

Les paramètres clés de l'interprétation des fibres textiles en sciences criminelles – Partie I : Occurrence et bruit de fond

Résumé

La question au centre d'une expertise forensique est la détermination de la valeur probante d'une correspondance entre une trace et un matériel suspect. Dans le domaine des fibres textiles, il s'agit de se prononcer sur la signification d'une non-différentiation entre un textile de question et un groupe de fibres indiciaires. Pour ce faire, il est possible d'utiliser une approche probabiliste, plus particulièrement une approche bayésienne, afin d'assigner un rapport de vraisemblance aux observations issues de l'exploitation en laboratoire. Plusieurs paramètres doivent alors être discutés : la rareté des fibres observées (occurrence), la probabilité que ces dernières proviennent de l'action criminelle (transfert et persistance) et la probabilité qu'elles soient présentes par hasard / non liées au crime (bruit de fond).

Le présent article propose une revue critique des sources d'informations publiées dans la littérature forensique permettant d'estimer les paramètres du rapport de vraisemblance. Les principaux résultats sont présentés puis discutés à la lumière des avantages et des limitations des différents types d'études.

Dans cette première partie, seules les études dédiées à la détermination de la rareté des fibres indiciaires (occurrence) et aux fibres en provenance du bruit de fond seront présentées. Les travaux traitant du transfert, de la persistance et du prélèvement des fibres seront traités dans une seconde partie.

Mots-clés

Interprétation bayésienne ; Rapport de vraisemblance ; Etude de population ; Etude de marché ; Etude de bloc de couleur ; Etude de fibre cible

Key parameters for interpreting textile fibre evidence in forensic science – Part I: Occurrence and background

Abstract

The question at the center of forensic expertise is the determination of the probative value of a correspondence between recovered trace evidence and suspect material. In the field of textile fibers, it is necessary to decide on the meaning of a non-differentiation between a question textile and a group of reference ('control') fibers from a putative source. To do this, it is possible to use a probabilistic approach, in particular a Bayesian approach, in order to assign a likelihood ratio to the observations resulting from laboratory examinations. Several parameters have to be considered: the rarity of the observed fibers (occurrence), the probability that the latter will come from the criminal action (transfer and persistence) and the probability that they are present by chance (not related to the criminal activity).

The present article proposes a critical review of the sources of information published in the forensic literature to estimate the parameters used in the calculation of the likelihood ratio. The main results are presented and discussed in the light of the advantages and limitations of the different types of studies.

In this first part, only the studies dedicated to the determination of the scarcity of the index fibers (occurrence) and the 'background' fibres will be presented. Work on the transfer, persistence and recovery of fibers will be dealt with in part two.

Keywords

Bayesian Interpretation; Likelihood Ratio; Population Studies; Market Research, Colour Block Studies, Target Fibre Studies.

Introduction

Contrairement à passablement de sciences empiriques, les sciences criminelles font face à des événements complexes, passés et non-reproductibles. Les données à disposition – telles que les informations circonstancielles ou les traces matérielles retrouvées – sont souvent incomplètes. Par exemple le déroulement précis des événements, leur intensité ou encore la localisation des traces latentes ne sont jamais connus avec certitude. Les forensiens sont donc constamment confrontés à l'incertitude. Etant donné qu'un indice n'est pas auto-suffisant, il est nécessaire de s'intéresser à la signification de ce dernier à la lumière des informations et des connaissances à disposition afin d'être en mesure de donner une valeur probante aux observations [1].

La littérature forensique semble s'accorder depuis quelques années sur le fait que l'utilisation des lois de probabilités, en particulier du Théorème de Bayes, est une option de choix permettant d'assigner une valeur probante à une observation à travers l'estimation d'un rapport de vraisemblance [2-4]. Il est toutefois à noter que cette approche rencontre encore quelques reticences tant dans la littérature que parmi certains praticiens du domaine. Pour être en mesure de raisonner sur la signification d'un indice selon une approche bayésienne, il est nécessaire d'affecter une valeur numérique aux différentes probabilités à estimer. Il s'agit là d'une étape qui peut s'avérer complexe, notamment lorsqu'il s'agit de concilier notions théoriques, revue de littérature et expérience personnelle.

Le présent écrit propose une revue de littérature consacrée à l'interprétation bayésienne des fibres textiles. La volonté de cet article n'est pas de discuter les avantages et les inconvénients du Théorème de Bayes, mais de fournir aux spécialistes une revue critique des différentes sources d'information permettant l'estimation des probabilités nécessaire à l'assignation d'un rapport de vraisemblance (RV) – likelihood ratio (LR) en anglais – tant au niveau de la source que de l'activité. Ces paramètres clés sont l'occurrence (γ), le transfert / persistance (t) et le bruit de fond (b). L'article ne proposant pas de théorie avancée sur le théorème de Bayes, le rapport de vraisemblance ou la hiérarchie des propositions, les auteurs encouragent les lecteurs qui ne sont pas familiers avec ces notions à consulter les travaux publiés dans la littérature [5,6,2,7-12]. Au vu de la quantité d'information publiée et des critiques associées, le présent article propose une première partie qui se concentre uniquement sur les travaux consacrés à l'estimation de l'occurrence et du bruit de fond des fibres textiles. Le transfert, la persistance et la détection des fibres textiles seront traités dans une seconde publication.

Rapport de vraisemblance et variables à estimer

L'expression mathématique du théorème de Bayes permettant de se prononcer sur la valeur probante d'une trace matérielle est appelée rapport de vraisemblance (RV). En science forensique, le RV permet de réévaluer les connaissances au sujet d'une affaire criminelle suite à la considération d'un nouvel élément (E) traditionnellement représenté par une trace matérielle, telle une trace de semelle, une trace digitale ou des fibres textiles. Deux hypothèses – également appelées propositions – alternatives sont nécessaires pour estimer un rapport de vraisemblance. Ces propositions traduisent généralement les allégations de l'accusation (H_p) et de la défense (H_d). Enfin, le RV permet la considération par l'expert forensique de toutes les informations circonstancielles à sa disposition (I). Sous sa forme non-développée, le rapport de vraisemblance se présente ainsi :

$$RV = \frac{P(E|H_p, I)}{P(E|H_d, I)}$$

Considérons un exemple de cas qui servira de référence pour expliquer les différents paramètres utiles à l'interprétation. Une femme errante et à moitié nue est retrouvée sur un chemin forestier par un promeneur et son chien. Cette dernière indique avoir été victime d'une agression sexuelle lors de son

jogging matinal. Arrivée sur les lieux de l'agression, le service forensique ne peut mettre en évidence que peu de traces matérielles exploitables, dont un groupe de 150 fibres en polyester bleu prélevé sur la face interne de la culotte de la victime (sous-vêtement resté au sol après les événements relatés). L'enquête permet d'identifier rapidement un suspect qui habite à quelques kilomètres de la forêt. Lors de la perquisition de son domicile, un pantalon de sport en polyester bleu est saisi dans un bac à linge. Les fibres constituant le textile ne sont pas différenciables de celles retrouvées sur la victime.

Les propositions avancées par le procureur (H_p) et la défense (H_d) peuvent se situer à deux niveaux d'interprétation différents, à savoir au niveau de la source ou de l'activité [8,9]. Les raisonnements directement liés au crime ne sont que rarement entrepris. Ainsi, les propositions au niveau de la source pourraient être les suivantes :

H_p : Les fibres retrouvées sur la culotte de la victime proviennent du pantalon de sport appartenant au suspect

H_d : Les fibres retrouvées sur la culotte de la victime proviennent d'un autre textile inconnu

Les propositions formulées au niveau de l'activité se concentrent sur l'action à l'origine des fibres retrouvées sur la victime. Ainsi, considérons les propositions suivantes :

H_p : Le suspect, portant le pantalon de sport en polyester bleu, a agressé la victime dans la forêt

H_d : Le suspect ne connaît pas la victime et n'a jamais été en sa présence

Dépendamment du niveau d'interprétation choisi, source (RV_{source}) ou activité ($RV_{activité}$), le rapport de vraisemblance peut alors s'écrire sous deux formes différentes [2] :

$$RV_{source} = \frac{1}{\gamma} \qquad RV_{activité} = \frac{t_n b_0 + t_0 b_{1,n} \gamma}{t'_n b_0 \gamma + t'_0 b_{1,n} \gamma}$$

Avec γ l'occurrence des fibres dans la population pertinente au cas, $b_0/b_{1,n}$ respectivement l'absence ou la présence par hasard d'un groupe de fibres de taille n (bruit de fond) et t_0/t_n respectivement l'absence ou le transfert d'un groupe de fibres de taille n lors de l'action incriminée. Une distinction est faite entre t_0/t_n et t'_0/t'_n en fonction du textile considéré. L'apostrophe désigne un transfert depuis un textile inconnu alors que les variables sans apostrophe se réfèrent au textile appartenant au suspect. Notons également que le dénominateur de rapport de vraisemblance au niveau de l'activité ($RV_{activité}$) peut varier en fonction du lieu de découverte des fibres. Pour plus de précision, se référer à la littérature compétente [2,11].

Intéressons-nous maintenant aux sources permettant d'attribuer une valeur numérique aux différentes probabilités des rapports de vraisemblance.

L'occurrence des fibres – γ

Pour se prononcer sur l'occurrence d'un type de fibres au sein d'une population définie, il est nécessaire de considérer la fréquence d'apparition des fibres observées. En d'autres termes, la fréquence d'apparition permet de déterminer quelle est la probabilité d'observer une catégorie de fibres données dans un certain environnement. C'est pourquoi il est parfois fait mention de la *rareté* d'un type de fibres.

Généralement, les fréquences d'apparition sont définies en fonction du type et de la couleur des fibres. On parlera alors de l'occurrence des fibres de coton noir ou de laine rouge par exemple. Il est possible

d'affiner l'estimation de l'occurrence d'un groupe de fibres, notamment en considérant les spectres de la couleur mesurée par microspectrophotométrie. Cette information peut être obtenue dans les études de bloc de couleur (*color block studies*). Il est également envisageable de considérer le type de pigment(s) ou de colorant(s) présent(s) dans les fibres (via analyses FTIR, Raman ou TLC). Cependant, ces données ne sont souvent pas disponibles dans la littérature. Il est alors possible de se référer à des bases de données en interne pour estimer des fréquences d'apparition plus précises.

La population dans laquelle se détermine la probabilité d'observer un groupe de fibres d'un type et d'une couleur donné est appelée **population pertinente**. En effet, il serait inadéquat de considérer la population mondiale comme source potentielle car les chances à priori d'observer certaines populations de fibres pourraient être mal estimées, tout comme le rapport de vraisemblance [2]¹. Le choix de la population pertinente est ainsi un critère indispensable qui peut notamment être définie en fonction des informations circonstancielle de l'affaire et/ou du type de support sur lequel ont été retrouvées les fibres [11], du lieu géographique et de la saisonnalité. Par exemple, si des fibres sont retrouvées sur le dossier du siège conducteur d'une voiture, il s'agira d'étudier préférentiellement l'occurrence des fibres observées sur un nombre conséquent d'autres sièges de voiture et non sur des habits ou des bancs publics. De plus, il faudra aussi tenir compte de l'environnement dans lequel a été commis le délit (notamment région géographique et saison).

Pour les lecteurs désirant approfondir la notion du choix de population, il est conseillé de se référer aux publications de Robertson and Vignaux [13] et de Champod and Taroni [11]. Ces travaux étudient plus en détail les problèmes liés à la sélection d'une population pertinente en considérant respectivement les propositions amenées par la défense et les informations d'enquête à disposition.

En conclusion, le choix d'une population pertinente et adaptée au cas est essentiel à une bonne interprétation de l'indice fibre car l'estimation de l'occurrence des fibres indiciaires peut être considérablement influencée par les spécificités de la population sélectionnée. La question qui se pose alors est de savoir comment estimer la fréquence d'apparition des fibres indiciaires dans la population d'intérêt choisie. Trois différents types d'études peuvent être utilisés et/ou réalisés pour estimer cette probabilité :

1. Les études de population
2. Les études de bloc de couleur
3. Les études de marché

Les études de population

L'étude de population est définie dans le livre de Robertson and Grieve [14] comme étant l'évaluation du contenu issu de l'échantillonnage aléatoire d'une population de fibres en le divisant selon des combinaisons « type générique/couleur »². Le but est de prélever de façon systématique une importante quantité de fibres sur un type de supports défini, puis de déterminer le type et la couleur de chacune d'entre elles sans utilisation de méthodes analytiques. Il s'agit d'un processus extrêmement long. C'est pourquoi il est complexe de réaliser une étude de population spécifique aux conditions d'une affaire criminelle donnée car impliquant d'importantes dépenses en termes de ressources matérielles et financières. Cela a toutefois été réalisé dans la pratique pour certains cas graves.

¹ L'occurrence des fibres vertes au sein d'une caserne militaire risque d'être significativement différente de celle associée à une salle de cinéma par exemple.

² Traduction libre de « Evaluation of the content of a randomly sampled fibre population by dividing it into generic type/colour combinations », p. 431.

Il est plus simple et moins contraignant d'adapter des données issues de précédentes études de population publiées. De nombreux supports ont été considérés, notamment des sièges automobiles [15], des vêtements [16], des cheveux [17], de la peau [18] ou encore le dessous des ongles [19,20]. Une des plus vastes études ayant été réalisée est celle proposée par Grieve and Biermann [21] où de nombreuses surfaces extérieures ont été considérées, dont des bancs, des sièges d'arrêts de bus, des arbres, des tuiles, des portes et des cabines téléphoniques. La récente étude de Lepot, et al. [22] est atypique et innovante. Il s'agissait d'observer si des fibres pouvaient être retrouvées sur des mannequins immergés dans une rivière pendant 15 jours. Ainsi, les T-Shirts ont été nettoyés avant immersion. Les fibres observées ont donc été déposées lors du séjour des textiles dans les rivières (la Douve et la Lys). Cette étude a été classée comme étude de population, mais la méthodologie et la problématique sont un peu différentes des autres travaux publiés. A noter qu'il s'agit de la seule étude précisant la taille des groupes observés sur chaque support séparément. Cette information est très utile pour l'estimation du bruit de fond.

Les principaux résultats de ces études sont récapitulés dans le Tableau 1 ci-après. A noter que la grande majorité des recherches n'ont pas considéré le coton blanc / transparent dans leurs résultats. Ce choix se justifie par le fait qu'il est compliqué de recenser des fibres transparentes. De plus, il est également connu des spécialistes fibres que le coton blanc / transparent est difficilement analysable, ce qui complexifie la discrimination des différentes sources. C'est pourquoi ce type de fibres est jugé peu informatif et n'est généralement pas investigué dans la pratique. Le Tableau 1 ne présente ainsi pas les résultats associés au coton transparent, même si l'information était à disposition dans l'article (par exemple Lazic, et al. [23]).

ÉTUDES DE POPULATION (N=14)			
Auteurs (Année)	Lieux, pays	Substrats échantillonnés	Fibres les plus couramment observées
Fong and Inami [24]	Santa Clara, U.S.A.	40 textiles	1. Acrylique rouge (8.1%) 2. Coton bleu (7.7%) 3. Polyester bleu (4.7%)
Grieve and Dunlop [25]	Allemagne	20 sous-vêtements	1. Coton gris/noir (21.6%) 2. Coton rouge (9.6%) 3. Coton bleu (6.1%)
Roux and Margot [15]	Lausanne, Suisse	50 sièges de voiture	1. Coton gris/noir (17.3%) 2. Coton bleu (16.4%) 3. Laine gris/noir (12.3%)
Grieve and Biermann [21]	Allemagne	33 sites publics	1. Coton bleu denim (27.8%) 2. Coton gris/noir (18.0%) 3. Coton bleu (10.0%)
Massonnet, et al. [16]	Lausanne, Suisse	14 T-Shirts blancs	1. Coton gris/noir (24.0%) 2. Coton bleu (14.0%) 3. Animales transparent (4.8%) Animales gris/noir (4.8%)

ÉTUDES DE POPULATION (N=14)

Auteurs (Année)	Lieux, pays	Substrats échantillonnés	Fibres les plus couramment observées
Cantrell, et al. [26]	Sydney, Australie	16 sièges de cinéma	1. Coton gris/noir (33.4%) 2. Coton bleu (29.6%) 3. Laine gris/noir (4.7%)
Dignan and Murphy [19]	Halifax, Canada	37 rognures d'ongles (≥21 ans)	1. Coton bleu (18.1%) 2. Coton gris/noir (6.8%) 3. Coton vert (6.5%)
		16 rognures d'ongles (<21 ans)	1. Coton bleu (17.8%) 2. Coton gris/noir (8.2%) 3. Coton vert (5.6%)
Palmer and Oliver [17]	Cambridgeshire, Royaume-Uni	26 chevelures	1. Coton gris/noir (env. 26%) 2. Coton bleu (env. 23%) 3. Coton rouge (env. 10%)
Was-Gubala [27]	Pologne, Allemagne et Rép. Tchèque	Sièges de bus	1. Coton gris/noir (28%) 2. Coton bleu (17%) 3. Naturelles gris/noir (10%)
McBride and Brown [20]	Durham, Royaume-Uni	13 rognures d'ongles	1. Coton gris/noir (24%) 2. Coton bleu (23%) 3. Coton rouge (5%)
Watt, et al. [28]	Sydney, Australie	11 machines à laver le linge ³	1. Coton gris/noir (26.9%) 2. Coton bleu (20.2%) 3. Coton rouge (15.6%)
Palmer and Burch [18]	Royaume-Uni	Peau humaine (bras)	1. Coton gris/noir (37%) 2. Coton bleu (17%) 3. Polyester noir (7.5%)
Lazic, et al. [23]	Rosny /s Bois, France	Sièges de voitures	1. Coton gris/noir (env. 25%) 2. Coton bleu (env. 25%) 3. Coton rouge (env. 5%)
		Sièges de cinémas	1. Coton gris/noir (env. 32%) 2. Coton bleu (env. 13%) 3. Coton rouge (env. 4%)

³ Des T-Shirts blancs 100% coton ont été utilisés comme récepteurs de fibres.

ÉTUDES DE POPULATION (N=14)			
Auteurs (Année)	Lieux, pays	Substrats échantillonnés	Fibres les plus couramment observées
Lepot, et al. [22]	La Douve et la Lys (rivières), Belgique	2 T-Shirts immergés	1. Coton indigo (15.6%) 2. Coton gris/noir (12.5%) 3. Coton bleu (9.4%)

Tableau 1. Récapitulatifs des principales études de population de fibres publiées (N=14).

La littérature forensique est plutôt fournie en données permettant d'apprécier l'occurrence d'un groupe de fibres de couleur et de type connus. Cependant, il est intéressant de se poser la question concernant l'adaptation des résultats à la population pertinente du cas considéré. En effet, les études présentes dans la littérature sont parfois anciennes et/ou ont été réalisées dans un pays, à un moment de l'année ou sur des supports qui ne sont pas toujours similaires au cas traité. Malgré tout, la majorité des travaux montrent que les fibres les plus couramment rencontrées sont en coton, principalement bleu ou foncé (gris/noir). Certaines études montrent que les fibres en coton rouge, en laine et en polyester peuvent être relativement communes également. Pour les autres combinaisons « type/couleur » de fibres, l'occurrence est souvent de l'ordre de 1% ou inférieur [16,15,28]⁴. Cependant, il est à noter que ces résultats ont été obtenus à la suite d'examen optiques uniquement basé sur la couleur et le type générique de fibres. Cela signifie que même si certains groupes sont fréquents (coton bleu ou noir), des différenciations supplémentaires sont possibles si des méthodes analytiques sont utilisées (voir étude de bloc de couleur ci-après).

Ainsi, sauf circonstances particulières, telles des cas commis dans une population fermée présentant un environnement textile spécifique (caserne militaire, internat, prison, ...), il ne semble pas nécessaire d'adapter outre mesure les résultats publiés. Il s'agit cependant de garder cette information en tête pour les situations spéciales et complexes.

Finalement, il existe de nombreuses situations où aucune donnée n'est disponible sur le type de fibre et/ou de support rencontré. Par exemple, comment estimer la fréquence d'apparition d'un nouveau type de fibres ? Qu'en est-il des fibres présentes dans des environnements particuliers qui n'ont jamais été considérés ? Dans ce genre de situations, il est recommandé de réfléchir à la faisabilité d'une étude interne ou à des demandes ciblées aux fournisseurs pour être en mesure d'estimer efficacement l'occurrence des fibres.

Les études de bloc de couleur

Les études de bloc de couleur [29], également mentionnées par l'anglicisme « color block studies », proposent d'aller au-delà d'une simple discrimination visuelle du type et de la couleur des fibres. Les études de population discutées précédemment ne décrivent les fibres que d'un point de vue très générique, en se basant uniquement sur des observations visuelles. La différenciation des fibres appartenant à un même bloc type/couleur par des méthodes analytiques n'est ainsi pas entreprise.

Les études de bloc de couleur vont ainsi décrire plus en profondeur les fibres d'une même catégorie type/couleur, en y ajoutant des informations microscopiques (caractéristiques morphologiques) et/ou analytiques au sujet de la couleur (microspectrophotométrie) ou de la composition chimique

⁴ The style name L'étude de Fong et Inami (1986) fait figure d'exception avec une fréquence d'apparition de l'acrylique rouge de l'ordre de 8%. Cependant, ce résultat n'est pas expliqué par les auteurs.

(spectroscopie FTIR et/ou Raman par exemple). En d'autres termes, il s'agira d'investiguer les sous-classes qui composent un bloc de fibres présentant la même combinaison « type/couleur ». Il sera alors possible de spécifier la rareté d'une fibre à un niveau supérieur et de mieux appréhender la valeur probante de la trace. En effet, il se peut qu'une catégorie (ou bloc) très commune soit composée de nombreuses sous-classes plus ou moins fréquentes.

Concrètement, il s'agit de sélectionner un bloc de fibres et de s'approvisionner en textiles répondants aux critères du type et de la couleur du bloc en question. Par exemple, des vêtements en acrylique rouge. Les textiles peuvent être récoltés en magasin ou provenir de véritables cas forensiques. Le choix du bloc à analyser peut découler de plusieurs volontés différentes. Certaines études se basent sur les informations contextuelles de cas pratiques. D'autres cherchent à investiguer les blocs communs, tels le coton bleu ou gris/noir qui arrivent souvent en tête des fibres les plus fréquemment observées dans les études de population.

Il est important d'être en mesure de détailler les blocs dits « fréquents » car ces derniers peuvent être considérés comme inutiles pour les investigations en raison de leur apparente faible valeur probante⁵. Cependant, l'analyse approfondie des blocs peut permettre de mettre en évidence des sous-classes peu communes, et par conséquent plus informatives. Plusieurs auteurs se sont intéressés aux blocs fréquemment rencontrés, dont Cassista and Peters [30] et Grieve, et al. [31]. Dans la récente étude de Buzzini and Massonnet [32], plusieurs couleurs de coton (ainsi que de la laine et de l'acrylique) ont été investiguées, notamment à l'aide de la microscopie et de la microspectrophotométrie.

L'étude approfondie de la composition chimique des fibres fabriquées, comme l'acrylique, le nylon ou le polyester, est également recommandée. En effet, comme les analyses FTIR et/ou Raman de ce type de fibres sont couramment effectuées en routine par les laboratoires forensiques, il est intéressant d'être en mesure de se prononcer sur la rareté d'une sous-classe chimique pour affiner l'estimation de l'occurrence des fibres. Par exemple, il est connu que le nylon possède deux sous-classes relativement fréquentes qui sont le nylon 6.6 et le nylon 6, mais également des sous-classes plus rares comme le nylon 11 ou 12 [33]. Au-delà de la composition chimique des fibres fabriquées, leur morphologie peut également être étudiée. En effet, il existe une grande polyvalence au niveau de la forme des fibres, notamment de leur section transversale [34]. Cette variabilité découle directement des nombreux procédés de fabrication et du matériel utilisé (type de filières, type de textiles à produire, etc.).

Une fois le bloc d'intérêt sélectionné, les fibres des textiles sont analysées à l'aide de différentes techniques optiques et/ou analytiques. La microspectrophotométrie (MSP), dans le domaine visible et/ou UV-Vis, est une des techniques systématiquement retrouvées dans la littérature. Des résultats FTIR et/ou Raman sont proposés par Jones and Coyle [33] pour les flock fibres et par Buzzini and Massonnet [32] pour différents blocs de fibres. Il est à noter que des bases de données internes peuvent également être utilisées comme sources d'information par les laboratoires forensiques. Les principales études publiées à ce jour sont présentées dans le Tableau 2 ci-dessous.

ÉTUDES DE BLOC DE COULEUR (N=10)			
Auteurs (Année)	Bloc(s) analysés(s)	Source(s) utilisée(s)	Technique(s) mise(s) en œuvre

⁵ Cependant, dans certaines circonstances particulières, même des fibres très communes peuvent présenter une forte valeur probante. A ce sujet, une affaire intéressante dans laquelle des fibres en coton bleu denim se sont révélées hautement informatives a été présentée par Sulkava (2010).

ÉTUDES DE BLOC DE COULEUR (N=10)			
Auteurs (Année)	Bloc(s) analysés(s)	Source(s) utilisée(s)	Technique(s) mise(s) en œuvre
Grieve, et al. [31]	Coton bleu Coton rouge Coton noir	46 vêtements 46 vêtements 46 vêtements	Microscopie MSP
Cassista and Peters [30]	Coton rouge Coton vert Coton bleu	15 textiles 15 textiles 16 textiles	Microscopie (y.c. fluorescence) MSP
Grieve, et al. [35]	Coton noir	225 textiles	MSP UV-Vis
Grieve, et al. [36]	Coton orange Coton vert	73 textiles 70 textiles	MSP UV-Vis
Grieve, et al. [29]	Polyester bleu	263 textiles	Microscopie MSP UV-Vis
Biermann [37]	Coton rouge Coton bleu	287 textiles 351 textiles	Microscopie (y.c. fluorescence) MSP UV-Vis
Palmer, et al. [38]	Coton bleu	100 textiles	MSP UV-Vis
Jones and Massonnet [39]	Coton bleu clair et bleu foncé	22 vêtements	MSP UV-Vis Raman (514 nm, 785nm)
Jones and Coyle [33]	Flock fibres colorées	58 véhicules automobiles	Microscopie MSP FTIR
Buzzini and Massonnet [40] + Buzzini and Massonnet [32]	Coton bleu Coton rouge Coton noir Acrylique bleu Acrylique rouge Acrylique noir Laine bleu Laine rouge Laine noir	20 textiles 20 textiles 20 textiles 20 textiles 20 textiles 20 textiles 20 textiles 20 textiles 20 textiles	Microscopie (y.c. fluorescence) MSP UV-Vis FTIR Raman (514.4 nm, 632.8 nm, 785 nm et 830 nm)

Tableau 2. Principales études de bloc de couleur publiées à ce jour (N=10).

Il ressort des travaux publiés que les techniques et séquences analytiques possèdent généralement un bon pouvoir discriminant (pour plus de précision, se référer à la thèse de Palmer [41] où les pouvoirs discriminants de certaines études du Tableau 2 ont été recensés). Dans les cas de la MSP UV-Vis, les résultats sont en général très bons, avec des pouvoir discriminant pouvant dépasser 0.99 pour le bloc

de fibres en coton bleu [37]. Les examens optiques en microscopie présentent en revanche des pouvoirs discriminants moins élevés, en particulier dans l'étude de Grieve, et al. [31]. Cependant, avec des pouvoirs discriminants généralement supérieurs à 0.8 pour les blocs analysés (exception faite du coton rouge), Buzzini and Massonnet [32] démontrent que la microscopie est tout de même performante sur certains blocs et qu'il ne faut en aucun cas la négliger. A titre d'exemple, il s'agit souvent de la seule technique permettant de différencier certains types de fibres naturelles (notamment chanvre, lin et ramie via leur sens de torsion). Comme mentionné précédemment, la morphologie des fibres fabriquées est également source de variabilité.

En résumé, les examens optiques et analytiques entrepris sont capables de différencier plusieurs sous-classes de fibres d'un même bloc type/couleur. Cela est notamment le cas des classes communes, comme le coton bleu [38,32,39]. Il est donc fortement conseillé de se référer aux techniques utilisées dans les études de bloc de couleur, ainsi qu'aux bases de données internes pour apprécier pleinement l'occurrence d'un groupe de fibres.

A noter qu'il existe également de nombreuses publications spécifiques à l'utilisation d'une méthode analytique donnée. Pour les lecteurs désirant plus de précision sur certaines techniques d'analyse, ces travaux peuvent représenter une source d'information intéressante. Leur recensement dépasse cependant le cadre de ce travail.

Les études de marché

La dernière catégorie d'études permettant d'estimer l'occurrence d'un type et d'une couleur de fibre regroupe les études de marché. Le système d'échantillonnage des études de marché est similaire aux études de bloc de couleur. Il s'agit de s'intéresser aux fibres composant les textiles, sans considérer l'environnement dans lequel elles seraient retrouvées. Pour ce faire, il s'agit de consulter des catalogues de vêtements, ou de se rendre directement à des magasins d'habits, pour ensuite effectuer l'inventaire et la description complète des textiles proposés. Il est alors possible de déterminer rapidement quels types et couleurs de fibres sont les plus rares, pour l'ensemble des textiles du magasin/catalogue, mais également pour une chaque catégorie de vêtements (T-Shirt, pantalons, ...).

Pour leur étude, Biermann and Grieve [42] ont choisi de consulter des magazines de vêtements proposés par trois compagnies allemandes de vente en ligne. Sur la base des collections printemps/été et automne/hiver des années 1993 et 1994, les auteurs ont recensé plus de 20'000 textiles en neuf mois, soit environ 150 textiles décrits par jour. Comparé au travail engendré par les études de population, ce type d'études est simple et rapide à réaliser. De leur travail, une base de données recensant les types de vêtements, mais également la couleur et le type de fibres qui les composent, a été créée [43].

Bien que rapides, les études basées sur des catalogues présentent passablement d'inconvénients liés à la qualité de l'information et peuvent ne pas être représentatifs de la population pertinente. Concrètement, il est nécessaire de faire confiance à la description des textiles écrite par le vendeur et/ou présente sur l'étiquette du vêtement. Sans analyser les textiles, il est impossible de vérifier leur composition. Le problème étant que ces descriptions sont parfois incomplètes voire erronées. Autre inconvénient, il n'est pas possible de savoir quels textiles sont vendus ni en quelle quantité. En d'autres termes, il n'est pas possible de savoir quelle est la composition des vêtements qui sont le plus portés par les acheteurs. De plus, ces catalogues représentent des tendances saisonnières et sont spécifiques à un pays donné. Finalement, le ratio des fibres composant un vêtement ne sera pas forcément représentatif du ratio des fibres transférées [44]. En d'autres termes, il est possible que des fibres entrant dans la composition d'un vêtement ne soient quasiment jamais retrouvée sur une scène

de crime. Cela est notamment le cas de l'élasthanne qui entre dans la composition des jeans mais qui ne transfère pas.

Pour résoudre les problèmes de stock et de flux, ainsi que les soucis liés à la qualité de l'information, il est possible de s'éloigner un peu des études de marché à strictement parler. Il s'agit alors d'échantillonner des habits portés par des personnes appartenant à une population préalablement sélectionnée. Langdon [45] a publié une étude dans laquelle ce type d'échantillonnage a été entrepris. Dans cette étude, 543 vêtements ont été fournis par des étudiants de l'université de technologie de Sydney (UTS). Le type et la couleur des fibres ont été déterminés manuellement par l'auteur. La question suivante peut alors se poser : « *est-ce que les textiles portés par des personnes appartenant à une population estudiantine sont représentatifs des vêtements portés par les auteurs et/ou victimes d'actes criminels ?* ».

La réponse est possiblement non. C'est pourquoi certains auteurs ont échantillonné des habits impliqués dans des situations criminelles. Cela est notamment le cas de Home and Dudley [46] et de Laing, et al. [47]. Dans ces deux études anglaises, les auteurs ont demandé à des laboratoires forensiques de décrire certains textiles qui ont été saisis dans le cadre d'affaires criminelles. Home and Dudley [46] ont ainsi détaillé le type des différents vêtements rencontrés (n=3'836) puis identifié les fibres qui les composaient (n=10'034). Cela a été fait sur la base d'observations microscopiques et d'analyses FTIR lorsque cela était nécessaire. La couleur des fibres a également été décrite selon la codification proposée par Kornerup and Wanscher [48]. De leur côté, Laing, et al. [47] sont allés jusqu'à décrire la section transversale et l'épaisseur de leurs fibres (n=10'000). La présence de particules de délustrant a également été recensée. Les auteurs ont aussi utilisé la microspectrophotométrie pour décrire la couleur de leurs échantillons. Il est cependant à noter que le spectrophotomètre utilisé dans cette recherche (i.e., le NanoSpec 10S) offrait un pouvoir discriminatoire inférieur à ceux des appareils actuels. Enfin, une étude présentée dans Langdon [45] a été réalisée sur 298 vêtements impliqués dans des affaires criminelles traitées par des laboratoires australiens et néo-zélandais. Pour chaque textile, le type et la couleur des fibres ont été décrits.

Les résultats obtenus par ces différentes études de marché sont résumés dans le Tableau 3. Les études publiées ne présentent que rarement des résultats permettant d'estimer l'occurrence d'une fibre de couleur et de type donnés. Soit l'information de couleur est fournie sans considérer le type de fibres [42], soit l'occurrence des couleurs est indiquée de façon qualitative [46]. Pour obtenir une information numérique, il aurait été nécessaire d'interroger la base de données associée aux différents travaux. C'est pourquoi il a été décidé de ne pas montrer cette information dans le Tableau 3.

ÉTUDES DE MARCHÉ (N=4)			
Auteurs (Année)	Sources d'échantillonnage	Période d'échantillonnage	Types de fibres les plus fréquents
Home and Dudley [46]	3836 habits impliqués dans des cas réels ⁶	Novembre – Décembre et Juin – Juillet 1977	1. Coton (27.0%) 2. Polyester (21.8%) 3. Laine (14.6%)

⁶ L'ensemble de la base de données a été considéré pour les estimations des données présentées dans ce tableau (table 9 de l'étude de Home et Dudley, 1980)

ÉTUDES DE MARCHÉ (N=4)			
Auteurs (Année)	Sources d'échantillonnage	Période d'échantillonnage	Types de fibres les plus fréquents
Laing, et al. [47]	7367 habits impliqués dans des cas réels ⁷	1982 – 1990	<i>Non-communicé</i>
Biermann and Grieve [42]	Magazines de vente d'habits (plus de 20'000 textiles)	Printemps / Eté 1993-1994	1. Coton (69.3%) 2. Polyester (14.2%) 3. Viscose (7.7%)
		Automne / Hiver 1993-1994	1. Coton (52.7%) 2. Polyester (21.5%) 3. Polyacrylate (8.9%)
Langdon [45]	543 habits portés par des étudiants de l'UTS	Plus de 3 ans	1. Coton (env. 52%) 2. Polyester (env. 21%) 3. Rayon (env. 5%)

Tableau 3. Récapitulatifs des principales études de marché publiées (N=4). Lorsque l'information était à disposition, les trois types les plus souvent observés ont été représentés.

Les études utilisant des vêtements impliqués dans des affaires criminelles présentent l'avantage d'être plus spécifique à la population délictueuse. Malgré cela, de par la technique d'échantillonnage, il reste impossible de prendre en compte les supports et l'environnement de la scène de crime. Il s'agit d'un problème pouvant être conséquent car il est connu que certains types de fibres retrouvés dans la composition d'un textile ne se détachent pas lors de contact. Il peut ainsi être rare d'observer des fibres dans certains environnements alors qu'elles sont communes dans la composition des vêtements. Les fibres fabriquées sont un bon exemple. Par exemple, les fibres en polyester arrivent systématiquement en seconde position des types les plus souvent observés [42,45,46], alors que ce type de fibres n'est que rarement retrouvé dans les études de population (Tableau 1).

Exemple d'estimation de l'occurrence d'un groupe de fibres indiciaires

Maintenant que les différentes sources d'informations permettant d'estimer l'occurrence d'un type et d'une couleur de fibres ont été discutées, il s'agit de savoir comment utiliser les données à disposition. Pour ce faire, revenons à l'exemple énoncé au début d'article. L'investigation de la scène de crime a permis de mettre en évidence un groupe de 150 fibres en polyester bleu. Pour la détermination de l'occurrence, la taille du groupe ne présente pas d'importance. En revanche, comme discuté précédemment, l'environnement dans lequel ces fibres sont retrouvées peut influencer la fréquence d'apparition, plus précisément le choix de la population pertinente, et compromettre l'utilisation des données publiées.

Dans l'exemple considéré, les fibres sont retrouvées sur la culotte de la victime laissée dans une forêt. Cet environnement ne semble pas justifier la considération d'une population de sources potentielles particulière car aucune tendance caractéristique aux forêts ne semble a priori exister. Il est ainsi possible de se référer aux études publiées dans la littérature.

⁷ Bien que la publication date de 1987, le nombre de vêtements indiqué dans le tableau est représentatif de l'état de la base de données en 1990 (Robertson et Grieve, 1999)

Le premier type d'études à disposition est représenté par les études de population (Tableau 1). Les résultats de ces différents travaux montrent que la probabilité d'observer des fibres en polyester bleu est comprise entre moins de 1% [26] et 6.8% [17]. Dans un esprit conservatif, considérons la fréquence d'apparition la plus importante, même si cette dernière découle de l'observation de fibres dans les cheveux et non sur des sous-vêtements.

Pour affiner l'estimation de l'occurrence des fibres indiciaires en polyester bleu, il est possible de réaliser des analyses microscopiques et chimiques pour les décrire plus en profondeur. Cela suit la méthodologie des études de bloc de couleur.

Ainsi, les différentes analyses réalisées ont montré que les fibres indiciaires étaient semi-mates, présentaient une section transversale ronde et un nombre important de particules d'un agent délustrant. La section moyenne mesurée est de 17.5 μm . Niveau analytique, des spectres MSP UV-Vis de qualité ont été obtenus. En revanche, aucun spectromètre FTIR n'était à disposition du laboratoire forensique au moment de l'investigation du cas.

Dans le cadre de l'exemple considéré, il est intéressant de se référer à l'étude de Grieve, et al. [29] qui traite spécifiquement des fibres en polyester bleu. Les résultats montrent que la fréquence d'apparition des fibres en polyester bleu, semi-mates, de section ronde, de largeur de 17.5 μm et avec particules de délustrant est de 5.7% (15/263). Il s'agit d'une situation idéale où les caractéristiques des fibres indiciaires correspondent à une des sous-classes observées dans la littérature. Dans le cas contraire, il est d'usage de considérer la sous-classe la plus fréquente, dans un esprit conservateur. De même, lorsque les fibres indiciaires se situent entre deux catégories, la plus courante sera retenue.

Concernant les spectres MSP UV-Vis des fibres indiciaires, il est également possible de les comparer aux résultats de Grieve, et al. [29]. Malheureusement, l'entièreté des spectres mesurés n'est pas fournie dans la publication. En effet, seuls les spectres non-différentiables de chaque sous-classe morphologique ont été illustrés. Les résultats de l'étude de Grieve, et al. [29] indique que sur les 15 fibres présentant des caractéristiques morphologiques similaires aux fibres indiciaires de l'exemple, seule 1 paire n'a pu être différenciée. Cependant, considérons que les spectres MSP obtenus sur les fibres indiciaires ne correspondent pas à cette paire non-différentiable. Dans cette situation, deux possibilités sont envisageables. Soit les spectres MSP des fibres indiciaires correspondent au spectre MSP d'une des 13 fibres de l'article restantes, soit il s'agit d'une nouvelle catégorie. Comme cela ne peut être déterminé sans les spectres manquants, la pratique est de toujours considérer l'option la plus conservatrice (cf. caractéristiques morphologiques). Ainsi, retenons l'option où les spectres MSP des fibres indiciaires correspondent à une des sous-classes de l'article. La fréquence d'apparition associée est alors de 1 sur la totalité des fibres investiguées dans cet article (1/255), soit 0.39%.

En résumé, les informations suivantes ont été obtenues :

- a. Fréquence d'apparition du type et de la couleur des fibres indiciaires :

$$P(PES_{bleu}) = 6.8\% \text{ (Palmer \& Oliver, 2004)}$$

- b. Fréquence d'apparition des caractéristiques morphologiques et MSP des fibres indiciaires parmi les fibres en polyester bleu :

$$P(MSP_{morpho} | PES_{bleu}) = 0.39\% \text{ (Grieve et al., 2005)}^8$$

Ainsi, la fréquence d'apparition finale est :

$$\gamma = P(MSP_{morpho} \cap PES_{bleu}) = P(MSP_{morpho} | PES_{bleu}) \cdot P(PES_{bleu})$$

Soit :

$$\gamma = 0.39\% \cdot 6.8\% = \mathbf{0.026\%}$$

Cette estimation est dépendante du nombre et de la qualité des sources d'informations consultables au moment de l'évaluation de l'occurrence des fibres. Comme mentionné précédemment, d'autres informations chimiques, physico-chimiques et morphologiques peuvent être considérées à condition d'être en possession de sources d'information adéquates. Dans le cas contraire, il est nécessaire de s'arrêter aux classes et/ou sous-classes disponibles dans la littérature ou dans les travaux réalisés par les laboratoires forensiques (études internes, bases de données, ...). Lorsqu'aucune donnée appropriée n'est à disposition, la réalisation d'une étude reproduisant les conditions du cas investigué reste souvent l'unique solution pour estimer l'occurrence des fibres indiciaires. La faisabilité de l'expertise est également à discuter dans ce genre de situation.

Les fibres en provenance du bruit de fond – b_0/b_1

Les fibres issues du bruit de fond sont définies par Robertson and Roux [49] comme étant « *des fibres provenant soit de transferts antérieurs, qui ne sont ainsi pas pertinents par rapport au cas en question, ou de l'objet lui-même* »⁹. En d'autres termes, les fibres provenant du bruit de fond regroupe toutes les fibres issues de la contamination et de la pollution de la scène, mais également les groupes de fibres explicables (comme les sources connues). Il est également fréquent de parler de fibres présentes « par hasard ».

Une distinction peut être faite entre la contamination et la pollution [50], mais il est important de noter que cette différenciation n'est pas systématiquement effectuée dans la littérature forensique internationale. En effet, le terme « contamination » est parfois utilisé au sens large pour désigner tous les groupes de fibres apportés en dehors de l'action criminelle, sans tenir compte de la cause de ces groupes. La contamination désigne alors les fibres provenant de l'environnement et/ou des personnes ayant eu accès à la scène de crime, mais également les groupes de fibres déposés lors des prélèvements, du stockage ou encore des manipulations et analyses en laboratoire. Plusieurs auteurs ont abordé le problème de la contamination et le besoin de minimiser les risques, notamment en sensibilisant les intervenants de scènes de crimes [49].

Outre la contamination ou la pollution de la scène et/ou du support des traces, il est nécessaire de considérer la possibilité que le groupe de fibres observé ait été transféré lors d'actions légitimes ayant eu lieu avant les faits, comme la conduite d'un véhicule, l'action de s'asseoir sur un canapé ou encore de danser avec un partenaire. En effet, ces actions peuvent être à l'origine de transferts de fibres non-pertinents par rapport au cas forensique traité. Il est alors nécessaire d'être en mesure de les distinguer des fibres réellement liées à l'action criminelle. Lorsque cela est possible, les groupes de fibres sont dits « explicables » dans le sens où une action sans lien avec l'acte criminel a pu être définie comme étant à l'origine du transfert. Pour ce faire, il est possible de demander les vêtements des propriétaires du véhicule impliqué dans l'acte criminel par exemple. Cependant, à l'exception des sièges

⁸ Application de la loi de probabilité conditionnelle pour combiner les informations morphologiques et analytiques (MSP UV-Vis).

⁹ Traduction libre de « (...) *background fibres, either from previous non-relevant (to the case in question) contacts or from the item itself* », p. 97.

automobiles ou de la vie quotidienne, il peut parfois être complexe de déterminer le type d'action à l'origine d'un groupe de fibres. Il faut toutefois rappeler que les circonstances spécifiques au cas sont cruciales pour interpréter l'indice fibre particulièrement au niveau de l'activité.

Finalement, outre les actions antérieures au crime, il est également possible d'expliquer un groupe de fibres étrangères grâce à l'environnement de la scène de crime. En effet, il se peut que des fibres étrangères proviennent de textiles présents dans l'environnement direct du corps ou du support sur lequel ont été retrouvées les fibres indiciaires. Il s'agit typiquement du tapis sur lequel repose le corps de la victime, ou du siège de la voiture d'un suspect. Il est alors nécessaire de prélever des fibres de référence de ces diverses sources textiles pour les comparer aux fibres indiciaires. Si les fibres partagent des caractéristiques similaires, le groupe de fibres indiciaires est dit explicable et ne sera plus considéré par la suite.

Les études de population comme source d'information

Pour assigner une valeur numérique à la probabilité que les fibres indiciaires proviennent du bruit de fond, les études de population représentent une des meilleures sources d'information disponibles. Cependant, il est nécessaire que la taille des groupes retrouvés sur chaque support individuellement soit fournie, ce qui est rarement le cas dans la littérature actuelle. A la connaissance des auteurs, seul Roux [44] propose un tableau de résultats indiquant la probabilité d'observer un certain nombre de fibres sur un support (soit un siège automobile dans ce cas précis).

Outre les remarques émises lors de la discussion des études de population effectuées dans des environnements spéciaux (prisons, casernes militaires, internats, ...), il est crucial de déterminer les particularités liées aux personnes impliquées dans l'affaire [51]. Il est notamment question de l'environnement privé des protagonistes et de leurs occupations (travail, hobbies, ...). Le but est de savoir s'il est possible d'expliquer une présence extraordinaire de traces issues d'un événement autre que l'action criminelle [52]. Par exemple, si la victime est une créatrice haute couture, le bruit de fond des fibres attendu sur ses habits est considérablement plus élevé que chez un individu lambda. Idem pour les individus ayant un lien avec l'industrie textile automobile où les *flock fibres* sont systématiquement utilisées [33]. Le cas présenté par Sulkava [53], affaire dans laquelle un ermite isolé du monde moderne est assassiné, souligne également l'importance de connaître et d'évaluer les circonstances spécifiques au cas investigué. Une bonne collaboration avec les enquêteurs est alors requise pour déterminer ce type d'information.

Sauf circonstances particulières discutées précédemment, les études de population nous apprennent qu'il est rare d'observer par hasard un grand groupe de fibres. Il en ressort que les groupes de fibres rencontrés sont de petits groupes qui n'excèdent généralement pas quelques unités, à l'exception des fibres en coton gris/noir ou bleu où cette inférence ne peut être effectuée sans indication de la taille des groupes sur un seul support. Cependant, cette information peut être obtenue dans Roux [44]. L'auteur estime ainsi que la probabilité d'observer un groupe de plus de 13 fibres en provenance du bruit de fond est inférieure à 2% pour les fibres en coton bleu ou gris/noir. Pour les autres catégories de fibres, la probabilité d'observer un groupe de plus de 13 fibres est comprise entre 1.3% et moins de 0.1%. Ces probabilités augmentent lorsque la taille des groupes diminue. En d'autres termes, plus le nombre de fibres indiciaires est important, plus la probabilité qu'elles proviennent d'un bruit de fond est faible.

Dans le cas particulier des transferts de fibres entre un conducteur et un siège automobile, Roux and Margot [54] ont déterminé que la taille du groupe des fibres liées à l'action criminelle était généralement inférieure à celle des deux principaux groupes de fibres provenant du bruit de fond. Ces groupes majoritaires sont généralement composés de fibres de couleurs bleu ou gris/noir et peuvent

être associés aux vêtements portés par les utilisateurs habituels du véhicule. A noter qu'aucune information concernant la taille des groupes n'est donnée dans cet article.

Il a également été constaté qu'il était rare d'observer plusieurs groupes importants provenant du bruit de fond. Champod and Taroni [55] proposent ainsi la simplification mathématique suivante :

$$b_{1,n} = 1 - b_0$$

avec $b_{1,n}$ la probabilité d'observer un groupe de fibres de taille 'n' et b_0 la probabilité de ne pas retrouver de fibres appartenant au bruit de fond.

Ainsi, lorsqu'un grand groupe de fibres est retrouvé, il est admis que la probabilité d'observer plus d'un grand groupe de fibres étrangères par hasard est négligeable. Cependant, que se passe-t-il lorsque la probabilité d'observer des fibres étrangères à l'action criminelle augmente, lorsque la taille du groupe de fibres indiciaires est petite par exemple ? La simplification est-elle toujours valable ? D'après l'étude de Champod and Taroni [55], les RV obtenus avec cette simplification mathématique restent conservatifs. Dans certaines situations, les RV peuvent être sous-estimés, notamment lorsque b_0 est important et/ou si la probabilité t_n est faible.

Enfin, comme mentionné précédemment, les transferts de fibres sur les sièges automobiles peuvent faire office d'exception [54]. En effet, jusqu'à 4 groupes de fibres non liés à l'action ont été observés dans leurs simulations de transfert. Les auteurs proposent alors des estimateurs pour l'observation de b_0, b_1, b_2, b_3, b_4 et $b_{>4}$ avec la probabilité la plus importante pour b_2 (0.55). Cependant, les auteurs mentionnent également que du moment que la taille 'n' du groupe augmente, la simplification proposée par Champod and Taroni [55] peut être appliquée.

En résumé, les études de population utilisées pour estimer l'occurrence des fibres (γ) peuvent également être consultées pour apprécier la probabilité qu'un groupe de fibres provienne du bruit de fond (b_n). Pour ce faire, il est cependant nécessaire que la taille des groupes observés sur chaque support soit communiquée dans la publication. A l'heure actuelle, cette information est uniquement disponible dans Roux [44] pour les fibres sur des sièges automobiles. Pour les autres études, malgré l'indication du nombre total des fibres observées, il est parfois difficile de déterminer si leur fréquence d'apparition est consécutive à la présence d'un très grand nombre de fibres présent sur un seul support ou d'un nombre modéré de fibres systématiquement retrouvées sur tous les supports étudiés.

Finalement, il est à noter que les affaires criminelles impliquant un ou des protagonistes fréquentant un environnement particulier d'un point de vue des fibres textiles doivent être considérées spécifiquement dans l'estimation des probabilités liées au bruit de fond. Cela est notamment le cas des personnes travaillant dans l'industrie textile où la probabilité d'observer des fibres sans lien avec l'action criminelle peut être considérable. C'est pourquoi il est important de toujours essayer d'expliquer la provenance de ces groupes de fibres, même si cela n'est pas toujours possible.

Le cas particulier des études de fibre cible

Ce type d'études a originellement été développé pour étudier la probabilité que des fibres sans lien avec l'action criminelle possèdent fortuitement des propriétés morphologiques, spectrales et chimiques similaires à des fibres indiciaires. Les études de fibre cible présentent une méthodologie de recherche se rapprochant des études de population, à la différence que la combinaison « type/couleur » des fibres à rechercher est préalablement sélectionnée. Une fois récoltées, une phase de comparaison plus poussées est entreprise sur les fibres optiquement similaires aux fibres cibles.

Concrètement, il s'agit de prélever toutes les fibres textiles présentes sur un type de support donné (sièges, cheveux, vêtements, ...), comme dans une étude de population. Dans un second temps, les fibres correspondant visuellement aux caractéristiques de couleur et de classe (naturelle, fabriquée ou végétale) prédéfinies sont extraites des adhésifs et comptabilisées. Ces fibres sont ensuite comparées aux fibres cibles en suivant une séquence d'analyse complète (comparaison des caractéristiques morphologiques, spectrales et chimiques). Finalement, il s'agira de dénombrer le nombre de fibres qui n'a pu être différencié des fibres cibles à la fin de la séquence analytique. A noter que les fibres qui ne répondent pas à la combinaison « type/couleur » ne sont ni considérées ni dénombrées.

Les fibres cibles sont généralement choisies en fonction des caractéristiques des vêtements vendus par les grandes chaînes de distribution. Idéalement, comme pour les études de bloc de couleur, il s'agit de considérer des caractéristiques de fibres textiles fréquemment rencontrées.

Pour le processus de comparaison entre les fibres cibles et les fibres visuellement non-différenciables, diverses observations et analyses peuvent être entreprises. Certaines études n'effectuent que des comparaisons sous microscope [36], tandis que d'autres utilisent des techniques analytiques, comme la MSP ou la FTIR. Par exemple, Cook and Wilson [56] ont utilisé la microscopie (visible et UV), la microspectrophotométrie (MSP) et la chromatographie sur couche mince (TLC) pour comparer les fibres. Palmer and Chinherende [57] ont également exploité la microscopie optique (lumière blanche et luminescence) et la MSP. Les auteurs mentionnent également que « *lorsque le type et la taille des fibres cibles le permettait, la FTIR et la TLC ont également été appliquées* »¹⁰.

Au final, seules les fibres ne pouvant être différenciées des fibres cibles sont comptabilisées. Plus le nombre de caractéristiques considérées est élevé, plus il sera rare d'observer des fibres non-différenciables. Ce phénomène est directement lié au pouvoir discriminant des différentes méthodes analytiques. En d'autres termes, plus le nombre de techniques utilisées est important, moins il sera fréquent d'observer des fibres similaires aux fibres cibles. Cela explique pourquoi Grieve, et al. [36] ont obtenu jusqu'à 33 fibres de coton orange et 20 fibres de coton vert non-différenciables. En effet, les auteurs n'ont effectué que des comparaisons optiques sous microscope et seules la classe et la couleur des fibres ont été considérées. Les résultats des différentes recherches publiées dans la littérature sont résumés dans le Tableau 4 présenté ci-après.

Jackson and Cook [58] et Cook, et al. [59] ont présenté les deux seules études dans lesquelles des groupes supérieurs à 10 fibres ont été retrouvés, malgré l'utilisation de la microscopie, de la MSP et de la TLC. Respectivement un groupe de 13 et de 11 fibres non-différenciables des fibres cibles ont été observés dans ces travaux. Dans les deux situations, il s'agissait de fibres de laine.

A titre historique, la plus grande probabilité d'observer un bruit de fond a été déterminée par la première étude de fibre cible qui a été conduite par Burd and Kirk [60]. Dans cette étude, les auteurs ont déterminé que la probabilité d'observer de la laine bleue par hasard sur des vêtements était de 6%. Comme pour Grieve, et al. [36], les résultats sont basés uniquement sur le type et la couleur. Il est donc important de savoir le discuter.

ÉTUDES DE FIBRE CIBLE (N=13)

¹⁰ Traduction libre de « Where the recovered fiber type and size permitted, Fourier transform infrared spectroscopy (...) and thin layer chromatography (TLC) analysis (...) were performed », p. 802.

Auteurs (Année)	Pays	Support(s)	Fibre(s) cible(s)	Nombre de fibres non-différentiables (maximum)
Cook and Wilson [56]	Royaume-Uni	335 vêtements	Laine bleue (1)	2
			Nylon bleu	0
			Acrylique bleu	0
			Acrylique rouge	1
			Laine bleue (2)	1
Jackson and Cook [58]	Royaume-Uni	108 sièges avant de véhicules	Laine rouge	13
			Polyester brun	2
Cook, et al. [59]	Royaume-Uni	100 vêtements	Laine bleue	11
			Coton rose	1
			Coton bleu	1
			Polyester gris	0
Palmer and Chinherende [57]	Royaume-Uni	66 sièges de voitures	Acrylique rouge	1
			Coton vert	4
		67 sièges de cinéma	Acrylique rouge	1
			Coton vert	0
Brüschweiler and Grieve [61]	19 Pays EFG	435 vêtements	Acrylique rouge	1
Rothe [62]	Allemagne	100 pantalons	Viscose jaune	0
Cook, et al. [63]	Royaume-Uni	Cheveux de 100 individus	Laine bleue	5
			Acrylique gris (1)	5
			Acrylique vert	2
			Acrylique gris (2)	0
Kelly and Griffin [64]	Royaume-Uni	80 sièges de bars	Laine bleue	5
Grieve, et al. [36]	Allemagne	112 sièges de cantines	Coton orange	33
			Coton vert	20
Wiggins, et al. [65]	Royaume-Uni	58 vêtements d'extérieur	Laine bleue	11
			Polyester noir	0
			Polyester gris	1
			Acrylique bleu	4

ÉTUDES DE FIBRE CIBLE (N=13)

Auteurs (Année)	Pays	Support(s)	Fibre(s) cible(s)	Nombre de fibres non-différentiables (maximum)
Jones and Coyle [66]	Royaume-Uni	100 vêtements	Polyester noir	3
			Nylon gris-bleu	0
			Nylon gris-brun	0
			Nylon orange	0
			Nylon vert	0
			Nylon noir	7
			Nylon gris	0
Coyle, et al. [67]	Royaume-Uni	52 vêtements	Polyester fluorescent jaune	0
Palmer, et al. [68]	Royaume-Uni	30 sièges de cinéma	Acrylique noir	0
		40 sièges de bus	Polyester bleu	0
		53 sièges de bar		

Tableau 4. Résultats des principales études de fibre cible (N=13).

Il est intéressant de noter qu'au-delà des fibres cibles issues de vêtements, il est possible d'étudier d'autres sources. C'est le cas de l'étude de Jones and Coyle [66] dans laquelle les fibres cibles proviennent de tapis de voiture. Le but de la recherche étant d'étudier l'occurrence de certains types de *flock fibres*, il est important de choisir une référence où cette catégorie de fibres est couramment utilisée. Dans le cas des *flock fibres*, il s'agit des tapis utilisés dans l'industrie automobile. Les techniques utilisées pour les comparaisons sont la microscopie et la spectroscopie FTIR. Les résultats sont similaires aux études de fibre cible basées sur des vêtements de référence. Aucune *flock fibre* cible colorée (nylon bleu/gris, gris/brun, orange, vert ou gris) n'a été retrouvée sur les vêtements examinés dans l'étude. En revanche, trois *flock fibres* en polyester noir non-différentiables de la fibre cible considérée ont été observé sur un habit. Concernant les fibres cibles en nylon noir issues d'une boîte à gant (Vauxhall Antara), un seul individu présentait sept fibres non-différentiable sur ses habits.

Un des principaux défauts des études de fibre cible est leur aspect trop spécifique, rendant complexe la considération de l'information fournie par ce type d'études. En effet, en se concentrant uniquement sur un ou plusieurs groupes de fibres de référence, il est compliqué d'extrapoler l'information à des fibres indiciaires qui présenteraient des caractéristiques différentes. Par exemple, comment utiliser l'information des études de fibre cible pour l'évaluation de fibres indiciaires qui ne présentent pas la même sous-classe chimique que les fibres cibles considérées dans les études ?

Dans la situation idéale où les fibres indiciaires seraient en tous points similaires aux fibres cibles, une autre limitation conséquente apparaîtrait. En théorie, les études de fibre cible permettent d'estimer directement la probabilité $b_{1,m}\gamma$ [57]. Cependant, il s'avère impossible d'inférer sur l'occurrence des fibres cibles (γ) car aucune information n'est fournie au sujet du nombre total des fibres présentes à l'origine sur le support. Est-ce que les fibres cibles retrouvées étaient majoritaires sur le support ou étaient-elles noyées au sein de dizaines d'autres groupes de fibres ? Il est uniquement possible de savoir que 'n' fibres n'ont pas pu être distinguées des fibres cibles sur un total de 'm' fibres présentant

la même combinaison « type/couleur ». Ainsi, les études de fibre cible représentent une information qui peut être utilisée lorsqu'il s'agit d'approfondir l'estimation de la fréquence d'apparition d'une combinaison « type/couleur », comme cela est le cas des études de bloc de couleur. Ces études mettent également en évidence le fait qu'il est rare d'observer fortuitement des fibres similaires aux fibres indiciaires. A ce titre, les études de fibre cible aident également à l'estimation des probabilités liées au bruit de fond ($b_{1,n}$ et b_0).

Exemple d'estimation de la probabilité qu'un groupe de fibres provienne du bruit de fond

Pour présenter le processus d'estimation des probabilités associées au bruit de fond ($b_{1,n}$ et b_0), retournons à l'exemple de cas d'agression sexuelle présenté dans cet article. Pour rappel, un groupe de 150 fibres étrangères en polyester bleu a été retrouvé sur la face interne de la culotte appartenant à la victime d'une agression sexuelle. Est-il possible qu'il provienne du bruit de fond ?

Comme mentionné précédemment, les études de population indiquent indirectement que les groupes de fibres en provenance du bruit de fond ne devraient pas dépasser les quelques unités de fibres (exception faite du coton gris/noir ou bleu). Cela est dû au fait que seul le nombre total des fibres observées est communiqué. Par exemple, Palmer and Burch [18] relèvent une fréquence d'apparition des fibres en polyester bleu de 6.8% sur un total de 441 fibres prélevées dans les cheveux de 26 individus. Cela représente moins de 30 fibres en polyester bleu retrouvées en totalité. Dans une autre étude de Cantrell, et al. [26], environ 1% de fibres « autres » - catégorie dans laquelle se trouvent les fibres en polyester bleu - ont été recensées sur un total de 3025 fibres prélevées sur 16 sièges de cinéma, soit une trentaine de fibres au total.

La thèse de doctorat de Roux [44] propose une information plus précise au niveau de la taille des groupes sur un seul support. Elle indique que la probabilité d'observer un groupe de fibres en polyester bleu de plus de 13 unités sur un siège automobile est inférieure à 0.1%. Cependant, comme pour les études de population ci-dessus, les résultats ne concernent pas des fibres retrouvées sur des sous-vêtements.

L'étude de Grieve and Dunlop [25], dans laquelle 20 sous-vêtements ont été considérés, apparaît alors comme plus appropriée. Malheureusement, aucune information précise concernant le polyester bleu n'est indiquée. Ils mentionnent cependant que pour les fibres fabriquées et retrouvées sur les sous-vêtements (555 combinaisons « type / couleur »), seules 7 combinaisons étaient concernées par des groupes composés de plus de 10 fibres (maximum 24 fibres). Dans 64.7% des cas, seule 1 fibre par combinaison a été observée.

Au vu des résultats publiés par Grieve and Dunlop [25], Roux [44], Cantrell, et al. [26] et Palmer and Oliver [17], il est possible de justifier l'estimation selon laquelle la probabilité d'observer un groupe de 150 fibres appartenant au bruit de fond ($b_{1,150}$) est proche de 0. Par conséquent, selon l'approximation proposée par Champod and Taroni [55] pour les grands groupes de fibres étrangères, la probabilité que le groupe de fibres indiciaires ne provienne pas du bruit de fond (b_0) est proche de 1.

A noter qu'il est possible de réaliser une étude interne pour apporter des estimations plus spécifiques au cas traité. Enfin, comme préalablement mentionné, il peut être nécessaire de modifier ces approximations en fonction du vécu des protagonistes. En imaginant que la victime soit couturière à domicile, la probabilité d'observer un groupe de 150 fibres en polyester bleu en provenance du bruit de fond devrait être révisée.

Vers des études hybrides ?

Tout au long de cet article, il a été constaté que les différentes études permettant de se prononcer sur le bruit de fond et sur l'occurrence d'une combinaison « type/couleur » de fibres possédaient des avantages, mais également passablement d'inconvénients. Par exemple, les études de population vont rarement au-delà de la description « type/couleur » et n'indiquent pas le nombre de fibres retrouvées sur un seul support. Les études de bloc de couleur et les études de marché ne considèrent quant à elles pas les récipients, mais uniquement le textile à la source du transfert. Enfin, les études de fibre cible sont spécifiques à certaines fibres de références et ne tiennent pas compte des toutes les autres fibres retrouvées.

Pour pallier à ces défauts, il serait intéressant de réaliser des études hybrides (Figure 1). Il s'agit d'une nouvelle conception expérimentale, proposée par Palmer [41] dans sa recherche de doctorat, qui consiste à mélanger les différentes méthodologies des études traditionnelles. Concrètement, le but serait d'échantillonner un type de substrat donné (sièges, vêtements, cheveux, ...) afin d'y récolter toutes les fibres présentes selon une approche similaire aux études de population. Dans un second temps, le type générique et la couleur des fibres serait déterminé, toujours en suivant une méthodologie similaire aux études de population. Il s'agirait ensuite de détailler spécifiquement chacun des blocs « type/couleur » défini précédemment, selon une approche similaire aux études de bloc de couleur cette fois-ci. La batterie d'examen réalisée sur chaque bloc dépendrait alors de la nature des fibres à analyser (pas d'analyse FTIR sur des fibres en coton par exemple).

< INSERER Figure_1.TIF >

Figure 1. Représentation graphique de la méthodologie proposée par Palmer [41] pour les études hybrides (schéma reproduit et traduit avec l'autorisation de l'auteur).

En exploitant les caractéristiques des sous classes physiques et chimiques des fibres, les études hybrides permettraient ainsi d'affiner l'estimation de l'occurrence des fibres véritablement retrouvées sur le terrain (et pas uniquement des fibres issues de textiles sélectionnés). L'information serait ainsi plus représentative des conditions réelles du terrain. De plus, en précisant la taille des différents groupes observés sur chacun des supports, l'estimation des paramètres liés au bruit de fond serait également possible. Par contre, l'information sur l'intra variabilité des sources textiles dont ces fibres sont issues n'étant pas connues, cela peut rendre difficile la détermination de la taille des groupes de fibres non différenciables.

Les études hybrides présentent également d'autres inconvénients, notamment le temps d'analyse. En effet, l'investigation détaillée de chaque bloc représente un long et laborieux travail. C'est pourquoi Palmer [41] propose de partager les blocs entre plusieurs laboratoires forensiques. Par exemple, un laboratoire spécialisé dans l'analyse de fibres végétales s'occuperait des blocs comprenant des fibres de coton, tandis qu'un laboratoire équipé pour l'analyse de fibres fabriquées étudierait préférentiellement des fibres en polyester ou en acrylique. Une base de données conséquentes serait ainsi créée et pourrait être consultée par les différents collaborateurs pour l'investigation de cas réels. En effet, lors de cas pratiques, il serait possible de se référer aux études hybrides pour déterminer les fréquences d'apparition des différentes caractéristiques physiques et chimiques des fibres indiciaires (type, couleur, morphologie, spectre MSP, spectre FTIR, ...).

En résumé, les études hybrides représentent une alternative intéressante aux études traditionnelles car mieux adaptées aux circonstances réelles du terrain et plus informatives. Les auteurs encouragent ainsi la réalisation de telles études.

Conclusion

Indépendamment de l'expérience acquise par l'expert forensique, l'estimation des paramètres nécessaires à l'interprétation bayésienne d'un cas impliquant des fibres textiles nécessite de consulter la littérature forensique spécialisée. Passablement de travaux ont été publiés depuis les 50 dernières années. Aucune source d'information n'est idéale, ni en tous points similaire aux circonstances des cas rencontrés sur le terrain. Cela est une conséquence de la science forensique qui s'intéresse à des cas uniques et non reproductibles. Il est ainsi nécessaire de multiplier les sources d'information, mais également de connaître leurs avantages et leurs limitations. L'importance de sélectionner une population pertinente en fonction des circonstances du cas pour estimer les différents paramètres a également été mise en avant à travers plusieurs exemples.

Le présent article a proposé une revue critique de la littérature permettant d'apprécier les probabilités liées à l'occurrence d'un groupe de fibres (γ), mais également celles liées aux fibres en provenance du bruit de fond ($b_0/b_{1,n}$). Il a été montré que les études de population dans lesquelles les informations sur la taille des groupes sont à disposition étaient une des sources les plus utiles pour estimer ces deux types de probabilités. Les études de bloc de couleur permettent quant à elles d'affiner l'estimation de l'occurrence des fibres. Elles mettent en évidence qu'il est erroné d'écarter les groupes de fibres perçues comme communes selon les études de population sans connaître leurs caractéristiques morphologiques, spectrales et chimiques.

Une discussion approfondie sur les études de fibre cible a également été réalisée. Il en ressort que ce type d'études est très spécifique et peut engendrer des problèmes d'interprétation lorsque les caractéristiques des fibres indiciaires sont différentes des caractéristiques des fibres utilisées dans les publications. Néanmoins, les études de fibre cible mettent en évidence le fort pouvoir discriminant des séquences analytiques complètes, même pour des fibres dites communes. Elles représentent également une bonne source d'information pour l'estimation de la taille des groupes de fibres spécifiques observés « par hasard » sur un support donné.

Au-delà des travaux publiés, les auteurs encouragent la création, l'alimentation et l'utilisation de bases de données internes, mais également d'études hybrides mélangeant les méthodologies des études de population et des études de bloc de couleur. Il s'agit d'appuis de choix pour l'interprétation de la rareté des sous-classes de certains blocs de fibres.

Finalement, dans les cas complexes où aucune donnée n'est à disposition, il est nécessaire de se poser la question de la faisabilité de l'expertise. La réalisation de simulations proches des circonstances du cas investigué reste alors souvent l'unique possibilité d'apprécier pleinement les probabilités liées à l'occurrence et au bruit de fond, mais également au transfert et à la persistance. Les sources permettant d'estimer ces deux derniers paramètres seront discutées dans une seconde partie.

Références

- [1] Robertson B and Vignaux GA. Probability - The Logic of the Law. *Oxford Journal of Legal Studies*. 1993; 13(4): 457-478.
- [2] Aitken CGG and Taroni F. *Statistics and the evaluation of evidence for forensics scientists*. 2nd ed. Chichester, England: John Wiley and Sons, Ltd; 2004.
- [3] Lindley DV. *The Use of Statistics in Forensic Science*. Chichester, England: Ellis Horwood Limited; 1991. Chap., Probability.
- [4] Savage LJ. *The Foundations of Statistics*. 2nd ed. New York, USA: Dover Publications Inc.; 1972.
- [5] De Finetti B. *Probabilità E Induzione (Induction and Probability)*. Bologne, Italy: Editrice Clueb; 1993.
- [6] Sivia DS and Skilling J. *Data Analysis - A Bayesian Tutorial*. 2nd ed. New York: Oxford University Press; 2006.
- [7] Robertson B and Vignaux GA. *Interpreting evidence: evaluating forensic science in the courtroom*. J. Wiley; 1995.
- [8] Cook R, Evett IW, Jackson G, Jones PJ, Lambert JA. A model for case assessment and interpretation. *Sci. Justice*. 1998; 38(3): 151-156.
- [9] Evett IW, Jackson G, Lambert JA. More on the hierarchy of propositions: Exploring the distinction between explanations and propositions. *Sci. Justice*. 2000; 40(1): 3-10.
- [10] Taroni F, Bozza S, Aitken C. Decision analysis in forensic science. *J. Forensic Sci*. 2005; 50(4): 894-905.
- [11] Champod C and Taroni F. *Forensic Examination of Fibres*. London: Taylor & Francis; 1999. Chap. 13.3, The Bayesian Approach.
- [12] Taroni F, Bozza S, Biedermann A, Garbolino P, Aitken C. *Data Analysis in Forensic Science: A Bayesian Decision Perspective*. John Wiley & Sons; 2010.
- [13] Robertson B and Vignaux GA. *Human Identification: The Use of DNA Markers*. Springer Netherlands; 1995. Chap. 16, DNA evidence: wrong answers or wrong questions?
- [14] Robertson J and Grieve MC (Eds.). *Forensic Examination of Fibres*. 2nd ed. London: Taylor & Francis; 1999.
- [15] Roux C and Margot P. The population of textile fibres on car seats. *Sci. Justice*. 1997; 37(1): 25-30.
- [16] Massonnet G, Schiesser M, Champod C. Population of textile fibres on white T-shirts. Paper presented at: 6th European Fibres Group Meeting; 1998; Dundee, Scotland
- [17] Palmer R and Oliver S. The population of coloured fibres in human head hair. *Science & justice: journal of the Forensic Science Society*. 2004; 44(2): 83.
- [18] Palmer R and Burch HJ. The population, transfer and persistence of fibres on the skin of living subjects. *Sci. Justice*. 2009; 49(4): 259-264.
- [19] Dignan SJ and Murphy K. Fibre evidence from fingernail clippings. *Canadian Society of Forensic Science Journal*. 2002; 35(1): 17-21.
- [20] McBride A and Brown R. Fibres under fingernails. Paper presented at: 13th EFG Meeting; 2005; Bled, Slovenia
- [21] Grieve MC and Biermann TW. The population of coloured textile fibres on outdoor surfaces. *Sci. Justice*. 1997; 37(4): 231-239.
- [22] Lepot L, Vanden Driessche T, Lunstroot K, Barret A, Gason F, De Wael K. Extraneous fibre traces brought by river water — A case study. *Sci. Justice*. 2017; 57(1):
- [23] Lazic J, Caron N, Dufros Y. Population of Textile Fibres in Public Places. Paper presented at: 20th EFG Meeting; 2012; Vienna, Austria
- [24] Fong W and Inami SH. Results of a study to determine the probability of chance match occurrences between fibers known to be from different sources. *J. Forensic Sci*. 1986; 31(1): 65-72.

- [25] Grieve MC and Dunlop JT. A practical aspect of the Bayesian interpretation of fibre evidence. *J Forensic Sci Soc.* 1992; 32(2): 169-175.
- [26] Cantrell S, Roux C, Maynard P, Robertson J. A textile fibre survey as an aid to the interpretation of fibre evidence in the Sydney region. *Forensic Sci. Int.* 2001; 123(1): 48-53.
- [27] Was-Gubala J. Comparative population studies of fibres secured in Poland, Czech Republic and Germany. *Problems of Forensic Sciences.* 2004; 60 (LX): 58-77.
- [28] Watt R, Roux C, Robertson J. The population of coloured textile fibres in domestic washing machines. *Sci. Justice.* 2005; 45(2): 75-83.
- [29] Grieve MC, Biermann TW, Schaub K. The individuality of fibres used to provide forensic evidence – not all blue polyesters are the same. *Sci. Justice.* 2005; 45(1): 13-28.
- [30] Cassista A and Peters A. Survey of red, green and blue cotton fibres. *Canadian Society of Forensic Science Journal.* 1997; 30(4): 225-231.
- [31] Grieve MC, Dunlop J, Haddock P. An assessment of the value of blue, red, and black cotton fibers as target fibers in forensic science investigations. *J. Forensic Sci.* 1988; 33(6): 1332-1344.
- [32] Buzzini P and Massonnet G. The analysis of colored acrylic, cotton, and wool textile fibers using micro-Raman spectroscopy. Part 2: Comparison with the traditional methods of fiber examination. *J. Forensic Sci.* 2015; 60(3): 712-720.
- [33] Jones J and Coyle T. Automotive flock and its significance in forensic fibre examinations. *Sci. Justice.* 2010; 50(2): 77-85.
- [34] Petraco N and Kubic T. *Color Atlas and Manual of Microscopy for Criminalists, Chemists, and Conservators. Appendix C. CRC Press LLC; 2004. Chap., Synthetic Fibers.*
- [35] Grieve MC, Biermann TW, Davignon M. The evidential value of black cotton fibres. *Sci. Justice.* 2001; 41(4): 245-260.
- [36] Grieve MC, Biermann TW, Davignon M. The occurrence and individuality of orange and green cotton fibres. *Sci. Justice.* 2003; 43(1): 5-22.
- [37] Biermann TW. Blocks of colour IV: the evidential value of blue and red cotton fibres. *Sci. Justice.* 2007; 47(2): 68-87.
- [38] Palmer R, Hutchinson W, Fryer V. The discrimination of (non-denim) blue cotton. *Sci. Justice.* 2009; 49(1): 12-18.
- [39] Jones G and Massonnet G. The analysis of light blue cotton fibers using Raman spectroscopy and microspectrophotometry. Paper presented at: 17th EFG Meeting; 2009; Berlin, Germany
- [40] Buzzini P and Massonnet G. The discrimination of colored acrylic, cotton, and wool textile fibers using micro-Raman spectroscopy. Part 1: In situ detection and characterization of dyes. *J. Forensic Sci.* 2013; 58(6): 1593-1600.
- [41] Palmer R. The evaluation of fibre evidence in the investigation of serious crime [PhD Thesis]. [Lausanne, Switzerland]: University of Lausanne; 2016.
- [42] Biermann TW and Grieve MC. A computerized data base of mail order garments: A contribution toward estimating the frequency of fibre types found in clothing. Part 2: The content of the data bank and its statistical evaluation. *Forensic Sci. Int.* 1996; 77(1-2): 75-91.
- [43] Biermann TW and Grieve MC. A computerized data base of mail order garments: A contribution toward estimating the frequency of fibre types found in clothing. Part 1: The system and its operation. *Forensic Sci. Int.* 1996; 77(1-2): 65-73.
- [44] Roux C. La valeur indiciale des fibres textiles découvertes sur un siège de voiture: problèmes et solutions [Thèse de doctorat]. [Lausanne, Suisse]: Université de Lausanne; 1997.
- [45] Langdon S. The Evidential Value of Textile Fibres in Criminal Investigations [PhD Thesis]. [Sydney, Australia]: University of Technology Sydney; 2003.
- [46] Home JM and Dudley RJ. A Summary of Data Obtained from a Collection of Fibres from Casework Materials. *J Forensic Sci Soc.* 1980; 20(4): 253-261.

- [47] Laing D, Hartshorne A, Cook R, Robinson G. A fiber data collection for forensic scientists—collection and examination methods. *J. Forensic Sci.* 1987; 32: 364-369.
- [48] Kornerup A and Wanschler JH. *Methuen handbook of colour*. London, England: Methuen & Co. Ltd; 1967.
- [49] Robertson J and Roux C. *Forensic Examination of Fibres*. London: Taylor & Francis; 1999. Chap. 5.1, Transfer, Persistence and Recovery of Fibres.
- [50] Margot P. La trace, vecteur fondamental de la police scientifique. *Revue International de Criminologie et de Police Technique et Scientifique*. 2014; 67: 72-97.
- [51] Robertson J. *Forensic Examination of Fibres*. London: Taylor & Francis; 1999. Chap. 5.3, Protocols for Fibres Examination and Initial Preparation.
- [52] Evett IW. A quantitative theory for interpreting transfer evidence in criminal cases. *Applied Statistics*. 1984: 25-32.
- [53] Sulkava R. Evidential value of a Cigarette butt and Blue denim fibres in a Homicide case. Paper presented at: 18th EFG Meeting; 2010; London, England
- [54] Roux C and Margot P. An attempt to assess the relevance of textile fibres recovered from car seats. *Sci. Justice*. 1997; 37(4): 225-230.
- [55] Champod C and Taroni F. Bayesian framework for the evaluation of fibre transfer evidence. *Sci. Justice*. 1997; 37(2): 75-83.
- [56] Cook R and Wilson C. The significance of finding extraneous fibres in contact cases. *Forensic Sci. Int.* 1986; 32(4): 267-273.
- [57] Palmer R and Chinherende V. A target fiber study using cinema and car seats as recipient items. *J. Forensic Sci.* 1996; 41(5): 802-803.
- [58] Jackson G and Cook R. The significance of fibres found on car seats. *Forensic Sci. Int.* 1986; 32(4): 275-281.
- [59] Cook R, Salter MT, O'Connor AM. The significance of finding extraneous fibres on clothing. Paper presented at: International Association of Forensic Science Meeting; 1993; Düsseldorf, Germany
- [60] Burd DQ and Kirk PL. Clothing Fibers As Evidence - A Study of the Frequency of Occurrence of Blue Wool Fibers. *Journal of Criminal Law & Criminology*. 1941; 32: 353-357.
- [61] Brüscheiler W and Grieve MC. A study on the random distribution of a red acrylic target fibre. *Sci. Justice*. 1997; 37(2): 85-89.
- [62] Rothe M. Examination of foreign fibre populations. Paper presented at: 5th European Fibres Group Meeting; 1997; Berlin, Germany
- [63] Cook R, Webb-Salter MT, Marshall L. The significance of fibres found in head hair. *Forensic Sci. Int.* 1997; 87(2): 155-160.
- [64] Kelly E and Griffin RME. A target fibre study on seats in public houses. *Sci. Justice*. 1998; 38(1): 39-44.
- [65] Wiggins K, Drummond P, Hicks Champod T. A study in relation to the random distribution of four fibre types on clothing (incorporating a review of previous target fibre studies). *Sci. Justice*. 2004; 44(3): 141-148.
- [66] Jones J and Coyle T. Synthetic flock fibres: A population and target fibre study. *Sci. Justice*. 2011; 51(2): 68-71.
- [67] Coyle T, Shaw C, Stevens L. The Evidential Value of Fibres Used in 'Hi-Vis' Work Wear. *Journal of American Society of Trace Evidence Examiners*. 2013; 4(2): 2-16.
- [68] Palmer R, Burnett E, Luff N, Wagner C, Stinga G, Carney C, Sheridan K. The prevalence of two 'commonly' encountered synthetic target fibres within a large urban environment. *Sci. Justice*. 2015; 55(2): 103-106.