour tenter de remonter à la localisation d'une trace, de sang par exemple, dans un environnement mal délimité ou de grande dimension, comme à l'extérieur par exemple.

Les chiens sont utilisés pour rechercher des traces car ils sont 20 à 60 fois plus sensibles aux odeurs que les humains. Les odeurs sont générées par certaines molécules appelées composés organiques volatils (VOCs); molécules qui sont détectées par les chiens [9,11-13]. Ces composés sont toutefois dégradés par les conditions climatiques et environnementales, ce qui rend difficile leur détection [11,12]. Les chiens policiers spécialisés dans la recherche de sang vont marquer un endroit où la présence de sang est supposée. Dès lors, il est nécessaire d'effectuer un test indicatif (test chimique, test immunochromatographique) pour confirmer ou infirmer la présence de sang [9].

Par rapport à l'identification de personne, il est possible de dresser le chien pour qu'il compare une odeur de référence avec des odeurs de comparaison qui lui sont proposées. Il indique alors si l'une d'elles correspond à l'odeur de référence. Il s'agit du domaine de l'odorologie (identification lines-up) [8,14]. Cependant, aucune recherche faisant état de l'utilisation des chiens policiers pour différencier des traces de sang de différentes sources n'a été trouvée dans la littérature.

L'imagerie hyperspectrale

Une analyse comparative de traces de sang peut être menée en exploitant leurs propriétés optiques. L'imagerie hyperspectrale consiste à scanner une surface et à associer à chaque pixel de l'image une information spectrale (le plus souvent, issue de la lumière réfléchie). Le résultat d'une telle analyse se présente sous la forme d'un «data-cube», constitué de trois niveaux d'information (x et y, les coordonnées spatiales; et z, l'information spectrale associée) [15]. L'intérêt de l'imagerie hyperspectrale réside dans la possibilité d'analyser par la suite ces données brutes, en identifiant des caractéristiques spectrales propres à certaines substances/fluides, et en mettant en évidence leur répartition spatiale. Il devient ainsi possible de visualiser de manière sélective les pixels présentant une caractéristique spectrale identifiée comme pertinente. Les images obtenues par imagerie hyperspectrale

sont donc des reconstructions mathématiques issues du traitement des informations spectrales collectées. Pour la plupart, de telles images n'auraient pas pu être obtenues par photographie conventionnelle.

Des applications tirant partie de l'imagerie hyperspectrale ont déjà été proposées dans de nombreux champs d'étude de la science forensique: analyse des encres et documents [16,17], des traces papillaires [15,18,19], de fluides biologiques [20] ou de microtraces [21,22]. Concernant la problématique des traces de sang, l'imagerie hyperspectrale peut être utilisée pour la détection des traces [15,23-28], pour leur datation [28-30], ou pour la discrimination de leurs sources [31]. Cette dernière problématique a été l'objet de l'étude publiée en 2012 par Kuula *et al.* [31]. Quatre traces de sang d'origines différentes (trois provenant d'êtres humains et une de bovin) ont été déposées côte à côte sur du denim et analysées par imagerie hyperspectrale dans le domaine des infrarouges courts (1000-2500 nm). En considérant les différences spectrales entre les pixels, les auteurs ont pu visuellement différencier les quatre traces de sang. Au-delà des capacités intrinsèques de cette approche, l'application de l'imagerie hyperspectrale comporte plusieurs limitations qui vont être discutées un peu plus loin.

La spectroscopie Raman

Il est possible de caractériser le sang en exploitant ses propriétés de diffusion de la lumière. Lorsqu'une surface est excitée à l'aide d'un laser monochromatique, la lumière émise est diffusée, d'une part selon un mode dit élastique, et d'autre part, selon un mode dit inélastique. Le décalage entre les modes élastique et inélastique pour une longueur d'onde de laser donnée permet de caractériser le matériau composant la surface. Ceci constitue le principe de base de la spectroscopie Raman. Cette dernière est très utilisée pour l'analyse des polymères organiques, par exemple dans les traces de peintures [32-34] ou dans les fibres [35-37].

Les différences de composition entre des spécimens de sang provenant d'espèces ou d'âges différents peuvent être mises en évidence par le biais de leurs spectres Raman. Plusieurs études ont fait état de l'application de la spectroscopie Raman dans le but de caractériser la composition du sang humain [38-41], de comparer et de différencier du sang de différentes espèces, dont du sang humain [20,42-47], ou de dater des traces de sang [48-50]. La spectroscopie Raman a notamment été utilisée pour différencier le sang menstruel du sang périphérique, distinction qui peut s'avérer décisive pour faire la différence entre des cas d'infanticides et de fausses couches avec des cas de violences corporelles. Les résultats d'une étude [51] montrent que les spectres de sang périphérique et menstruel présentent des pics de différentes intensités selon le type de sang. Ainsi, le sang périphérique présente des pics de plus grande intensité pour le tryptophane, l'hème et les amides tertiaires, alors que le sang menstruel présente un pic de plus grande intensité pour les amides primaires. L'association de l'analyse Raman avec un modèle statistique permettrait, selon les auteurs, de différencier ces deux types de sang.

Chromatographie gazeuse/liquide couplée à la spectrométrie de masse (GC/LC-MS)

La composition du sang peut faire l'objet d'une analyse chimique à l'aide des techniques de chromatographies, couplées à un spectromètre de masse. La chromatographie, qu'elle s'effectue en milieu gazeux (GC) ou liquide (LC), permet de séparer les composés du mélange, que ce soit du sang complet, du plasma ou du sérum (1); le spécimen analysé pouvant être solide ou liquide. Le spectromètre de masse (MS), couplé à la méthode séparative, permet de détecter chacun des composés, et fournit des informations structurales sur ces composés qui permet souvent leur identification. Très largement appliquées dans le domaine de l'analyse instrumentale, et en particulier dans différents champs d'applications de la science forensique, la GC-MS et la LC-MS permettent de mettre en évidence des différences qualitatives et quantitatives dans la composition de spécimens. Appliquées à des spécimens de sang, elles ont ainsi été employées pour en déterminer la composition [11,52-58], en estimer l'âge [59,60], ou pour discriminer du sang provenant de différents individus [61].

En ce sens, une étude a porté sur l'analyse comparative du sang de trente-et-une personnes a été menée par micro-extraction sur phase solide (SPME) couplée à une GC-MS [61]. Le traitement des résultats au moyen de méthodes multivariées d'analyse de données a permis de distinguer les échantillons de sang de chacun des individus.

L'immunologie

Les antigènes sanguins peuvent également servir de marqueurs pour différencier du sang de différentes personnes. Ils sont principalement détectés par la biais de réactions avec des anticorps. La majorité des antigènes sanguins se retrouvent au niveau des membranes cellulaires des globules rouges (Figure 2). Il est possible de les regrouper au travers de différentes caractéristiques communes, en des ensembles appelés «groupes sanguins». Par exemple, le groupe sanguin le plus connu est le système ABO qui possède deux principaux antigènes: A et B. Plus de trois cents antigènes sanguins ont été recensés et classifiés [62], et leur distribution varie au sein d'une population.

Dans les années 1970-1980, la recherche de certains antigènes sanguins servait de base aux tests de paternité [63], ou de prémisses pour identifier une source de sang [64-67], comme dans le cas *Sheppard* présenté en préambule. Depuis, le développement de nouvelles techniques aidant, les analyses génétiques, plus spécifiques, sélectives et informatives, ont remplacé les tests de groupage sanguin.

Au début de la recherche sur la détection des antigènes sanguins dans les traces de sang, plusieurs antigènes sanguins (A1, A2, B, H, M et N) ont été testés à l'aide de techniques d'immunocytochimies reposant sur la coloration cellulaire basée sur l'utilisation d'anticorps [68-74]. Quelques recherches [68-70] montrent une certaine stabilité des antigènes A, B et H dans le temps lorsque des traces de sang ont été déposées sur des supports différents et conservées en faisant varier la température.

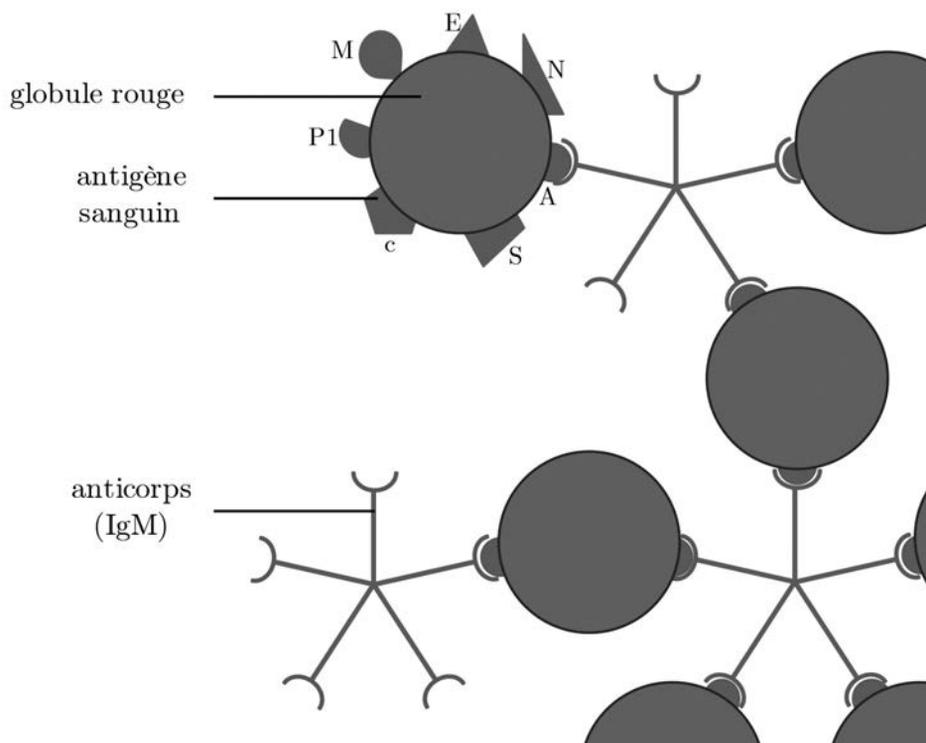


Figure 2: Schéma de la réaction (agglutination cellulaire) entre un antigène sanguin situé à la surface de globules rouges et un anticorps correspondant de type immunoglobuline M (IgM). Sur le schéma, l'anticorps représenté est une IgM anti-A (qui cible les antigènes A).

La recherche des antigènes sanguins dans les traces de sang se profile donc comme une méthode intéressante pour distinguer différentes sources. Comme la distribution de l'ensemble des antigènes sanguins varie dans une population, elle peut servir de base à la discrimination des traces de sang issues de personnes différentes. Mais ce potentiel semble ne pas avoir été exploité pour le moment; les études trouvées se concentrent sur l'analyse d'antigènes sanguins dans le sang (ou trace de sang), sans toutefois se prononcer sur leur utilité pour la différenciation des sources.

La biologie moléculaire

Bien évidemment, il est également possible de procéder à une discrimination d'échantillons de sang par des techniques de biologie moléculaire qui se focalisent principalement sur l'analyse des protéines ou de l'ADN.

Certaines protéines existent sous différentes formes (isotypes) qui peuvent être séparées selon leur poids moléculaire sur un gel adéquat. C'est notamment de cette manière qu'il a été possible de déterminer que les isotypes 4 et 5 de

la lactate déshydrogénase (2) permettaient de distinguer le sang menstruel du sang périphérique [75,76].

D'autres recherches se sont concentrées sur l'étude de gènes spécifiques à certains tissus. Après amplification par réaction en chaîne par polymérisation (PCR), une analyse de segments d'ADN peut mettre en exergue la présence de certains gènes qui sont spécifiques au sang menstruel par rapport au sang périphérique [77-79], tels que les gènes des métalloprotéinases matricielles (MMP) (3).

Selon les gènes, et l'influence de l'environnement sur l'expression de l'ADN (phénomène appelé épigénétique), certaines molécules peuvent aussi être modifiées par l'ajout d'un groupe chimique; c'est le cas par exemple de la méthylation de l'ADN, où un groupe méthyle (-CH₃) est ajouté sur la cytosine (4). En étudiant le taux de méthylation de certains gènes, et selon les fluides, il a également été possible de différencier le sang périphérique du sang menstruel [80].

Par rapport à la problématique de la différenciation de sources de traces de sang, les analyses génétiques permettent d'extraire un profil génétique de traces et ainsi de discriminer leurs sources avec un taux de confiance élevé [81,82]. De très nombreux kits commerciaux existent et sont utilisés de manière quotidienne par les laboratoires de génétique forensique. Ces analyses requièrent une instrumentation et des manipulations qui font qu'elles sont principalement appliquées en laboratoire. Les progrès techniques ont permis le développement de plateformes (trans)portables commerciales (*ParaDNA*®, *RapidHIT*®, ...) ou institutionnelles qui rendent possible la mise en œuvre d'analyses génétiques *in situ* [83-88]; de telles analyses requièrent toutefois encore un intervalle de temps allant de plusieurs dizaines de minutes à quelques heures pour obtenir un résultat à partir d'un spécimen.

Discussion critique

Lors de l'investigation d'une scène de crime où plusieurs traces de sang sont présentes, il est nécessaire de sélectionner les traces de sang pertinentes. La décision des prélèvements doit donc s'effectuer sur les lieux, rapidement. Bien qu'il existe une kyrielle de méthodes permettant de distinguer des traces de sang provenant de sources différentes, aucune d'entre elle n'est réellement adaptée à une application directe sur les lieux pour orienter la sélection des prélèvements. Il serait donc intéressant de développer une méthode simple, rapide, pouvant être déployée sur les lieux de manière extensive (c'est-à-dire permettant de couvrir l'ensemble des traces de sang) et en minimisant les contraintes matérielles, comme éviter de transporter du matériel lourd et encombrant.

D'autre part, l'un des facteurs déterminants à considérer est le pouvoir discriminatoire de la méthode utilisée; ce dernier doit être élevé afin d'être en capacité de discriminer des sources différentes. Avec une application directe-

ment sur les lieux, le pouvoir discriminatoire de la méthode ne pourra cependant pas être aussi élevé que celui des méthodes utilisées en laboratoire, comme avec l'analyse de l'ADN. En effet, en laboratoire l'accès au matériel est optimal, les contraintes temporelles sont moindres et les spécimens sont plus facilement préparés. L'utilisation d'une méthode sur les lieux avec un pouvoir discriminatoire plus faible n'est en soi pas un frein au développement d'une telle méthode, car le but est d'améliorer la sélection des prélèvements des traces de sang pour permettre à la méthode utilisée en laboratoire de déployer toute l'information véhiculée par les traces de sang. Ces deux approches, sur le terrain et en laboratoire, sont à considérer comme complémentaires.

En fonction de l'information qu'elles permettent d'obtenir, de leurs avantages et inconvénients, ces techniques ont été classées pour leur capacité à être déployées sur scène afin de discriminer des traces de sang:

- immunologie (anticorps);
- imagerie hyperspectrale;
- spectroscopie Raman;
- chromatographie couplée à la spectrométrie de masse;
- biologie moléculaire et immunocytochimie;
- brigade canine.

Un autre critère essentiel qui justifie ce classement est la capacité de chacune de ces méthodes à pouvoir analyser des traces de sang *in situ*, afin de discriminer des traces de sang, sans avoir recours à un prélèvement préalable.

La spectroscopie Raman, la spectrométrie de masse, les techniques de biologie moléculaires et l'immunocytochimie nécessitent toutes un prélèvement préalable pour analyser la trace. Cette étape soulève un problème, car cela nécessite de sélectionner les traces à prélever, de les préparer pour l'analyse, de les analyser et, selon les résultats obtenus, de répéter ces opérations pour d'autres traces. La préparation des échantillons sur la scène de crime n'est pas optimale du fait du temps et du matériel nécessaires, ce qui ne permet pas d'envisager une analyse systématique et exhaustive de toutes les traces par l'une de ces méthodes.

Concernant l'utilisation des chiens policiers, avec la méthode de *lines-up*, il est également nécessaire d'effectuer un prélèvement de la trace qui est généralement mise dans un bocal en verre. Il pourrait être envisagé de modifier les techniques de dressage pour entraîner le chien à marquer des traces de sang de sources différentes sans avoir à effectuer un prélèvement. Ceci demanderait une étude très approfondie pour vérifier que les composés volatils spécifiques à chaque individu ne soient pas camouflés par des odeurs plus fortes et persistantes liées à l'environnement et à la détérioration de la trace de sang. Cela demanderait une réelle prise de contact avec les différentes brigades canines pour connaître la faisabilité de cette option. Aussi, il faut prendre en compte le temps de la formation du chien (au minimum deux ans, pour les brigades des cantons suisses) et que les chiens interviennent directement sur les lieux, ce qui augmente le risque de contamination et de destruction des traces de sang.

À l'inverse, certaines techniques ont démontré leur capacité à pouvoir fournir une information sur les traces, sans prélèvement préalable de ces dernières. C'est le cas de certains dispositifs portatifs, tels que l'imagerie hyperspectrale. Sur le papier, cette technologie apparaît comme idéale car non-destructive et capable de mettre en évidence des différences de composition sur base d'une seule information spectrale mesurée. Cependant, il est nécessaire de soustraire le signal du support, qui est pris en compte dans les spectres. La zone d'analyse est également limitée par la caméra de l'imagerie hyperspectrale; de multiples analyses doivent être effectuées pour couvrir l'ensemble des surfaces comportant des traces de sang. L'étape de post-traitement des données peut être très laborieuse et nécessite souvent l'application d'étapes de traitements statistiques d'analyse multivariée qui prennent du temps et requièrent des connaissances. De plus, le matériel requis étant souvent onéreux et le nombre d'études rapportant leur utilisation à la problématique de différenciation du sang étant assez limitée, il est difficile d'envisager un déploiement étendu sur des cas réels à l'heure actuelle.

Bien que les études mentionnant l'utilisation d'anticorps indiquent une étape importante lors de la préparation des échantillons, l'application des anticorps sur la scène de crime peut également être envisagée en considérant une méthode ne nécessitant pas de prélèvement préalable et de matériel encombrant. Il serait ainsi possible de réaliser des tests sérologiques *in situ* afin de déterminer le groupe sanguin d'une trace de sang. Ces tests sérologiques se baseraient sur l'utilisation d'une membrane (en nitrocellulose par exemple) sur laquelle une solution d'anticorps aurait été déposée au préalable. Il serait alors possible d'appliquer la membrane sur une trace de sang afin de visualiser une réaction lors de la formation des complexes anticorps-antigènes sanguins. En cas d'absence de l'antigène sanguin dans la trace de sang, aucune réaction ne serait visible sur le support.

Un procédé similaire existe pour la détection et la localisation de traces de salive sur des textiles; il s'agit des feuilles de Phadebas® [89-91]. Les feuilles sont composées du substrat d'une enzyme salivaire, l'alpha-amylase. Lors de l'application du test, une réaction chimique s'opère et des taches de couleur bleu apparaissent sur la feuille de Phadebas® en présence de l'enzyme sur la trace. Précisons qu'il est nécessaire d'humidifier la feuille de Phadebas®, ainsi que le textile avant l'application du test; cette étape se réalise aisément à l'aide d'un spray.

Une des principales difficultés liée à la présence de sang sous forme de traces sur une scène d'investigation, découle de l'état physique du sang, qui n'est pas liquide mais souvent sec ou coagulé. Ce changement d'état inhibe l'accès des anticorps aux antigènes sanguins et ainsi entrave l'efficacité de la réaction antigène-anticorps. Traditionnellement, les techniques sérologiques de groupage sanguin sont appliquées sur des échantillons de sang liquide, conservés avec un anticoagulant. Une solubilisation partielle du sang séché peut donc être envisagée, par exemple par l'utilisation de solutions isotoniques ou l'emploi de médicaments destinés à briser les caillots sanguins. Cette étape de solubilisation ne semble pas nécessaire pour l'utilisation d'un Raman portable ou de l'imagerie

hyperspectrale, du fait que ces instruments procèdent à une analyse de surface sans contact direct. Il est tout de même important de vérifier si le séchage ou la coagulation des traces de sang n'a pas une influence délétère sur les spectres obtenus, dans la perspective d'une discrimination de la source des traces.

Projet en cours à l'École des Sciences Criminelles (ESC)

Dans ce contexte, un projet de recherche a été mis en place à l'ESC afin de proposer une méthode de discrimination des traces de sang directement sur la scène de crime. Nous avons pris le parti de suivre la piste immunologique avec l'utilisation d'anticorps pour cibler les antigènes sanguins. Cette décision se fonde sur la disponibilité de solutions d'anticorps peu onéreuses et sur la relative facilité d'utilisation de ces méthodes. En tenant compte également du fait qu'il existe plus de trois cents antigènes sanguins et que leur distribution varie selon les individus, cette piste de recherche nous est apparue prometteuse.

D'un point de vue immunologique, l'utilisation d'anticorps permettrait de visualiser une réponse positive à la présence d'un antigène sanguin par le processus de l'agglutination cellulaire. Certains types d'anticorps, tels que les immunoglobulines M (IgM), permettent de créer des ponts entre les cellules et donc de les rapprocher les unes par rapports aux autres (Figure 2). Ce processus se nomme hémagglutination (ou agglutination) et est directement visible à l'œil nu. En ajoutant des anticorps anti-A, les cellules sanguines possédant l'antigène A se regroupent entre elles et s'isolent du plasma sanguin. Au contraire, les cellules sanguines de type B ou O ne s'agglutinent pas en présence des anticorps anti-A. Une telle méthode permettrait donc de distinguer des traces de sang produisant des réactions antigènes-anticorps différentes.

Deux étapes sont envisagées au niveau de la procédure d'application des anticorps sur le terrain (Figure 3):

- la solubilisation partielle du sang séché à l'aide d'un spray, afin de promouvoir l'accès aux molécules ciblées;

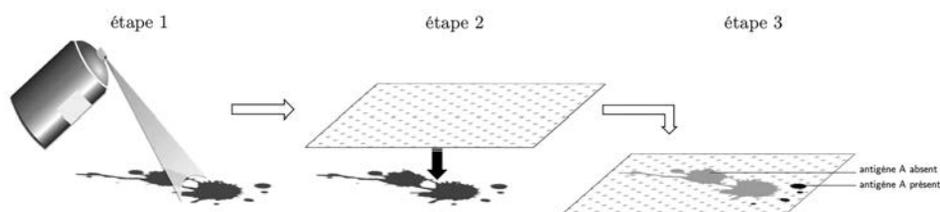


Figure 3: Schématisation de la méthode proposée.

étape 1 – pulvérisation d'une solution permettant de solubiliser les traces de sang;

étape 2 – application d'une membrane sur laquelle ont été déposés des anticorps;

étape 3 – visualisation des résultats sur la membrane.

- la mise en contact des antigènes contenus dans le sang avec les anticorps. Pour cela, il est envisagé d'appliquer une membrane sur les traces de sang, sur laquelle la solution d'anticorps a été déposée, ou imprimée au préalable.

À la suite de la fixation des antigènes sanguins sur les anticorps déposés sur la membrane, il est attendu d'obtenir un résultat visuel sur la membrane. En effet, les complexes anticorps-antigènes sanguins peuvent soit être visibles, soit marquer un front et empêcher la diffusion du sang sur la membrane.

Il n'est pas exclu que certains individus présentent la même configuration d'antigènes sanguins (si leur nombre est limité à ceux ciblés par le test immunologique). Dans ce cas de figure, il ne sera pas possible de différencier leur sang avec l'approche immunologique. Cette limitation est inévitable car intrinsèque à la distribution des antigènes sanguins dans une population humaine. Aussi, il n'est pas envisageable d'analyser un grand nombre d'antigènes différents sur une même trace de sang. En effet, l'application de plusieurs membranes semble difficile à mettre en œuvre; et l'interprétation des résultats risque certainement de devenir complexe. Enfin, des tests préliminaires ont montré que des profils génétiques de bonne qualité peuvent être obtenus après l'utilisation d'anticorps sur des traces de sang, ce qui suggère que ces derniers n'auraient pas un effet délétère sur l'exploitation de l'information génétique. De plus amples recherches devraient toutefois être encore menées pour confirmer cette observation.

L'utilisation d'anticorps sur la scène se profile comme une aide potentielle à la sélection de traces dans des cas où des traces de sang de plusieurs contributeurs se mêlent. Des efforts de recherche sont en cours pour tenter de tracer la voie vers le développement d'une méthode allant dans ce sens. Mais cela ne devra pas retenir les intervenants de continuer à s'appuyer sur leur expérience ou sur une approche raisonnée de la scène d'investigation.

Conclusion

Une des problématiques auxquelles sont confrontés les investigateurs de scène de crime est en lien direct avec la sélection des traces et objets à prélever, quelle que soit leur nature. En présence d'un grand nombre de traces de sang, le spécialiste en scènes d'investigation doit effectuer un choix des traces à prélever en vue d'une analyse génétique. Ce choix est essentiellement guidé par la localisation des traces de sang, leur disposition, leur morphologie, la reconstruction hypothétique des événements que le spécialiste se fait par raisonnement, et l'expérience du spécialiste. L'objectif étant de prélever les traces de sang pertinentes par rapport à l'événement, ce qui implique en particulier de pouvoir transmettre pour des analyses génétiques des spécimens de toutes les personnes qui ont pu déposer du sang dans le cours des événements. Il s'agit très certainement de la ou des personnes agressées, mais également de l'agresseur qui a possiblement pu être blessé dans l'action.

Il paraît pertinent de développer une méthode permettant d'assister la démarche de sélection des traces par la discrimination directement sur la scène d'investigation des traces de sang provenant de personnes différentes. L'information découlant d'une telle méthode pourrait être double: d'une part de connaître le nombre minimum de sources de sang, et d'autre part de localiser les prélèvements pertinents. Un bénéfice supplémentaire de cette méthode serait de réduire le temps et la réflexion quant au triage des prélèvements, à savoir quels prélèvements envoyer en analyse génétique.

Parmi les pistes envisagées, une méthode permettant de visualiser les différences de contenu en antigènes sanguins paraît prometteuse. Ce constat se fonde sur les diverses contraintes relatives à l'investigation d'une scène de crime, qui requièrent une méthode rapide et simple, nécessitant une infrastructure matérielle restreinte, à un coût raisonnable, et capable de fournir des résultats ne nécessitant pas de longues démarches ultérieures de traitement ou d'interprétation.

Bibliographie

- [1] P. Holmes, *Retrial : murder and Dr. Sam Sheppard*, Bantam Books, 1966.
- [2] AMSEC International 02, *The Marilyn Sheppard Murder Summarized*. Criminal Profiling Reports. Paper 5, (1995).
- [3] C.L. Cooper, S.R. Sheppard, *Mockery of Justice: The True Story of the Sheppard Murder Case*, Northeastern University Press, 1995.
- [4] M.E. Reid, C. Lomas-Francis, M.L. Olsson, *The Blood Group Antigen FactsBook*, Elsevier Science, 2012.
- [5] Ordonnance du DFJP sur les exigences de prestations et de qualité requises pour les laboratoires forensiques d'analyse d'ADN, 2005. <https://www.admin.ch/opc/fr/classified-compilation/20050637/index.html> (accessed May 3, 2018).
- [6] S.H. James, P.E. Kish, T.P. Sutton, *Principles of Bloodstain Pattern Analysis: Theory and Practice*, CRC press, 2005.
- [7] A.Y. Wonder, *Bloodstain Patterns: Identification, Interpretation and Application*, Elsevier Science, 2014.
- [8] A. Schoon, R. Haak, *K9 Suspect Discrimination: Training and Practicing Scent Identification Line-Ups*, Dog Training Press, 2002.
- [9] B. Chilcote, L. Rust, K.D. Nizio, S.L. Forbes, Profiling the scent of weathered training aids for blood-detection dogs, *Sci. Justice*. 58 (2018) 98-108.
- [10] L. Dilbeck, Use of Bluestar Forensic in lieu of luminol at crime scenes, *J. Forensic Identif.* 56 (2006) 706-720.
- [11] S.L. Forbes, L. Rust, K. Trebilcock, K.A. Perrault, L.T. McGrath, Effect of age and storage conditions on the volatile organic compound profile of blood, *Forensic Sci. Med. Pathol.* 10 (2014) 570-582.
- [12] L. Rust, K.D. Nizio, S.L. Forbes, The influence of ageing and surface type on the odour profile of blood-detection dog training aids, *Anal. Bioanal. Chem.* 408 (2016) 6349-6360.
- [13] L.E. DeGreeff, Use of canines to detect dried human blood and instrumental methods for determination of odor profiles, in: *Proc. Am. Acad. Forensic Sci.*, 2013.
- [14] S. Marchal, O. Bregeras, D. Puaux, R. Gervais, B. Ferry, Rigorous Training of Dogs Leads to High Accuracy in Human Scent Matching-To-Sample Performance, *PLOS ONE*. 11 (2016).
- [15] G.J. Edelman, E. Gaston, T.G. van Leeuwen, P.J. Cullen, M.C.G. Aalders, Hyperspectral imaging for non-contact analysis of forensic traces, *Forensic Sci. Int.* 223 (2012) 28-39.

- [16] C.S. Silva, M.F. Pimentel, R.S. Honorato, C. Pasquini, J.M. Prats-Montalbán, A. Ferrer, Near infrared hyperspectral imaging for forensic analysis of document forgery, *The Analyst*. 139 (2014) 5176-5184.
- [17] G. Reed, K. Savage, D. Edwards, N. Nic Daeid, Hyperspectral imaging of gel pen inks: An emerging tool in document analysis, *Sci. Justice*. 54 (2014) 71-80.
- [18] N.J. Crane, E.G. Bartick, R.S. Perlman, S. Huffman, Infrared Spectroscopic Imaging for Noninvasive Detection of Latent Fingerprints, *J. Forensic Sci.* 52 (n.d.) 48-53.
- [19] E. Bartick, R. Schwartz, R. Bhargava, M. Schaeberle, D. Fernandez, I. Levin, Spectrochemical Analysis and Hyperspectral Imaging of Latent Fingerprints, (n.d.) 4.
- [20] F. Zapata, M.Á. Fernández de la Ossa, C. García-Ruiz, Emerging spectrometric techniques for the forensic analysis of body fluids, *TrAC Trends Anal. Chem.* 64 (2015) 53-63.
- [21] K. Flynn, R. O'Leary, C. Lennard, C. Roux, B.J. Reedy, Forensic Applications of Infrared Chemical Imaging: Multi-Layered Paint Chips, *J. Forensic Sci.* 50 (2005) 1-10.
- [22] K. Flynn, R. O'Leary, C. Roux, B.J. Reedy, Forensic Analysis of Bicomponent Fibers Using Infrared Chemical Imaging, *J. Forensic Sci.* 51 (n.d.) 586-596.
- [23] G.J. Edelman, T.G. Leeuwen, M.C. Aalders, Visualization of latent blood stains using visible reflectance hyperspectral imaging and chemometrics, *J. Forensic Sci.* 60 (2015).
- [24] B. Li, P. Beveridge, W.T. O'Hare, M. Islam, The application of visible wavelength reflectance hyperspectral imaging for the detection and identification of blood stains, *Sci. Justice*. 54 (2014) 432-438.
- [25] Hyperspectral Imaging provides detection and high contrast imaging of biological stains, *ChemImage*, 2015.
- [26] J. Yang, D.W. Messinger, R.R. Dube, Bloodstain detection and discrimination impacted by spectral shift when using an interference filter-based visible and near-infrared multispectral crime scene imaging system, *Opt. Eng.* 57 (2018).
- [27] S. Cadd, B. Li, P. Beveridge, W.T. O'Hare, A. Campbell, M. Islam, Non-contact detection and identification of blood stained fingerprints using visible wavelength reflectance hyperspectral imaging: Part 1, *Sci. Justice*. (2016).
- [28] G. Edelman, V. Manti, S.M. van Ruth, T. van Leeuwen, M. Aalders, Identification and age estimation of blood stains on colored backgrounds by near infrared spectroscopy, *Forensic Sci. Int.* 220 (2012) 239-244.
- [29] B. Li, P. Beveridge, W.T. O'Hare, M. Islam, The age estimation of blood stains up to 30 days old using visible wavelength hyperspectral image analysis and linear discriminant analysis, *Sci. Justice*. 53 (2013) 270-277.
- [30] G. Edelman, T.G. van Leeuwen, M.C.G. Aalders, Hyperspectral imaging for the age estimation of blood stains at the crime scene, *Forensic Sci. Int.* 223 (2012) 72-77.
- [31] J. Kuula, I. Pölonen, H.-H. Puupponen, T. Selander, T. Reinikainen, T. Kalenius, H. Saari, Using VIS/NIR and IR spectral cameras for detecting and separating crime scene details, *International Society for Optics and Photonics*, 2012.
- [32] C. Muehlethaler, G. Massonnet, P. Esseiva, The application of chemometrics on Infrared and Raman spectra as a tool for the forensic analysis of paints, *Forensic Sci. Int.* 209 (2011) 173-182.
- [33] J.M. Chalmers, H.G.M. Edwards, M.D. Hargreaves, *Infrared and Raman Spectroscopy in Forensic Science*, John Wiley & Sons, 2012.
- [34] J.D. Gelder, P. Vandenabeele, F. Govaert, L. Moens, Forensic analysis of automotive paints by Raman spectroscopy, *J. Raman Spectrosc.* 36 (n.d.) 1059-1067.
- [35] J.V. Miller, E.G. Bartick, Forensic Analysis of Single Fibers by Raman Spectroscopy, *Appl. Spectrosc.* 55 (2001) 1729-1732.
- [36] I.P. Keen, G.W. White, P.M. Fredericks, Characterization of Fibers by Raman Microprobe Spectroscopy, *J. Forensic Sci.* 43 (1998) 1609-1614.
- [37] G. Massonnet, P. Buzzini, G. Jochem, M. Stauber, T. Coyle, C. Roux, J. Thomas, H. Leijenhorst, Z. Van Zanten, K. Wiggins, C. Russell, S. Chabli, A. Rosengarten, Evaluation of Raman

Spectroscopy for the Analysis of Colored Fibers: A Collaborative Study, *J. Forensic Sci.* 50 (2005) 1-11.

- [38] K. Virkler, I.K. Lednev, Analysis of body fluids for forensic purposes: From laboratory testing to non-destructive rapid confirmatory identification at a crime scene, *Forensic Sci. Int.* 188 (2009) 1-17.
- [39] A.M. Enejder, T.-W. Koo, J. Oh, M. Hunter, S. Sasic, M.S. Feld, G.L. Horowitz, Blood analysis by Raman spectroscopy, *Opt. Lett.* 27 (2002) 2004-2006.
- [40] C.G. Atkins, K. Buckley, M.W. Blades, R.F. Turner, Raman Spectroscopy of Blood and Blood Components, *Appl. Spectrosc.* (2017).
- [41] K. Virkler, I.K. Lednev, Raman spectroscopy offers great potential for the nondestructive confirmatory identification of body fluids, *Forensic Sci. Int.* 181 (2008) 1-5.
- [42] G. McLaughlin, K.C. Doty, I.K. Lednev, Raman Spectroscopy of Blood for Species Identification, *Anal. Chem.* 86 (2014) 11628-11633.
- [43] E. Mistek, L. Halámková, K.C. Doty, C.K. Muro, I.K. Lednev, Race differentiation by Raman spectroscopy of a bloodstain for forensic purposes, *Anal. Chem.* (2016).
- [44] G. McLaughlin, K.C. Doty, I.K. Lednev, Discrimination of human and animal blood traces via Raman spectroscopy, *Forensic Sci. Int.* 238 (2014) 91-95.
- [45] K. Virkler, I.K. Lednev, Blood species identification for forensic purposes using Raman spectroscopy combined with advanced statistical analysis, *Anal. Chem.* 81 (2009) 7773-7777.
- [46] P. Bai, J. Wang, H. Yin, Y. Tian, W. Yao, J. Gao, Discrimination of Human and Nonhuman Blood by Raman Spectroscopy and Partial Least Squares Discriminant Analysis, *Anal. Lett.* (2016).
- [47] Y. Fujihara, Y. Fujita, T. Yamamoto, N. Nishimoto, K. Kimura-Kataoka, S. Kurata, Y. Takinami, T. Yasuda, H. Takeshita, Blood identification and discrimination between human and nonhuman blood using portable Raman spectroscopy, *Int. J. Legal Med.* (2016) 1-4.
- [48] K.C. Doty, C.K. Muro, I.K. Lednev, Predicting the time of the crime: bloodstain aging estimation for up to two years, *Forensic Chem.* (2017).
- [49] K.C. Doty, G. McLaughlin, I.K. Lednev, A Raman spectroscopic clock for bloodstain age determination: the first week after deposition, *Anal. Bioanal. Chem.* (2016) 1-9.
- [50] K. De Wael, L. Lepot, F. Gason, B. Gilbert, In search of blood – detection of minute particles using spectroscopic methods, *Forensic Sci. Int.* 180 (2008) 37-42.
- [51] A. Sikirzhyskaya, V. Sikirzhyski, I.K. Lednev, Raman spectroscopy coupled with advanced statistics for differentiating menstrual and peripheral blood, *J. Biophotonics.* 7 (2014) 59-67.
- [52] S. Zukunft, M. Sorgenfrei, C. Prehn, G. Möller, J. Adamski, Targeted Metabolomics of Dried Blood Spot Extracts, *Chromatographia.* 76 (2013) 1295-1305.
- [53] I. Ojanperä, R. Hyppölä, E. Vuori, Identification of volatile organic compounds in blood by purge and trap PLOT-capillary gas chromatography coupled with Fourier transform infrared spectroscopy, *Forensic Sci. Int.* 80 (1996) 201-209.
- [54] W. Li, F.L.S. Tse, Dried blood spot sampling in combination with LC-MS/MS for quantitative analysis of small molecules, *Biomed. Chromatogr.* 24 (2010) 49-65.
- [55] A.D. Palma, A. Roveri, M. Zaccarin, L. Benazzi, S. Daminelli, G. Pantano, M. Buttarello, F. Ursini, M. Gion, P.L. Mauri, Extraction methods of red blood cell membrane proteins for Multidimensional Protein Identification Technology (MudPIT) analysis, *J. Chromatogr. A.* 1217 (2010) 5328-5336.
- [56] B. Blount, R. Kobelski, D. Mcelprang, D. Ashley, J. Morrow, D. Chambers, F. Cardinali, Quantification of 31 volatile organic compounds in whole blood using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry, *J. Chromatogr. B.* 832 (2006) 292-301.
- [57] M. Kusano, E. Mendez, K.G. Furton, Development of headspace SPME method for analysis of volatile organic compounds present in human biological specimens, *Anal. Bioanal. Chem.* 400 (2011) 1817.
- [58] E.M. Hoffman, A.M. Curran, N. Dulgerian, R.A. Stockham, B.A. Eckenrode, Characterization of the volatile organic compounds present in the headspace of decomposing human remains, *Forensic Sci. Int.* 186 (2009) 6-13.

- [59] H. Inoue, F. Takabe, M. Iwasa, Y. Maeno, Y. Seko, A new marker for estimation of bloodstain age by high performance liquid chromatography, *Forensic Sci. Int.* 57 (1992) 17-27.
- [60] J. Andrasko, The estimation of age of bloodstains by HPLC analysis., *J. Forensic Sci.* 42 (1997) 601-607.
- [61] M. Kusano, E. Mendez, K.G. Furton, Comparison of the Volatile Organic Compounds from Different Biological Specimens for Profiling Potential, *J. Forensic Sci.* 58 (2013) 29-39.
- [62] ISBT, Red Cell Immunogenetics and Blood Group Terminology, (2017). <http://www.isbtweb.org/working-parties/red-cell-immunogenetics-and-blood-group-terminology> (accessed January 1, 2001).
- [63] E.G. Reisner, T.A. Bolk, A Layman's Guide to the Use of Blood Group Analysis in Paternity Testing, *J. Fam. Law.* 20 (1981) 657-676.
- [64] B.J. Culliford, U.S.D. of Justice, N.I. of Law Enforcement, C. Justice, The examination and typing of bloodstains in the crime laboratory, U.S. Government Printing Office, 1971.
- [65] R.E. Gaensslen, Sourcebook in forensic serology, immunology, and biochemistry, National Institute of Justice, 1989.
- [66] W. Chisum, A rapid method for grouping dried bloodstains, *J. Forensic Sci. Soc.* 11 (1971) 205-206.
- [67] R. Outteridge, Bloodstain Grouping – Elution v. Inhibition, *J. Forensic Sci. Soc.* 4 (1963) 87-90.
- [68] H. Thomsen, I. Adamzik, Immunocytochemical determination of ABH and MN antigens on dried blood traces in the nanoliter range, *Forensic Sci. Int.* 48 (1990) 59-69.
- [69] A. El-Habashi, A. Jado, A. Farag, O. el-Assam, Study on the factors affecting ABO grouping of blood stains., *J. Egypt. Soc. Parasitol.* 21 (1991) 151-161.
- [70] S. Mishra, A. Yadav, Variations in ABH Antigenic Stability of Dried Bloodstains from Different Surfaces with Age, *Indian J. Forensic Med. Toxicol.* 6 (2012) 202.
- [71] Y. Bunai, I. Nakamura, A. Nagai, S. Yamada, Y. Watanabe, T. Takayama, I. Ohya, Blood grouping of mixed bloodstains using immunocytochemical methods., *J. Forensic Sci.* 44 (1999) 100-104.
- [72] A. Kimura, T. Uda, S. Nakashima, H. Ikeda, S. Yasuda, M. Osawa, T. Tsuji, ABO blood grouping of bloodstains by sandwich ELISA using monoclonal antibody specific for human red cell band 3, *Int. J. Legal Med.* 105 (1993) 209-212.
- [73] B. Zhou, J. Guo, C. Wang, J. Chen, The rapid determination of the ABO group from body fluids (or stains) by dot enzyme-linked immunosorbent assay (dot-ELISA) using enzyme-labeled monoclonal antibodies., *J. Forensic Sci.* 35 (1990) 1125-1132.
- [74] D. Gray, N. Frascione, B. Daniel, Development of an immunoassay for the differentiation of menstrual blood from peripheral blood, *Forensic Sci. Int.* 220 (2012) 12-18.
- [75] M. Asano, M. Oya, M. Hayakawa, Identification of menstrual blood stains by the electrophoretic pattern of lactate dehydrogenase isozymes, *Forensic Sci.* 1 (1972) 327-332.
- [76] G.B. Divall, M. Ismail, Lactate dehydrogenase isozymes in vaginal swab extracts: A problem for the identification of menstrual blood, *Forensic Sci. Int.* 21 (1983) 139-147.
- [77] M. Bauer, D. Patzelt, Evaluation of mRNA markers for the identification of menstrual blood., *J. Forensic Sci.* 47 (2002) 1278-1282.
- [78] M. Bauer, D. Patzelt, Identification of menstrual blood by real time RT-PCR: Technical improvements and the practical value of negative test results, *Forensic Sci. Int.* 174 (2008) 55-59.
- [79] J. Jakubowska, A. Maciejewska, R. Pawłowski, K.P. Bielawski, mRNA profiling for vaginal fluid and menstrual blood identification, *Forensic Sci. Int. Genet.* 7 (2013) 272-278.
- [80] H.Y. Lee, M.J. Park, A. Choi, J.H. An, W.I. Yang, K.-J. Shin, Potential forensic application of DNA methylation profiling to body fluid identification, *Int. J. Legal Med.* 126 (2012) 55-62.
- [81] M.A. Jobling, P. Gill, Correction: Encoded evidence: DNA in forensic analysis, *Nat. Rev. Genet.* 5 (2004) 739-751.
- [82] J.M. Butler, *Forensic DNA Typing: Biology, Technology, and Genetics of STR Markers*, Elsevier, 2005.

- [83] N. Dawnay, B. Stafford-Allen, D. Moore, S. Blackman, P. Rendell, E.K. Hanson, J. Ballantyne, B. Kallifatidis, J. Mendel, D.K. Mills, R. Nagy, S. Wells, Developmental Validation of the ParaDNA® Screening System – A presumptive test for the detection of DNA on forensic evidence items, *Forensic Sci. Int. Genet.* 11 (2014) 73-79.
- [84] G. Ball, N. Dawnay, B. Stafford-Allen, M. Panasiuk, P. Rendell, S. Blackman, N. Duxbury, S. Wells, Concordance study between the ParaDNA® Intelligence Test, a Rapid DNA profiling assay, and a conventional STR typing kit (AmpFISTR® SGM Plus®), *Forensic Sci. Int. Genet.* 16 (2015) 48-51.
- [85] G.E. Donachie, N. Dawnay, R. Ahmed, S. Naif, N.J. Duxbury, N.D. Tribble, Assessing the impact of common forensic presumptive tests on the ability to obtain results using a novel rapid DNA platform, *Forensic Sci. Int. Genet.* 17 (2015) 87-90.
- [86] L.K. Hennessy, N. Mehendale, K. Chear, S. Jovanovich, S. Williams, C. Park, S. Gangano, Developmental validation of the GlobalFiler® express kit, a 24-marker STR assay, on the RapidHIT® System, *Forensic Sci. Int. Genet.* 13 (2014) 247-258.
- [87] H.S. Mogensen, R. Frank-Hansen, B.T. Simonsen, N. Morling, Performance of the RapidHIT™200, *Forensic Sci. Int. Genet. Suppl. Ser. 4* (2013) 286-287.
- [88] S. Verheij, L. Clarisse, M. van den Berge, T. Sijen, RapidHIT™ 200, a promising system for rapid DNA analysis, *Forensic Sci. Int. Genet. Suppl. Ser. 4* (2013) 254-255.
- [89] Phadebas® Forensic Saliva Test Products, (n.d.). <http://www.phadebas.com/products/forensic-saliva-test-products> (accessed March 27, 2018).
- [90] Using the new Phadebas® Forensic Press test to find crime scene saliva stains suitable for DNA analysis – *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, (n.d.).
- [91] J. Hedman, E. Dalin, B. Rasmusson, R. Ansell, Evaluation of amylase testing as a tool for saliva screening of crime scene trace swabs, *Forensic Sci. Int. Genet.* 5 (2011) 194-198.

Notes

- 1 Le plasma correspond à la fraction liquide du sang (environ 55 % du volume sanguin total; les 45 % restants correspondent aux éléments figurés, soit les globules blancs et rouges, et les plaquettes). Lorsque les éléments responsables de la coagulation sont soustraits du plasma, le sérum est obtenu.
- 2 Enzyme qui intervient dans le métabolisme des sucres pour fournir de l'énergie.
- 3 Enzyme qui dégrade les matrices extracellulaires, telles que l'endomètre, la muqueuse utérine.
- 4 La cytosine est l'une des quatre bases formant l'ADN.