

POST-PRINT

Werner D., Gobat G., Rhumorbarbe D., Biedermann A., Taroni F., Gallusser A. 2022, Examen et interprétation des traces sur les éléments de munitions, in: Traces d'armes à feu, Expertise des armes et des éléments de munitions dans l'investigation criminelle, 3rd Ed., Gallusser A. et al. (Eds.), Lausanne: EPFL Press, 373–432.

Chapitre 9

Examen et interprétation des traces sur les éléments de munition

Denis Werner, Géraldine Gobat, Damien Rhumorbarbe, Alex Biedermann, Franco Taroni, Alain Gallusser

9.1. Introduction

L'examen et l'interprétation des traces sur les éléments de munition ont pour but d'évaluer si ces traces ont été produites par une arme à feu particulière (ou plus précisément une pièce de cette dernière). Cette discipline de la science forensique est souvent rattachée, notamment dans le monde anglo-saxon, à l'examen et l'interprétation des traces d'outils comme le montrent par exemple les activités de l'Association of Firearm and Tool Mark Examiners (AFTE). L'exploitation des traces d'outils se focalise, quant à elle, sur les traces ou marques (déformations permanentes) laissées par le contact entre deux objets, à leur surface. L'objet le plus dur est généralement défini comme l'outil qui laisse des traces sur l'objet le plus mou (surface réceptrice ou objet à usiner). Ainsi, l'examen et l'interprétation des traces sur les éléments de munition, aussi appelée « l'identification des armes à feu » dans le langage courant, constituent une discipline qui définit l'outil comme l'arme à feu, et la cartouche ou les différents éléments de munition qui la composent, comme la surface réceptrice. Les éléments de munitions sont en effet nettement plus tendres et malléables que les pièces de l'arme à feu qui sont constituées d'alliages particulièrement résistants. Dès lors, les différentes pièces de l'arme à feu produisent des traces sur la surface des éléments de munition avec lesquels ils entrent en contact.

On parle souvent de traces caractéristiques, car elles contiennent des stigmates (caractéristiques) issus de la surface de la pièce de l'arme à feu ayant produit la trace, et utiles à l'identification de l'origine de la trace. Ces caractéristiques, multiples et variées, se distinguent par leur origine. On distingue ainsi les caractéristiques issues de la fabrication et celles qui sont acquises au cours de la vie de la pièce. Les caractéristiques de fabrication d'une pièce d'arme à feu proviennent de son usinage et donc de l'interaction avec des outils qui ont servi à produire et façonner sa forme et sa surface (contact entre un outil et une surface réceptrice). Les caractéristiques acquises, quant à elles, sont produites lors de la vie de la pièce de l'arme à feu, comme lors d'un choc avec une surface plus dure ou lors de son utilisation normale (p. ex. tir, nettoyage, manipulation). Tout contact avec une autre surface entraîne une usure et une détérioration (un stigmate) de la pièce. Ainsi, ce processus répété d'interaction entre un outil et une surface réceptrice, et les traces qui en résultent, constituent la base de l'examen et de l'interprétation des traces caractéristiques laissées par des armes à feu sur les éléments de munition.

Même si certaines considérations théoriques et pratiques sont communes aux traces d'outils et aux traces laissées par des armes à feu sur des éléments de munition (p. ex. formation des traces, méthodes optiques pour les mettre en évidence), ce chapitre se concentre sur les traces laissées sur des éléments de munition et leur exploitation dans le cadre d'une expertise visant à identifier une arme à feu comme étant à la source des traces observées sur les éléments de munition indicielles retrouvés dans le cadre d'un cas.

9.2. Bref historique

Les premiers cas d'identification dans un contexte lié à des armes à feu datent au milieu du XIX^e siècle. Le premier cas mentionné se situe à Londres en 1835 et concerne l'identification d'un moule ayant servi à fondre un projectile. La détermination d'un orifice d'entrée de projectile fut également reportée en 1852 en Oregon (Etats-Unis). Durant la guerre de Sécession aux Etats-Unis, plusieurs cas d'identification de marques et de calibres de projectiles sont relatés par Hamby [1999].

L'expertise des armes à feu modernes remonte quant à elle au début du XX^e siècle avec la publication des premiers articles consacrés à ce sujet dans la littérature. Aux Etats-Unis, la première référence connue relative à l'identification des projectiles est l'œuvre d'Albert Llewellyn Hall intitulée *The Missile and the Weapon*, publiée en juin 1900 dans le *Buffalo Medical Journal* [Hall, 1931]. Un cas d'identification de douilles en 1907 est cité par Heard [2008] et Warlow [2012]. Lors d'une émeute à Brownsville au Texas, des soldats de l'infanterie américaine ont tiré sur la foule. Des experts du *Frankfurt Arsenal* ont pu identifier 33 douilles de calibre .30 sur les 39 douilles retrouvées sur les lieux de la fusillade. Ils ont pu classer et identifier les douilles en quatre groupes, respectivement tirés par quatre armes à feu différentes. Les six autres douilles n'ont pas pu être attribuées à une arme à feu précise.

En Europe, la première publication a été écrite par Richard Kockel de Leipzig en 1905 et s'intitule *Zur Sachverständigen Beurteilung von Geschossen* [Hamby, 1999]. Une présentation sur l'identification des projectiles a été donnée au congrès de médecine légale de Paris le 20 mai 1912 par le professeur Victor Balthazard, qui s'est probablement inspiré des travaux de Kockel. Le sujet fera l'objet d'une publication l'année suivante [Balthazard, 1913a]. La même année, Balthazard publiera un autre article sur l'identification des douilles, dans la même revue [Balthazard, 1913b]. Le lecteur intéressé par plus de détails l'historique de l'identification en matière d'armes à feu est invité à consulter les revues complètes publiées de Bonfanti et Warniment [1998] et Hamby [1999].

9.3. Typologie des caractéristiques

La description des caractéristiques d'un élément de munition s'articule en différents niveaux, selon les buts et le type d'information recherchée. Un projectile tiré ou une douille percutée par une arme à feu présentent des caractéristiques propres à la munition employée, telles que leurs dimensions ou leur composition, ainsi que des caractéristiques qui ne sont pas présentes au moment de la fabrication de la cartouche et sont, au contraire, acquises au cours du vécu de la munition. Elles proviennent notamment des interactions avec l'arme à feu lors du tir ou d'un impact que ce soit avant ou après le tir. Dans ce chapitre, les caractéristiques de la munition qui sont imparties par son fabricant et à sa fabrication sont définies comme des caractéristiques intrinsèques. Elles regroupent toute information pouvant être utilisée pour caractériser le type de munition employée, comme la forme, les dimensions ou la composition de l'élément de munition. Elles sont utiles pour déterminer le calibre nominal, le type, le fabricant et le modèle de la munition (cf. § 6.9). A l'inverse, les caractéristiques extrinsèques à la munition sont considérées comme toute caractéristique qui n'est pas propre à la munition, mais acquise lors de l'interaction avec une autre surface, à savoir toute trace laissée par le contact avec une arme à feu ou à la suite d'un impact (p. ex. avec une cible, le sol ou une paroi). Ces caractéristiques

extrinsèques sont donc une impression, une déformation, une marque sur la surface, constituant une trace acquise et permanente qui peut être moulée, glissée ou les deux à la fois. Les caractéristiques extrinsèques laissées par une arme à feu sont par exemple, les traces du percuteur et de l'extracteur sur une douille, ou les impressions de champ et de rayure sur un projectile. Les caractéristiques de fabrication laissées par l'arme à feu sur les éléments de munition sont, dans un premier temps, exploitées dans un but d'investigation, afin d'orienter l'enquête en déterminant (identifiant) les différents types, fabricants et modèles potentiels d'armes à feu ayant pu tirer les éléments de munition et laisser les traces observées. Elles permettent généralement de dresser une liste d'armes à feu potentielles (cf. § 9.6.2.1). Enfin, dans une étape d'interprétation (évolution probabiliste), les caractéristiques acquises notamment permettent d'évaluer si ces traces sont issues d'une source (p. ex. une arme à feu particulière) plutôt que d'une autre (p. ex. une liste d'armes à feu potentielles). Elles sont donc utiles pour la détermination (individualisation) de l'arme à feu à l'origine des traces observées sur un élément de munition. Ainsi, ces caractéristiques peuvent s'avérer plutôt générales, en relation aux procédés employés lors de la conception des parties de l'arme à feu, ou beaucoup plus fines si elles représentent les irrégularités macroscopiques, voire microscopiques, de la surface des parties de l'arme à feu en question. Ainsi, toute caractéristique d'un objet (p. ex. une pièce d'arme à feu, un élément de munition ou un outil) qu'elle soit issue de la fabrication ou acquise, peut être classifiée selon trois niveaux de source : caractéristique de classe, de sous-classe et individuelle ou dites individuelle [Kwan, 1977].

Les caractéristiques de classe (1^{er} niveau) sont des caractéristiques (morphologiques) mesurables des traces qui sont propres à un groupe ou un type d'objet, en général un modèle, et qui sont notamment déterminées et conçues (*design*) par le fabricant de manière intentionnelle au cours de la conception et de la fabrication de l'objet. Les caractéristiques de classe sont donc des caractéristiques générales qui séparent un type d'objets d'un ensemble d'objets divers. Pour les armes à feu, il s'agit des caractéristiques généralement communes aux armes d'un même modèle, mais il est tout à fait possible que des armes de modèles différents présentent les mêmes caractéristiques de classe. Par exemple, le nombre et l'orientation des impressions de champ et de rayure sur un projectile ou encore la position relative entre les traces de l'extracteur-éjecteur et la forme de la trace du percuteur sur une douille sont des caractéristiques de classe transmises par l'arme à feu sur ces éléments de munition. Elles sont donc utiles pour déterminer le type d'armes à feu (modèles) qui a pu laisser les traces observées sur un ou plusieurs éléments de munition (processus d'identification).

Finalement, les stigmates (*features* en anglais) sont les caractéristiques qui sont propres à un groupe beaucoup plus restreint d'objets et qui, normalement, ne sont pas contrôlées de manière intentionnelle par le fabricant. Elles peuvent encore se distinguer en caractéristiques de sous-classe (2^e niveau) et en caractéristiques individuelles ou dites individuelles (3^e niveau).

Les caractéristiques de sous-classe sont plutôt involontairement transmises à l'objet au moment de sa fabrication et sont communes à un lot d'objets fabriqués et usinés consécutivement par un même outil¹ dans le même état approximatif d'usure. Elles ne sont donc pas propres à un objet particulier, mais permettent une certaine discrimination entre des groupes objets présentant les mêmes caractéristiques de classe. La source des caractéristiques de sous-classe peut évoluer, un outil peut ainsi changer après l'usinage d'un lot d'objets. Ainsi, les traces provenant d'armes à feu produites dans le cadre d'un même lot peuvent présenter des caractéristiques microscopiques similaires. L'expert doit ainsi se renseigner sur les procédés de fabrication employés pour produire des parties d'armes à feu, et notamment aux procédés responsables de la finition de la surface, dans la mesure où des pièces produites

¹ Il faut comprendre le terme « outil » au sens d'un objet qui permet d'usiner ou façonner un objet lors de son usinage, comme une broche lors du rayage d'un canon d'une arme à feu ou une fraise lors de la découpe d'une glissière.

consécutivement peuvent présenter des particularités morphologiques communes [Nichols, 2018]. A noter que certains processus de fabrication sont plus propices que d'autres à la production des caractéristiques de sous-classe ou à leur transfert sur les objets usinés.

En revanche, les caractéristiques dites individuelles sont involontairement transmises à l'objet soit au moment de sa fabrication, soit lors de son vécu. Selon Biasotti et Murdock [1984], ces caractéristiques se produisent de manière accidentelle et « unique », et peuvent être, soit permanentes, soit évolutives. D'autres auteurs mentionnent de caractéristiques produites de manière « aléatoire », voire « accidentelle », lors de la fabrication ou l'utilisation de l'objet [Baldwin *et al.*, 2013]. Elles correspondent par conséquent à des imperfections ou des irrégularités survenues à la suite d'un processus non contrôlé (non intentionnel) sur la surface de parties constitutives d'un objet, soit lors du processus de fabrication, soit lors de l'utilisation ou la détérioration (corrosion ou dégâts) subséquente de l'objet en question. Si ces caractéristiques proviennent d'une activité survenue après la fabrication de l'objet, on parle alors de caractéristiques acquises par l'objet. Pour une arme à feu ou une partie de celle-ci, ce type de caractéristique peut apparaître lors de son utilisation (tirs), sa manipulation, son démontage, son nettoyage ou encore lors de tous phénomènes qui peuvent éventuellement altérer – même d'une manière infime – la morphologie de la surface [Bonfanti et De Kinder, 1999]. La dénomination de caractéristiques individuelles peut sembler abusive, dans le sens où elle laisse supposer que ces caractéristiques permettent nécessairement une identification, alors que ce n'est pas le cas. Ce terme a pour but de souligner l'aspect « exceptionnel », hautement variable et par conséquent discriminatif, de ces caractéristiques qui tendent à établir (sans jamais l'atteindre) le caractère unique d'un objet (processus d'individualisation). En effet, il convient de reconnaître qu'une caractéristique dite individuelle, considérée de manière isolée, ne peut souvent pas être qualifiée d'unique en soi. Lors d'une comparaison de traces, les éléments constituant une seule caractéristique dite individuelle, présente par exemple dans une trace de percuteur laissée par une arme à feu particulière, pourraient se retrouver dans d'autres traces de percuteur provenant de différentes armes à feu. Il en résulte que la spécificité d'un objet ne peut être établie qu'en considérant la combinaison de l'ensemble de ses caractéristiques dites individuelles [Cork *et al.*, 2008]. L'apparition d'une strie sur la surface d'un projectile, par exemple, n'est pas un événement unique. Au contraire, la disposition de l'ensemble des stries présentes sur le projectile tend à le rendre « unique ». Finalement, le caractère « individuelle » de ces caractéristiques reste un présupposé (bien que solide) qui peut être employé à des fins d'individualisation de l'arme à feu qui a laissé les traces sur l'élément de munition.

9.4. Typologie des traces d'armes à feu sur les éléments de munitions

Lors du chargement de la cartouche, de la décharge (tir) et de l'éjection de la douille, une multitude de pièces de l'arme à feu interagissent avec les éléments de la munition (douille, capsule d'amorçage et projectile). De manière générale, ces contacts vont produire des traces moulées, glissées ou les deux à la fois sur les éléments de munitions, car ils sont en principe constitués de matériaux plus mous, déformables et malléables, que les pièces de l'arme à feu. Ainsi, les propriétés de surface (support des traces) des éléments de munition impactent grandement la qualité et la quantité de caractéristiques transmises par une pièce d'arme à feu. De même, toutes les pièces de l'arme à feu sont usinées à l'aide de procédés industriels et manuels laissant ainsi des caractéristiques de classe, de sous-classe et dites individuelles. Par conséquent, les traces laissées par ces pièces sur les éléments de munition peuvent être considérées par l'expert en armes à feu afin d'évaluer leur source. En outre, d'autres phénomènes physiques comme la corrosion de l'arme à feu ou de la munition peuvent altérer et modifier les caractéristiques des traces transférées sur les éléments de munitions. Finalement, la diversité des mécanismes et la construction des armes à feu, qu'elles soient fabriquées de

manière contrôlée ou artisanalement, font qu'il existe un certain nombre de traces qui sont propres uniquement à un modèle d'arme à feu, voire à une arme à feu précise dans le cas d'armes à feu non conventionnelles, dites artisanales (*homemade guns / firearms*). Dans les sections suivantes, les principales traces observées sur les éléments de munitions seront ainsi présentées, discutées et illustrées à l'aide d'images réalisées avec un microscope comparateur, un microscope digital ou un système Evofinder® (cf. § 9.5).

Avant d'aborder la typologie des traces produites par des armes à feu sur les projectiles et les douilles tirées, il est important de définir et de présenter la distinction entre une trace moulée et une trace glissée. Ainsi, une trace moulée, aussi appelée impression (*impressed / compression mark*), est un changement de relief de la surface réceptrice d'un objet, dans ce cas un élément de munition, produit lorsque cette surface déformable et malléable est pressée par une combinaison de forces et de mouvements approximativement perpendiculaire d'un outil, ici une pièce d'arme à feu, de manière suffisante pour laisser une impression négative des caractéristiques de la surface de l'outil (caractéristiques de classe ou stigmates) [Petraco, 2010 ; AFTE, 2013]. Ces traces sont dues à la pression d'une partie de l'outil qui s'enfonce dans la surface réceptrice en un point précis. Une trace glissée peut aussi être définie comme une trace striée ou dynamique (*striated mark*). Il s'agit d'un changement de relief de la surface réceptrice d'un objet qui se produit lorsque la surface d'un outil est amenée par une combinaison de forces et de mouvements à glisser plus ou moins parallèlement sur la surface réceptrice d'un matériau plus tendre [Petraco, 2010 ; AFTE, 2013]. Ces traces sont produites par du frottement et l'abrasion d'une surface par un outil à l'extrémité tranchante. Les traces glissées ont la forme de stries parallèles qui peuvent correspondre aux défauts de surface de l'outil, et ainsi contenir des caractéristiques de classe, de sous-classe ou dites individuelles de cet outil. Les traces combinées, mélange entre des traces glissées moulées, sont le résultat de la combinaison de ces deux processus de production de traces.

9.4.1. Traces sur les projectiles

Lors d'un tir, les hautes températures et pressions engendrées par la combustion de la poudre propulsive provoquent l'expansion de la base du projectile qui est propulsé au travers du canon. Lors de ce processus, les caractéristiques de différentes parties de l'arme à feu et tout particulièrement du canon rayé vont laisser des traces sur le projectile tiré (fig. 9.1). A noter que cette section se concentre principalement sur les traces laissées sur projectile tiré dans une arme à feu à canon rayé. Les projectiles, les charges de plombs et les bourres tirés dans des canons lisses ne présentent que très peu de traces laissées par l'arme à feu (voire aucune) dans la mesure où ils sont généralement protégés par la douille lors du tir. De plus, l'absence de rayures dans les canons ne provoque pas de traces sur ces éléments de munitions à moins d'une détérioration ou modification du canon (cf. § 9.1.1.3).

Fig. 9.1. Schéma montrant l'emplacement des principales traces laissées par le canon de l'arme à feu sur un projectile tiré. (1) Impression de champ ; (2) Impression de rayure ; (3) Trace de ripage.

9.1.1.1. Traces préexistantes

Un certain nombre de traces préexistantes laissées lors de la fabrication de la munition (caractéristiques intrinsèques du projectile) (fig. 9.2) ou lors du vécu de la munition, avant le chargement et le tir, engendrent un bruit de fond parfois important qui doit être distingué des traces d'intérêts. On retrouve notamment les traces laissées lors de l'usinage de la munition comme les traces provenant du sertissage de la cartouche (stries longitudinales s'arrêtant toutes à la même hauteur) qui constituent un bruit de fond important, limitant la comparaison (fig. 9.3).

Fig. 9.2. Surface d'un projectile tiré en plomb nu de calibre .38 Special (IMI) présentant des traces préexistantes avec un motif de losange.

Fig. 9.3. Surface d'un projectile de 9 x 19 mm Parabellum (Geco) démonté présentant des traces issues du processus de sertissage au cours duquel le projectile est forcé dans la douille.

9.1.1.2. Traces de la rampe d'alimentation

La première pièce de l'arme à feu susceptible de rencontrer le projectile est la rampe d'alimentation lors du chargement du projectile dans la chambre à cartouche. L'avant et même la pointe du projectile peuvent entrer en contact avec la rampe d'alimentation, zone précédant le canon qui guide la cartouche dans la chambre. Une ou plusieurs traces moulées et glissées peuvent ainsi être laissées sur le projectile (fig. 9.4). De manière générale, l'apparition des traces de la rampe d'alimentation (*feed ramp marks*) est influencée par la force appliquée sur la cartouche lorsque la cartouche est chambrée. Ainsi, les projectiles des cartouches ayant été chargées par un mouvement manuel de la glissière ne présentent que de légères traces de la rampe d'alimentation. A noter que ce type de trace n'est pas couramment observé sur les projectiles comme les fusils d'assaut SIG-550 (5,56 x 45 mm OTAN) ou les pistolets semi-automatiques Ruger modèles LCP (*Lighweight Compact Pistol*) en .380 ACP [Hartman, 2014].

Fig. 9.4. Traces (mises en évidence par la flèche) engendrées par le passage d'un projectile de calibre 5,6 x 45 mm le long de la rampe d'alimentation d'un SIG-550.

9.1.1.3. Traces laissées par le canon

Le canon rayé d'une arme à feu comprend des champs et des rayures permettant au projectile tiré d'adopter un mouvement de rotation gyroscopique stable lorsqu'il sort du canon, améliorant ainsi la précision du tir (cf. § 7.5.5). Les champs – zones en relief dans le canon – et les rayures – zones en creux – laisseront des traces glissées sur le corps du projectile appelées respectivement impressions de champ (*land impressions*) et de rayure (*groove impressions*) (fig. 9.5 et 9.6).

Fig. 9.5. Coupe schématique illustrant la production de traces glissées par un canon rayé sur un projectile (partie rouge).

Fig. 9.6. Traces laissées par le canon rayé d'un Beretta 92FS (9 x 19 mm Parabellum) sur un projectile chemisé en cuivre. Deux impressions de champs, une impression de rayure et des traces de ripage visibles à gauche du bord de fuite ainsi qu'à l'intérieur des impressions de champs.

La forme et la profondeur des bords des impressions de champ et de rayure se différencient, car ils subissent une pression exercée sur les bords des impressions qui est dépendante de l'orientation du rayage. Ainsi, les champs d'une arme à feu dont le rayage est orienté à droite exercent une pression plus élevée sur le bord droit des impressions qu'ils creusent ; ce bord droit de l'impression de champ est ainsi appelé bord d'attaque (*leading* ou *driving edge*), tandis que le bord gauche est nommé bord de fuite (*trailing edge*). La nomenclature inverse s'applique pour les armes à feu dont le rayage est orienté à gauche. A noter que le sens de rayage est généralement à droite ; quelques armes telles que les Colt sont néanmoins rayées à gauche. Si le projectile est tiré dans un canon polygonal composé de flancs, des impressions de flanc seront présentes sur la surface du corps du projectile (fig. 9.7). Généralement, ces impressions comportent un bord d'attaque et un bord de fuite très peu marqué, voire absent puisque

l'impression de flanc est continue jusqu'à la prochaine. Ainsi, la qualité de l'impression tend à diminuer en s'éloignant du bord d'attaque. Etant donné que la plupart des canons polygonaux sont fabriqués par olivage ou martelage à froid (cf. § 5.5), il n'y a que très peu de caractéristiques (stries et microstries) observées dans les impressions de flanc. Néanmoins, l'absence de caractéristiques doit également être considérée comme un facteur d'individualité important lors de la comparaison et de l'évaluation.

Fig. 9.7. Traces laissées par le canon polygonal d'un Glock 17 (9 x 19 mm Parabellum) sur un projectile chemisé en cuivre. Deux impressions de flancs et deux impressions de rayure ainsi que des traces de ripage.

Naturellement, le nombre d'impressions est corrélé au nombre de champs, de rayures ou de flancs dans le canon. Néanmoins, il se peut, avec un canon usé ou un projectile sous-calibré, que des impressions de rayures soient absentes sur un projectile tiré. En effet, certaines munitions peuvent être tirées sans problème dans différentes armes à feu de calibres nominaux différents. Un projectile tiré dans une arme à feu surcalibrée, s'il est en bon état ou légèrement déformé, peut ne présenter que quelques impressions de champs irrégulières ou partielles (fig. 9.6) [Bonfanti, 1999]. Dans certains cas, il se peut même que le projectile ne comporte aucune impression. Cela est également possible si le projectile est tiré dans un canon lisse comme lors de l'utilisation d'armes à feu non conventionnelles dites artisanales (*homemade guns / firearms*) ou des armes à feu imprimées en 3D (cf. § 11.4.4.2).

Fig. 9.8. Traces irrégulières observées sur un projectile de calibre 7,65 x 21 mm Parabellum tiré par un pistolet semi-automatique de calibre 9 x 19 mm Parabellum.

Fig. 9.9. Surface d'un projectile de 7,65 x 21 mm Parabellum en plomb nu tiré par un revolver Smith & Wesson 940 de calibre 9 x 19 mm Parabellum. Trois impressions de champs sont visibles sur l'image.

Un projectile tiré dans un canon rayé, avant qu'il n'adopte un mouvement rotatif induit par le rayage du canon, va suivre un mouvement de translation initial rectiligne (sans mouvement de rotation) ou avec un mouvement inférieur à celui imposé par le rayage du canon engendrant des stries parallèles à l'axe longitudinal du projectile (cf. fig. 9.6 et 9.7) constituant des traces de ripage (*skid marks*) [Davis, 1958 ; AFTE, 2013 ; Dallhammer, 2020]. Ce phénomène se rencontre principalement avec les revolvers puisque le barillet est lisse et généralement espacé du canon. Le projectile acquiert, lors de sa course jusqu'au cône de forçement, un mouvement rectiligne [Haag et Haag, 2020]. Il adoptera progressivement un mouvement de rotation lorsqu'il est au contact des champs. Les traces de ripages sont, en revanche, moins fréquentes sur les armes à feu comprenant une chambre à cartouche, car le projectile est directement en contact avec le rayage du canon. Dans ce cas, ce phénomène s'explique par un léger sous-calibrage² du projectile à cause des tolérances de fabrication en matière de calibre réel ou de l'usure plus ou moins importante du canon [DiMaio, 1999]. Les traces de ripage se présentent sous forme de stries parallèles à l'axe longitudinal du projectile qui rejoignent le bord de fuite de l'impression de champ ou de flanc. Elles sont également observées dans l'impression de champ ou de flanc (cf. fig. 9.1) [Davis, 1958]. L'impression de champ combinée à la trace de

² Dans ce contexte, un projectile légèrement sous-calibré est un projectile dont le calibre réel est légèrement inférieur à la distance entre deux champs opposés dans le canon de l'arme. Cette différence de calibre est tout à fait normale et conventionnelle dans la grande majorité des munitions.

ripage présente une largeur plus importante que le champ du canon. Les gaz chauds produits lors du tir peuvent s'infiltrer entre ces deux traces et produire de profonds sillons dans des projectiles en plomb. Les projectiles chemisés peuvent quant à eux présenter d'importantes incrustations carbonées le long du bord de fuite [Cross, 1981]. Les stries présentes dans ces traces varient selon l'alignement du projectile et du canon. Le temps mis le projectile pour initier sa rotation influence également les stries de ces traces [Meyers, 2002]. Ces stries ne pourront donc pas correspondre à celles présentes dans la véritable impression de champ qui sont dues aux irrégularités situées sur toute la longueur du canon [Davis, 1958].

Une trace glissée particulière, appelée trace de rabotage (*shaving / shearing mark*) peut être observée, principalement sur des projectiles tirés avec un revolver. Elles sont provoquées par un mauvais alignement du barillet avec l'âme du canon lorsque le projectile franchit le cône de forcement, engendrant ainsi des traces de frottement (rabotage ou écrasement) visibles sur la tête du projectile (*bullet shearing*) [Davis, 1958 ; Bonfanti, 1999 ; AFTE, 2013]. Un désalignement entre le canon et un silencieux peut également provoquer ce type de traces glissées sur la tête du projectile [Miller, 1994 ; Wong, 1999]. Dans le cas d'une arme à feu produisant constamment des traces de rabotage sur un projectile, on affirmera que ces traces sont reproductibles et hautement significatives [Davis, 1958]. Par ailleurs, certaines impressions de champs pourront apparaître plus longues que d'autres, le projectile ayant un contact plus important avec une partie du canon [Cross, 1981]. A noter qu'une trace de rabotage ne doit pas être confondue avec des traces laissées par l'impact d'une surface dure comme celle d'une cuve à eau lors de la réalisation des tirs de référence (cf. § 9.6.3). Ces dernières sont en général plus hautes sur la tête du projectile et particulièrement lisses.

D'autres traces peuvent également être produites si le projectile présente un angle important par rapport à l'axe du canon. Le sommet du projectile peut alors présenter des impressions de rayure avant qu'il ne reprenne son orientation adéquate (fig. 9.10) [Cross, 1981 ; Hatcher *et al.*, 1977].

Fig. 9.10. Trace produite lorsque le projectile entre avec un angle à l'intérieur du canon. Le projectile est orienté afin que les impressions de champ soient verticales.

Certaines caractéristiques de classe d'une arme à feu sont transférées sur un projectile lors de son passage dans le canon et peuvent être observées ou mesurées à partir des impressions de champ, de rayure et de flanc. Il faut ajouter que la profondeur des impressions de champ n'est pas prise en considération à des fins comparatives, car pour une même arme à feu, elle peut varier grandement d'un tir à l'autre en fonction des caractéristiques et notamment de la composition du projectile utilisé et ce même pour des cartouches provenant d'un même lot. En revanche, la largeur des impressions de champ, mesure effectuée du fond du bord d'attaque de l'impression de champ au fond du bord de fuite, ou la largeur des impressions de rayure ou de flanc, mesurées entre deux impressions, sont des caractéristiques de classe importantes et discriminantes qui ne varient que légèrement en fonction du revêtement du projectile. A noter que les impressions de champ imprimées sur un projectile en plomb nu sont généralement plus étroites que celles imprimées sur un projectile chemisé. En outre, au fur et à mesure de l'utilisation d'une arme à feu, les champs deviennent plus étroits, alors que les rayures s'agrandissent. La mesure de l'angle d'inclinaison α des impressions de champ, de rayure ou de flanc par rapport à l'axe longitudinal du projectile permet de calculer le pas³, longueur nécessaire à ces traces pour effectuer un tour complet sur eux-mêmes :

³ Cette caractéristique de classe se rencontre avec un très grand nombre d'armes à feu, impliquant un pouvoir discriminant relativement faible.

$$(9.1) \quad pas = \frac{\text{calibre} \times \pi}{\tan(\alpha)} \quad [-]$$

De nos jours, les systèmes de comparaison automatique offrent de nouvelles possibilités pour obtenir une valeur fiable de la largeur des impressions de champs, de rayure ou de flanc (de même que de l'angle d'inclinaison), et ce même sur des projectiles déformés.

La qualité, la quantité et la reproductibilité des caractéristiques laissées par un canon rayé sur un projectile peuvent varier considérablement en fonction de différents facteurs, tels que les procédés utilisés lors de l'usinage du canon, l'état (usage) et la propreté du canon, la composition (plomb nu, galvanisation et chemisage) du projectile, le calibre réel et l'état du projectile après le tir (déformation). L'état du canon (encrassement) joue, en effet, un rôle important dans la qualité des caractéristiques transmises au projectile. Si l'encrassement traditionnel du canon, tel qu'il se produit lors d'un grand nombre de tirs avec des projectiles chemisés est quasiment sans influence, ce n'est généralement pas le cas lorsqu'un grand nombre de projectiles en plomb nu sont tirés sans nettoyage du canon. Les résidus de plomb accumulés dans le canon s'accumulent pour former une fine couche de plomb impactant la qualité des caractéristiques transmises sur le projectile par le canon [Meyers, 2002 ; Monturo, 2019]. A noter que certains chemisages en acier ou en acier cuivré, plus durs que les chemisages traditionnels en cuivre, peuvent marquer le canon et ainsi l'user plus rapidement. De plus, des projectiles fragibles, conçus pour se désintégrer lors de l'impact avec une surface dure afin de minimiser les ricochets lors des entraînements à courte portée dans les stands de tir [AFTE, 2013 ; Monturo, 2019], ne présentent généralement que la largeur des impressions de champ ou de flanc (fig. 9.11), voire aucune impression s'ils sont récupérées dans des tissus mous, comme le corps humain qui n'est pas suffisamment dur pour provoquer la pulvérisation du projectile [Kim, 2006 ; Raines, 2015].

Fig. 9.11. Surface d'un projectile de 9 x 19 mm Parabellum fragible tiré dans un Beretta 92FS présentant trois impressions de champs (cf. Cartouche et projectile illustrés à la fig. 6.39).

Finalement, il est important de préciser que des traces particulières peuvent être observées sur des projectiles tirés dans des armes à feu où une pièce de l'arme à feu a été modifiée artisanalement, comme lors du raccourcissement du canon, ou encore la réactivation d'un canon neutralisé (cf. § 3.3.3.1). En effet, un projectile unique (ou une charge de plomb) tiré dans un canon lisse raccourci peut entrer en contact avec des bavures consécutives à la découpe présentes à la bouche du canon, laissant des traces sur la bourre, un projectile unique ou une charge de plombs [Wright, 2003 ; Pendleton *et al.*, 2011].

9.1.1.4. Traces d'impacts ou de passage à travers un matériau

Un autre facteur important contribuant à la diminution des caractéristiques laissées par l'arme à feu sur le projectile n'est autre que les mécanismes liés à la balistique extérieure et terminale, donc à l'interaction du projectile avec une zone d'atteinte après sa sortie du canon. A contrario de la douille qui est éjectée avec une vitesse relativement faible, les projectiles se déplacent à des vitesses initiales comprises entre 200 et plus de 1000 m/s (cf. Annexe 7.2) et lorsqu'un projectile chemisé atteint un objet avec une telle vitesse, il peut être déformé, voire fragmenté. L'impact peut se traduire par des traces glissées dues au contact avec un objet dur, un aplatissement du projectile, une fragmentation en plusieurs morceaux ou une combinaison de ces phénomènes [Monturo, 2019]. La surface du projectile qui est entrée en contact avec une zone d'atteinte dure est susceptible d'avoir, au minimum, une diminution des caractéristiques

laissées par l'arme à feu, ou encore l'ajout de nouvelles caractéristiques laissées par le contact avec la zone d'atteinte elle-même. Par exemple, un projectile qui traverse un objet, tel qu'une vitre ou du sable, verra la qualité des traces laissées par l'arme à feu sur sa surface diminuer à la manière d'un polissage (fig. 9.11).

Fig. 9.12. Surface d'un projectile de 9 x 19 mm Parabellum tiré par un Beretta 92FS à travers une vitre.

9.4.2. Traces sur les douilles

Contrairement aux projectiles qui peuvent parcourir une longue distance, les douilles sont généralement retrouvées sur la scène du tir, lorsqu'elles sont éjectées, ou dans l'arme à feu. Lors du chargement de la majorité des pistolets et des armes à feu d'épaule semi-automatique ou automatique, il est nécessaire d'introduire d'abord les cartouches dans le chargeur qui est ensuite lui-même inséré dans l'arme à feu. Le mouvement de charge manuel de la glissière amène ensuite la première munition dans la chambre à cartouche à proximité du canon en passant par la rampe d'alimentation et permet de plus l'armement du système de percussion. A la suite d'une pression suffisante sur la détente, le percuteur vient frapper la capsule d'amorçage, ce qui provoque la combustion de la poudre propulsive. La pression développée dans la chambre à cartouche et dans la douille fait que celle-ci se dilate pour adhérer aux parois de la chambre à cartouche, minimisant la perte de pression [DiMaio, 1999]. La pression développée par les gaz de combustion de la poudre propulsive va provoquer également un violent recul de la douille contre la tête de culasse. Lorsque la pression dans la chambre à cartouche commence à diminuer, après le départ du projectile, la douille reprend ses dimensions initiales. La glissière recule, et l'extracteur tire vers l'arrière la douille par la gorge ou le bourrelet afin de l'extraire. Aux deux tiers du mouvement de la glissière, le culot de la douille vient heurter l'éjecteur qui la pousse à travers la fenêtre d'éjection à l'extérieur de l'arme à feu. Puis, un nouveau cycle recommence, avec la glissière qui arrive en bout de course, et revient vers l'avant sous l'effet du ressort récupérateur pour chamberer une nouvelle cartouche. De cette façon, lors du chargement de l'arme à feu, le départ du coup et l'extraction-éjection de la douille, une multitude de pièces de l'arme interagissent avec la douille laissant dans la plupart des cas des traces sur le corps et le culot de la douille, ainsi que sur la capsule d'amorçage qui peuvent être considérées ensemble pour évaluer la source de ces traces. Néanmoins, il est important de noter que cette interaction entre l'arme à feu et la douille (ou la cartouche) ne produit pas nécessairement des traces. Par exemple, l'opération d'extraction-éjection manuelle des douilles d'un revolver laisse très peu de traces sur celles-ci ; ces douilles présentent généralement les traces du percuteur, du bouclier ainsi qu'une trace de la chambre du barillet. Enfin, la position relative de chaque trace par rapport aux autres est généralement très importante comme la position relative extracteur – éjecteur. Si un certain nombre de munitions ont été tirées dans la même arme à feu ou une possédant des caractéristiques de classe et de sous-classe concordantes, il est évident que par exemple les traces de la chambre à cartouche, de la tête de culasse, de l'extracteur et de l'éjecteur seront toujours orientées de la même manière entre elles (fig. 9.13), ce qui constitue information utile à des fins d'individualisation [Dutton, 2003]. Il faudra également considérer le bruit de fond issu des traces préexistantes et des traces d'impacts après le tir. En effet, lorsqu'une douille est éjectée d'une arme à feu, elle peut entrer en contact avec différentes surfaces dures, entraînant la production de nouvelles traces extrinsèques.

Fig. 9.13. Schéma illustrant l'emplacement des principales traces sur une douille : (1) lèvres du magasin ; (2) percuteur et traînée du percuteur ; (3) tête de culasse ; (4) extracteur ; (5) éjecteur.

Les paragraphes suivants décrivent les principales traces observées sur les douilles, répertoriées selon la pièce de l'arme à feu dont les traces sont issues. Il ne s'agit pas d'une liste exhaustive, car des traces de nature et de nombre très variées peuvent être observées sur une douille ou une cartouche déchargée. Ceci est dû principalement au fait qu'en fonction du type, du mécanisme et du modèle de l'arme à feu et de la munition utilisée, différentes interactions entre ces deux éléments peuvent avoir lieu. Certaines traces peuvent ainsi ne pas être présentes et d'autres, au contraire, peuvent être multiples dans le cas d'actions répétées de chargement et de déchargement de l'arme à feu avec les mêmes cartouches [Formaggio, 1949].

9.4.2.1. Traces du chargeur

De nos jours, la plupart des chargeurs d'armes à feu modernes sont fabriqués en polymère généralement dotés d'inserts métalliques sur le dessus afin de maintenir la rigidité, ou à partir de métal estampé, plié et soudé en forme [Monturo, 2019]. Lors de l'introduction ou l'extraction des cartouches dans un chargeur et lors de leur passage dans la chambre à cartouche, la douille est raclée contre les lèvres⁴ du chargeur pouvant produire des traces sur le corps et le bourrelet de la douille [AFTE, 2013]. Ces dernières, appelées traces des lèvres du chargeur (*magazine lip marks*), sont généralement moulées et glissées, et se présentent normalement sous la forme de deux stries fines parallèles à l'axe longitudinal de la douille séparée de 60° environ (fig. 9.41d) [Moran, 2001 ; Haag et Haag, 2020]. Les traces des lèvres du chargeur ne sont pas toujours reproductibles comme l'a démontré Thompson et Wyant [2006] dans leur étude sur l'analyse de ces traces par les chargeurs de calibre 9 x 19 mm Parabellum fabriqués par Ruger Firearms. Ainsi, la qualité de ce type de traces varie et dépend de plusieurs facteurs dont notamment la composition et la forme des lèvres du chargeur, la pression exercée entre les lèvres et la douille, ou encore la composition (dureté) de la douille. De plus, ce type de trace est principalement visible sur des chargeurs de fabrication ancienne.

A noter que Swanepoel [2020] présente un exemple où la plaque élévatrice d'un chargeur métallique peut également laisser des traces moulées et glissées sur le corps de la douille. De plus, lors du chargement manuel des cartouches dans un chargeur métallique de pistolets semi-automatiques de marque FN, FEG, Karea ou encore Arcus, il est possible que des traces glissées de forme et position variables puissent apparaître sur le culot de la douille en raison d'un contact de ce dernier avec la surface arrière du chargeur au même niveau que les lèvres [Siso et Kasachko, 2009]. Finalement, la présence de toutes ces traces laissées par le chargeur démontre uniquement que la cartouche a été introduite dans le chargeur en question. En effet, un chargeur n'est pas exclusif à une arme à feu particulière, mais au contraire interchangeable. De plus, les contacts entre les différentes cartouches introduites dans le chargeur peuvent aussi provoquer l'apparition de traces qui peuvent être définies comme parasites [Bonfanti, 1999].

9.4.2.2. Trace du bloc de culasse

Dans les pistolets semi-automatiques et automatiques, la glissière se déplace d'abord vers l'arrière puis vers l'avant lors du chargement d'une nouvelle munition du chargeur vers la chambre à cartouche. Ainsi lorsque la glissière recule, le fond du bloc de culasse peut entrer en contact avec le corps voire avec le bord du culot de la douille de la cartouche présente au sommet du chargeur (fig. 9.14). Après sa course, la glissière revient vers l'avant pour chamberer une nouvelle cartouche. Au moment où celle-ci est poussée hors des lèvres du chargeur par la glissière, le bord ou la face du culot de la douille de la cartouche en train d'être chamberée peut entrer en contact avec un des bords du bloc de culasse (fig. 9.15), à cause de la force exercée par le ressort du chargeur qui pousse via la plaque élévatrice les cartouches du chargeur en

⁴ Partie supérieure du chargeur qui maintient la cartouche en position.

direction du bloc de culasse [Lin et Chun, 2004 ; Cork *et al.*, 2008 ; Haag et Haag, 2020]. Les traces générées par ces différents contacts avec le bloc de culasse sont généralement striées, voire moulées en forme de « V », et se retrouvent aussi bien sur la première douille chambrée par un mouvement manuel de la glissière que sur les douilles chambrées à la suite d'un tir. A titre d'exemple, de telles traces glissées et moulées sur le bord du culot de la douille peuvent être laissées par le bord gauche du bloc de culasse des pistolets Glock, Walther P99, Beretta Px4 Storm SubCompact et de la série Sigma de Smith & Wesson, [Azahidi *et al.*, 2012 ; Clow, 2012 ; Ghani *et al.*, 2013]. Les traces striées laissées par ces armes à feu lors du chargement de la munition dans la chambre à cartouche ne sont pas toujours très reproductibles, car elles dépendent de nombreux facteurs, dont la malléabilité du métal composant la douille, la surface de la culasse qui entre en contact avec la douille, la force du ressort du chargeur ainsi que la quantité de cartouches encore présentes dans le chargeur [Lin et Chun, 2004 ; Ghani *et al.*, 2013]. En effet, les dernières cartouches présentes dans le chargeur subissent généralement une pression plus faible de la part du ressort. Ces cartouches ont tendance à présenter des traces moins bien marquées et plus courtes que les autres qui se trouvaient dans le chargeur.

Fig. 9.14. Contact entre la douille et le fond du bloc de culasse lors du mouvement de charge.

Fig. 9.15. Contact entre la douille et la partie inférieure du bloc de culasse lors du passage de la munition dans la chambre à cartouche.

9.4.2.3. Traces de l'indicateur de chargement

Certaines armes à feu comme les pistolets Walther P 38, PPK ou encore les Ruger LC9, Beretta PX4 Storm, HS Product et la série Sigma de Smith & Wesson ont un mécanisme sous la forme d'une petite tige, d'un extracteur surélevé ou d'un autre mécanisme qui se soulève sur la culasse pour indiquer qu'une cartouche est chambrée [AFTE, 2013]. Les pistolets Walther PPK sont notamment dotés d'une goupille qui dépasse de la culasse comme indicateur (index) de chargement (*loaded chamber indicator*). Cette goupille étant actionnée par la munition elle-même lorsqu'elle entre dans la chambre à cartouche, elle va laisser une trace moulée et glissée reproductible sur le corps de la douille (fig. 9.16) [Jackson et Jackson, 2017].

Fig. 9.16. Trace de l'indicateur de chargement laissée par un pistolet Walther PPK en calibre .25 ACP : (a) emplacement sur le corps de douille et (b) détail de la trace.

9.4.2.4. Traces du percuteur et de son logement

Lors du départ du coup de feu, le percuteur vient frapper perpendiculairement (sauf exception) l'explosif primaire sensible au choc contenu dans la capsule d'amorçage située au centre du culot d'une douille à percussion centrale ou dans le bourrelet d'une douille à percussion annulaire. La trace de percuteur (*firing pin mark / impression / indent*) est ainsi une trace moulée, classifiée selon leur forme et, éventuellement, leur dimension. On retrouve notamment des percuteurs circulaires (cf. fig 9.17), hémisphériques (cf. fig. 9.23), rectangulaires (cf. fig. 9.25a, b) ou elliptiques (fig. 9.25c). Il est également important de noter que la mécanique du tir est telle que l'intensité du percuteur peut varier légèrement d'un tir à l'autre, modifiant ainsi le diamètre (cf. fig. 9.41a) et la profondeur de la trace du percuteur, de même que sa position relative sur la capsule d'amorçage [Formaggio, 1949 ; Cork *et al.*, 2008]. En outre, la profondeur de la trace du percuteur n'est pas dépendante uniquement de la pression développée lors du tir ; il n'est donc pas une caractéristique à considérer lors de l'évaluation de la source d'une trace de percuteur. En effet, la profondeur peut varier même grandement en utilisant des cartouches issues d'un même lot [Miller, 1995 ; Bonfanti, 1999]. Un décentrement de la trace du percuteur par rapport au centre de la capsule d'amorçage peut également être observé de

manière répétable pour une même arme à feu (fig. 9.17). A noter que la position respective de la trace du percuteur par rapport aux traces de la tête de culasse peut être différente sur des douilles tirées par la même arme à feu. Ce phénomène est accentué pour les douilles tirées par des armes à feu à percuteur rotatif. Les armes à feu de ce type produisent souvent des traces de percuteur qui ne sont pas reproductibles, de même pour les douilles tirées par des armes à feu dont la position du percuteur peut changer selon de l'inclinaison de l'arme.

Fig. 9.17. Décentrement de la trace du percuteur par rapport au centre de la capsule d'amorçage (image du Forensisches Institut Zürich).

Le fond de la trace de percuteur, dont la forme s'apparente à celle d'un cratère, sur les capsules d'amorçage, comprend généralement une impression négative des caractéristiques de surface de la tête du percuteur (fig. 9.18), à moins que la capsule d'amorçage soit percée comme parfois lors de l'utilisation d'armes à feu non conventionnelles, dites artisanales (*homemade guns / firearms*) ou des armes à feu imprimées en 3D, où la force exercée par le percuteur artisanal sur la capsule d'amorçage est trop importante. Les percuteurs étant usinés à l'aide de différents équipements industriels (p. ex. des tours) et des procédés manuels (p. ex. processus de finition de ponçage à la main) peuvent donc contenir et transmettre des marques (stries morphologies) concentriques, lignées ou de conformations diverses et variées [Davis, 1958 ; Monturo, 2019].

a)

b)

Fig. 9.18. Détail d'une trace du percuteur sur une douille de 5,56 x 45 mm OTAN. (a) Le fond de la trace ainsi qu'une partie des bords présentent les stigmates laissés par l'arme à feu ; (b) Illustration de cette même trace en trois dimensions.

Pour les armes à percussion annulaire, il existe de manière générale quatorze formes de traces de percuteur annulaire classifiées comme dans la figure 9.19 [Rymer, 1961 ; Berg, 1964]. Néanmoins, les percuteurs annulaires sont majoritairement en forme de « U » ou rectangulaire (fig. 9. 20). Dans les armes à percussion annulaire, l'épaule de la chambre à cartouche fait office d'enclume lorsque le percuteur frappe le bourrelet de la douille. Il est ainsi possible de retrouver des traces de l'épaule de la chambre à cartouche sur la face intérieure du bourrelet [Gieszl, 1991 ; Nies, 2003], mais elles ne sont que très rarement exploitables [Cork *et al.*, 2008]. Néanmoins si l'arme à feu a été tirée « à sec » à de nombreuses reprises, il arrive souvent que la surface de l'épaule de la chambre à cartouche (où le percuteur frappe) soit endommagée [Dutton, 2003]. Ces caractéristiques acquises peuvent ainsi être transmises à la face inférieure du bourrelet de la douille lors du tir. Ces marques de l'épaule de la chambre ne se produisent généralement pas sur le bourrelet intérieur de la douille sans la pression exercée par le percuteur.

Fig. 9.19. Codes relatifs aux formes des traces de percuteur annulaires [Berg, 1964].

Fig. 9.20. Quatre culots de douilles de .22 Long Rifle à percussion annulaire présentant des traces de percuteur.

De manière générale, la trace de percuteur est considérée comme très reproductible [Zhang et Luo, 2018], et ce même si elle dépend de nombreux facteurs, tels que la pression développée dans la chambre à cartouche lors du tir, le processus de fabrication du percuteur et la malléabilité du métal composant la douille. Cependant, l'exploitation des traces de percuteur sur les capsules d'amorçage peut être complexe, car cette trace peut se déposer sur les marquages préexistants sur le culot de la douille (logo ou inscription du fabricant, cf. § 6.9.2). Finalement, la trace du percuteur est considérée comme la trace la plus concluante parmi toutes celles observables sur la douille, car c'est l'une des seules qui est, normalement, laissée que lors du tir. Toutefois, des traces légères du percuteur peuvent être observées sur la capsule d'amorçage d'arme à feu utilisant le percuteur comme éjecteur lors de l'éjection manuelle d'une cartouche non tirée ou, si une cartouche a été introduite manuellement dans l'arme à feu en tirant la culasse en arrière, dans ce cas lorsque cette dernière est rabattue, le percuteur vient heurter la capsule d'amorçage laissant ainsi une trace du percuteur qui n'est pas liée au tir [Monturo, 2019].

Les traces du percuteur ne se limitent pas nécessairement à une impression sur la capsule d'amorçage. On peut ainsi observer une « traînée du percuteur », c'est-à-dire une trace glissée liée à la trace du percuteur sur la capsule d'amorçage. Pour les revolvers, la trace de traînée du percuteur (*firing pin drag mark*) est due à une frappe du percuteur de manière oblique [Hatcher *et al.*, 1977 ; Bonfanti, 1999]. En revanche, dans le cas des pistolets semi-automatiques ou des fusils de chasse à brisure, la présence de cette trace est due à un percuteur encore saillant de son logement qui reste en contact avec la capsule d'amorçage au début de la phase d'extraction-éjection de la douille [AFTE, 2013] (fig. 9.21). En d'autres termes, pour les armes à feu fonctionnant sur le principe dit à court recul du canon (p. ex., pistolets Glock®), si le percuteur est encore enfoncé dans la capsule d'amorçage alors que la douille, située encore dans la chambre à cartouche, recule et s'abaisse avec le canon, la pointe du percuteur peut ainsi laisser une traînée sur la surface de la capsule d'amorçage [Lin et Chun, 2004]. En revanche, pour les armes à feu fonctionnant en culasse non verrouillée, le percuteur fait souvent office d'éjecteur (cf. § 9.4.2.8), ainsi il peut être amené à laisser une traînée sur la surface de la capsule d'amorçage lors de l'extraction-éjection de la douille si cette dernière est en mouvement vers le haut [Monturo, 2019]. Toutefois, ce type de trace n'est pas toujours reproductible entre plusieurs tirs consécutifs (fig. 9.22). D'autre part, certaines armes à feu ont des percuteurs rotatifs qui ne sont pas soutenus et tournent dans leur logement lorsque l'arme à feu tire, l'orientation du percuteur peut ainsi changer d'un tir à l'autre [Monturo, 2019]. Dès lors, la traînée du percuteur et ses caractéristiques peuvent donc présenter d'importantes différences.

Fig. 9.21 Trace d'une traînée du percuteur.

Fig. 9.22. Trace du percuteur avec sa traînée sur des cartouches tirées par la même arme.

Un autre phénomène est lié à la trace du percuteur, le *flow-back*. Cette trace est la conséquence de l'extrusion de la capsule d'amorçage dans le logement du percuteur au moment du tir produisant un gonflement localisé de la capsule d'amorçage autour de la trace du percuteur (fig. 9.23) [AFTE, 2013]. Ce phénomène est le résultat de l'augmentation de la pression dans la douille au moment du tir qui plaque et force la capsule d'amorçage contre la tête de culasse et donc également contre le logement du percuteur. Lorsque ce dernier présente une différence de taille par rapport au percuteur ou que la pression développée lors du tir est trop élevée, l'amorce peut ainsi s'épandre (« fondre ») autour du percuteur dans son logement (fig. 9.24) [Kreiser, 1995 ; Monturo, 2019]. A noter que cette trace moulée n'est pas forcément reproductible et

dépend également de la munition utilisée. Néanmoins, elle peut parfois être utilisée dans l'évaluation des résultats [AFTE, 2013].

Fig. 9.23. Trace de percuteur entouré d'un *flow-back*.

Fig. 9.24. Schéma illustrant la formation d'un *flow-back*. (1) Culasse ; (2) Percuteur ; (3) Extracteur.

Pour un certain nombre de pistolets possédant un logement du percuteur trop large et un fonctionnement à court recul du canon avec une culasse verrouillée produira ainsi un cisaillement (*shear*) entre le logement du percuteur et la trace de *flow-back*. Ainsi, lors du recul du canon, ce dernier va s'abaisser afin de retarder l'ouverture de la culasse, déplaçant en même temps vers le bas la douille, dont sa capsule d'amorçage est toujours gonflée dans le logement du percuteur (*flow-back*). Dès lors, le glissement (cisaillement) de la capsule d'amorçage sur les bords rugueux du logement du percuteur entraîne une abrasion du *flow-back* produisant sur ce dernier une trace striée, appelée *shear mark* (fig. 9.25) [AFTE, 2013 ; Monturo, 2019]. Les modèles de pistolets Glock de Générations 1 à 4, ainsi que les pistolets de la série Sigma de Smith & Wesson, le pistolet XDS9 de Springfield Armory, les pistolets Sarsilmaz SAR 9 de fabrication turque et leur copie croate de chez HS Produkt produisent, de manière reproductible, des *flow-backs* de formes plus ou moins rectangulaires avec des *shear marks*. Distinctivement, il en résulte une trace de percuteur de forme elliptique ainsi qu'un *flow-back* rectangulaire strié. En 2014, Glock a introduit un nouveau processus de fabrication pour les modèles 42 et 43 de la Génération 4 et, depuis 2017, pour la Génération 5, conduisant notamment à une modification de la forme du logement du percuteur ainsi que de son percuteur. Ainsi, la trace de percuteur produit par ces pistolets est circulaire et entourée d'un *flow-back* en forme de goutte avec la présence de *shear marks* à sa surface (fig. 9.25) [Boyle, 2019]. Il faut noter que le pistolet Smith & Wesson M&P (*Military and Police*) laisse également ce type de traces [Monturo, 2019].

Fig. 9.25. *Shear marks* laissées par trois pistolets semi-automatiques de calibre 9 x 19 mm Parabellum, soit respectivement un (a) Glock 17 de Génération 4, (b) un HS Produkt S7 3.3 et (c) un Glock 19 de Génération 5.

9.4.2.5. Traces de la tête de culasse ou du bouclier

Lors du tir, la pression développée par les gaz de combustion de la poudre propulsive provoque un violent recul de la douille contre la tête de culasse (*breech face*) ou, pour les revolvers, du bouclier (*shield face*). Dans la plupart des cas, une trace moulée des caractéristiques (stries, textures) de surface de la tête de culasse ou du bouclier s'imprime sur le culot de la douille, mais surtout, pour les cartouches à percussion centrale, sur la capsule d'amorçage, vu qu'elle est normalement composée d'un métal ou d'un alliage plus tendre et malléable que le culot de la douille (cf. fig. 9.31).

En règle générale, le recul engendré lors du tir de munitions à percussion annulaire est minime. Par conséquent, le culot des douilles ne recueille que rarement des traces très prononcées de la tête de culasse ou du bouclier [Davis, 1958]. Ces traces moulées présentent généralement des marques caractéristiques issues du processus d'usinage employé lors de la conception et du façonnage de la tête de culasse ou du bouclier (p. ex. fraisage, limage, polissage), ou encore d'autres irrégularités du métal dues à sa corrosion [Dutton, 2003]. Elles sont généralement classifiées selon les six dessins généraux suivants : à lignes parallèles, à cercles concentriques, à arcs, à lignes hachurées (présence de lignes avec différentes orientations), tachetées ou lisses (absence de caractéristiques particulières) (fig. 9.26) [Bonfanti, 1999 ; Monturo, 2019]. La reproductibilité et la qualité des traces de la tête de culasse ou du bouclier sont influencées par

de nombreux facteurs tels que la charge propulsive, l'aspect plus ou moins marqué du dessin de la tête de culasse, le processus de fabrication de la tête de culasse, la malléabilité du métal de la douille et de la capsule d'amorçage, ou encore la présence de résidus de tir dans l'arme à feu ou la pression lors du tir [Davis, 1958 ; Tulleners, 2001 ; Cork *et al.*, 2008]. La pression dans la chambre à cartouche varie, pour un même calibre, en fonction du poids du projectile, de la qualité et de la quantité de la poudre propulsive ainsi que de la propreté de l'arme à feu. De manière générale, des cartouches produisant des pressions plus basses présentent des traces de la tête de culasse ou du bouclier de qualité moyenne.

Fig. 9.26. Traces de la tête de culasse respectivement à lignes parallèles, à cercles concentriques, à arcs et lisse.

Les traces de la tête de culasse ou du bouclier sont extrêmement significatives même s'il n'est pas rare d'observer un grand nombre de caractéristiques de sous-classe [Weller *et al.*, 2012 ; Riva *et al.*, 2017], car elles ne peuvent être produites sans la pression générée lors du tir. Néanmoins, l'évaluation de telles traces requiert parfois beaucoup d'attention, car, sur la capsule d'amorçage ou parfois sur le culot de certaines cartouches, on peut relever la présence de stries parallèles provenant de la structure du métal, du processus de fabrication de la munition⁵ [Uchiyama et Nota, 1986 ; Quirk, 1987 ; Uchiyama et Tokano, 1988 ; Maruoka, 1994 ; Robinson, 1996 ; Wallace, 2003 ; Ward, 2010 ; Thompson, 2012 ; Hes et Kerkhoff, 2017] ou encore du rechargement (cf. § 9.4.3). Sur des douilles tirées, si ces marques sont présentes dans le trou de la trace de percuteur, cela permet d'affirmer qu'elles ne proviennent pas de la tête de culasse ou du bouclier [Bonfanti, 1999]. De plus, leur orientation par rapport à la position des traces de l'éjecteur et de l'extracteur peut également aider à distinguer des traces préexistantes propres à la cartouche.

9.4.2.6. Traces de la chambre à cartouche

Les traces de la chambre à cartouche (*chamber marks*) sont essentiellement des marques parallèles striées le long du corps de la douille, déposées à la suite de l'un (ou plusieurs) des processus suivants : le chambrage de la cartouche, le gonflement (dilatation) de la douille pendant le tir ou encore lors de son extraction [AFTE, 2013]. En effet, lors du tir, la pression des gaz de combustion de la charge propulsive en expansion provoque le gonflement de la douille qui va adhérer à la chambre à cartouche, ce qui entraîne une impression (trace moulée) des caractéristiques de la chambre à cartouche, dont notamment celles laissées lors de l'alésage [Monturo, 2019]. Immédiatement après, lors de l'extraction de la douille de la chambre à cartouche dans un état encore chaud et expansé crée des traces glissées lors du contact avec toutes irrégularités existantes à l'intérieur ou sur l'épaulement de la chambre à cartouche. Il est également possible que des traces glissées de la chambre à cartouche soient laissées lors de l'extraction d'une munition non tirée, mais elles auront tendance à être moins marquées [Dutton, 2003]. Le chambrage intervenant à la suite du processus d'extraction-éjection de la douille ou lors du chargement de l'arme aura également tendance à générer des traces glissées essentiellement sur le corps de la douille (voire dans sa gorge) lorsque la cartouche est poussée, d'abord, le long de l'épaulement de la chambre puis à l'intérieur de cette dernière.

Les traces produites par la chambre sont essentiellement des stries parallèles à l'axe longitudinal de la douille, mais des stries hélicoïdales ou concentriques peuvent également être observées. Par exemple avec certains pistolets, le canon et la chambre à cartouche peuvent tourner légèrement au moment de l'extraction de la douille ou de la cartouche. La douille étant tirée vers l'arrière de manière linéaire par l'extracteur, cette opération produit des traces de la

⁵ Ces traces préexistantes ne sont pas nécessairement présentes sur tous les lots d'un même modèle de munition d'un fabricant.

chambre à cartouche hélicoïdales le long du corps de la douille [Davis, 1958]. Les traces de la chambre à cartouche produites lors de la décharge sont généralement plus marquées pour les armes à feu fonctionnant à culasse non verrouillée, car elles possèdent généralement des chambres à cartouches cannelées (*fluted chamber*) longitudinalement⁶ qui impriment des rayures longitudinales profondes sur le corps de la douille (fig. 9.27) [Haag et Haag, 2020]. Il existe également des chambres à cartouches cannelées hélicoïdalement [Heard, 2008] et certaines chambres à cartouche possèdent des traces d'usinage sous la forme de marques concentriques dues à l'alésoir de finition qui coupe la chambre à cartouche aux dimensions finales spécifiées par le fabricant [Monturo, 2019]. Toutes ces caractéristiques laissent ainsi des traces de la chambre à cartouche particulières sur le corps de la douille. A noter que les différentes chambres d'un barillet peuvent également laisser ce genre de trace [LaPierre, 1978 ; Hofmeister, 1979]. Il sera donc important de déterminer la chambre du barillet utilisée lors d'un tir (p. ex. avec la présence de résidus de tir) avec la douille examinée afin d'éviter de conclure à une fausse exclusion.

Fig. 9.27. Traces d'une chambre à cartouche cannelée longitudinalement sur le corps d'une douille de calibre 9 x 19 mm Parabellum tirée par un H&K MP5.

Ce genre de traces peut être confondu avec des traces lignées préexistantes dues à la fabrication comme le mentionne Hes and Kerkhoff [2017]. Les traces de la chambre à cartouche sont généralement des traces reproductibles [Stotts et Maritz, 2008 ; Stowe, 2012], mais dépendent également de nombreux facteurs tels que la charge propulsive, le processus de fabrication et de finition des parois et de l'épaulement de la chambre, la malléabilité du métal composant la douille, si la douille a été galvanisée ou non, la présence de saletés et de résidus de tir et la pression développée dans la chambre lors du tir [Heard, 2008].

9.4.2.7. Traces de l'extracteur

L'extracteur est une pièce métallique en forme de crochet conçue pour retirer mécaniquement la douille après le tir ou la munition non titrée de la chambre à cartouche de l'arme à feu afin qu'une nouvelle cartouche puisse prendre sa place. Des traces, par nature, dynamiques, mais parfois également moulées sont donc laissées par les caractéristiques de l'extracteur dans la gorge ainsi que sur le bord du culot des munitions à percussion centrale, et sur la surface supérieure et le bord du bourrelet des munitions à percussion annulaire. Une ou plusieurs petites traces de l'extracteur (*extractor marks*) peuvent ainsi apparaître à plusieurs endroits proches les unes des autres sur le bord (ou près du bord) de la douille lorsque la cartouche est chambrée et lorsque la douille est éjectée (fig. 9.28 et 9.29). Selon la conception de l'arme à feu et la manière dont la cartouche a été chambrée, l'extracteur peut d'abord heurter la face avant du culot ou du bourrelet de la douille, puis remonter et ainsi passer par-dessus pour se positionner dans la gorge ou derrière le bourrelet, laissant alors jusqu'à trois traces d'extracteur avant même que l'extraction ait lieu [Haag et Haag, 2020]. En revanche, si la conception de l'arme à feu prévoit que la cartouche passe en dessous et derrière l'extracteur durant le chargement, les seules traces observables seront ainsi celles laissées lors de l'extraction-éjection de la douille ou de la cartouche. Finalement, pendant la phase d'extraction-éjection, l'extracteur peut produire une

⁶ Lors de la fabrication de telles armes à feu, des petites cannelures parallèles sont taillées dans la chambre à cartouche pour permettre aux gaz produits lors de la décharge de revenir en arrière autour de la douille afin de diminuer la pression interne et de « lubrifier » la douille, facilitant ainsi son extraction [Heard, 2008]. Une partie des armes à feu à canon rayé de chez Heckler & Koch (H&K) ont des chambres cannelées longitudinales [DiMaio, 1991 ; Heard, 2008] ; c'est notamment le cas du pistolet semi-automatique H&K P7 ou encore du pistolet-mitrailleur H&K MP5, tous deux de calibre 9 x 19 mm Parabellum ; de même que le fusil d'assaut H&K 33 ou de la mitrailleuse légère H&K 21 en 5,56 x 45 mm OTAN.

trace dans la gorge ou sur le côté intérieur du culot, ou sur celui du bourrelet lorsqu'il tire de force la douille de la chambre à cartouche. La douille est finalement frappée par l'éjecteur, ce qui a pour effet de faire pivoter la douille autour de l'extracteur ou simplement de la faire sortir du bloc de culasse par la fenêtre d'éjection. Il est important de noter que les traces d'extracteur peuvent s'imprimer sur la douille simplement en éjectant la cartouche sans qu'elle soit tirée [Dutton, 2003 ; Lin et Chun, 2004]. Néanmoins, les traces apparaissent comme moins marquées, de même que lors d'une extraction-éjection manuelle réalisée par exemple dans les revolvers ou les carabines à répétition manuelle où le l'extracteur est généralement monté sur un ressort [Monturo, 2019 ; Haag et Haag, 2020]. A noter que l'opération d'éjection manuelle des douilles d'un revolver laisse généralement très peu de traces de la tige d'extraction sur la douille, et d'autant plus si un clip est utilisé. De même, la reproductibilité des traces d'extracteur dépend de nombreux facteurs, dont la charge propulsive, le processus de fabrication de l'extracteur, la malléabilité du métal composant la douille, la présence de saletés et de résidus de tir et la pression développée dans la chambre à cartouche lors du tir.

a)
b)

Fig. 9.28. Traces d'extracteur dans la gorge et sur le bord du culot d'une douille de 9 x 19 mm Parabellum tiré par un Glock 19. Illustrations (a) en deux dimensions et (b) en trois dimensions.

Sur certaines armes à feu, principalement d'épaules comme le SIG-550 (5,6 x 45 mm Suisse), la tête de culasse est découpée pour le montage et le passage de l'extracteur à ressort et de l'éjecteur. Le violent recul de la douille contre la tête de culasse du fait de la pression développée par les gaz de combustion de la poudre propulsive provoque une trace du logement de l'extracteur (marque due à la découpe sur la tête de culasse) sur le culot de la douille (fig. 9.29). Dans de rares cas, une trace de la partie supérieure de l'extracteur peut également être produite sur le corps de la douille lors de son éjection (fig. 9.30).

Fig. 9.29. Schéma illustrant le bloc culasse d'un SIG-550 (5,56 x 45 mm Suisse), le culot d'une douille tirée par cette arme à feu présentant une trace générée par le logement de l'extracteur et une autre par l'éjecteur, ainsi que la trace de l'extracteur sur le côté intérieur du culot de la douille.

Fig. 9.30. Trace de la partie supérieure de l'extracteur produite lors de l'éjection de la douille.

9.4.2.8. Traces de l'éjecteur

L'éjecteur est une pièce métallique fixe de forme (p. ex. rectangulaire, rond ou triangulaire) et de taille variable située à l'intérieur de l'arme à feu au niveau de la tête de culasse qui aide à éjecter la douille après le tir ou une cartouche non tirée. Il produit une trace moulée et parfois glissée sur le culot de la douille, généralement sur son périmètre extérieur (fig. 9.31). La trace de l'éjecteur (*ejector mark*) peut être produite par l'éjection d'une cartouche chambrée, mais non tirée, de manière similaire à la trace de l'extracteur en ce sens qu'il n'est pas nécessaire que la cartouche soit déchargée pour provoquer cette marque. Néanmoins, le fait d'actionner manuellement le système de chargement pour éjecter la cartouche peut ne pas produire de traces d'éjecteur discernables, ou du moins une impression plus légère, car la force et donc la pression exercées sur l'éjecteur sont d'une intensité beaucoup plus faible [Dutton, 2003]. De telles traces

peuvent également être produites pendant le processus d'extraction-éjection des douilles d'armes à feu à commande manuelle comme dans les carabines à un coup ou à répétition manuelle, mais généralement uniquement par une manipulation vigoureuse du mécanisme de l'arme à feu en raison de la force considérablement réduite avec laquelle, les douilles frappent l'éjecteur, par rapport aux armes à feu semi-automatiques ou automatiques [Monturo, 2019 ; Haag et Haag, 2020]. Certaines armes à feu possèdent deux éjecteurs ; dans ce cas de figure, la présence des deux traces d'éjecteur donne des indications précieuses concernant le modèle d'armes à feu employé. Un autre type de système d'éjection utilise le percuteur comme éjecteur, dont notamment les armes à feu fonctionnant à culasse non verrouillée, comme le FN Browning modèle 1906 ou encore les pistolets semi-automatiques à percussion centrale Hi-Point, Bryco, Davis, Cobra Enterprises et Jennings [Monturo, 2019]. Dans quelques armes à feu, les lèvres du chargeur font office d'éjecteur [Burrard, 1951] ; la trace d'éjecteur normalement observée est par conséquent absente. Les traces d'éjecteur comportent généralement des caractéristiques visibles et reproductibles. Toutefois, la charge propulsive, le processus de fabrication de l'éjecteur, la malléabilité du métal composant la douille, la présence de saletés et de résidus de tir et la pression développée dans la chambre à cartouche lors du tir peuvent contribuer à un manque de reproductibilité de ces caractéristiques, voire de la présence de la trace [Monturo, 2019]. De plus, l'exploitation des traces d'éjecteur peut être complexe, car cette trace peut coïncider avec les marquages préexistants sur le culot de la douille (*headstamp*) ou d'éventuelles traces d'impact survenues après l'éjection de celle-ci (bruit de fond).

Fig. 9.31. Trace d'éjecteur entre 10h et 11h sur le culot d'une douille de 7,62 x 39 mm présentant également une trace de tête de culasse à cercles concentriques sur le culot de la douille et sa capsule d'amorçage (image du Forensisches Institut Zürich).

9.4.2.9. Traces de la fenêtre d'éjection

Lors de l'éjection de la douille, cette dernière peut rencontrer une ou plusieurs fois plusieurs zones de la fenêtre d'éjection entraînant la production de traces glissées, voire moulées sur le corps de la douille. Selon l'arme à feu, ces traces de la fenêtre d'éjection (*ejection port marks*), généralement en forme de triangle, se produiront avec une grande régularité et reproductibilité d'un tir à un autre [Murdock, 1988]. La position de cette trace sur le corps de la douille dépend du type d'arme à feu. Elle se retrouve généralement à 4h (si la trace d'extracteur est mise à 3h) sur l'extrémité ou au niveau du centre du corps de la douille pour les pistolets semi-automatiques et automatiques, comme certains Smith & Wesson modèles 39, 39-2 ou 59, Glock, Beretta ou Taurus (fig. 9 32) [Murdock, 1988 ; McCombs, 2001 ; Finklestein *et al.*, 2005 ; Haag, 2017]. En revanche, elle est présente au niveau du centre de la douille pour des armes longues semi-automatiques et automatiques, comme les kalachnikovs ou les SIG-550 et ses dérivés. Ces traces ne sont généralement générées que lors d'un tir réel. A noter que si la douille frappe la fenêtre d'éjection lors de son éjection, cela impactera significativement sa position dans l'environnement du tir [Haag et Haag, 2020].

Fig. 9.32. Trace de la fenêtre d'éjection laissée par un Smith & Wesson modèle 39-2 sur l'extrémité du corps de la douille.

9.4.2.10. Traces de dérangements

La présence de nombreux résidus de tirs ou de graisse, un mauvais fonctionnement de l'arme à feu, ou encore des munitions défectueuses sont susceptibles de produire lors de l'utilisation

d'une arme à feu un certain nombre de dérangements, comme un mauvais alignement du barillet avec le canon d'un revolver, un défaut d'alimentation de la cartouche lors du chambrage ou encore un défaut d'éjection de la douille (fig. 9.33). La plupart des dérangements qui surviennent peuvent créer des traces rencontrées conventionnellement avec l'utilisation normale d'une arme à feu (p. ex. traces d'extracteur et d'éjecteur) et également des traces moulées ou glissées particulières sur la cartouche ou un élément de munition qui peuvent être prises en compte par l'expert en armes à feu afin d'évaluer leur source. Néanmoins, il sera généralement très compliqué de reproduire et donc d'exploiter ce type de traces, à moins d'un défaut récurrent avec la munition ou l'arme à feu.

Fig. 9.33. Exemple de dérangement survenu à la suite d'un défaut d'alimentation d'une cartouche dans un pistolet semi-automatique SIG P220 et de la trace créée sur le corps de sa douille par la glissière.

9.4.3. Cas particulier : traces de rechargement

Les différentes étapes du processus de rechargement des cartouches (cf. § 6.8) peuvent laisser des traces particulières sur les éléments de la cartouche avant le tir. La première étape consiste à extraire la capsule d'amorçage tirée pour en sertir une nouvelle. Lors de cette étape, le corps de la douille est recalibré à un diamètre correspondant au calibre au moyen d'une matrice qui va enserrer la douille. Par la suite, une capsule d'amorçage neuve est sertie au culot de la douille et ce processus peut provoquer des marques sur la capsule d'amorçage (fig. 9.34) ou sur les bords de celle-ci [McCombs, 2016].

Fig. 9.34. Comparaison de traces sur des capsules d'amorçage neuve (à gauche) et ressertie (à droite).

Une autre trace peut se retrouver sur le projectile lors du sertissage sur le culot de la douille, en fonction du calibre réel du projectile et des tolérances de fabrication, il se peut que le projectile soit fortement marqué lors de l'insertion du projectile dans la douille et que les traces subsistent après le tir (cf. fig. 9.3). Il faut également considérer que des douilles rechargées présentent des traces d'éjecteur, d'extracteur, de la fenêtre d'éjection, voire de tête de culasse, provenant des tirs antérieurs. En conséquence, si plusieurs traces laissées par une même partie d'arme à feu sont constatées sur la douille, elles doivent être évaluées afin de savoir si elles proviennent du tir en question, d'une manipulation de l'arme ou d'un tir antérieur. Dans ce dernier cas, des traces de rechargement peuvent être constatées. Par ailleurs, toutes les traces laissées par une arme à feu sur la capsule d'amorçage proviennent généralement du dernier tir étant donné que l'amorce d'une douille doit toujours être neuve pour qu'elle fonctionne. En conséquence, les traces sur l'amorce peuvent être utiles pour orienter et trier les autres traces présentes sur la douille [Monturo, 2019].

9.5. Méthodes de mise en évidence des traces

Plusieurs outils peuvent être employés afin de mettre en évidence et exploiter les traces laissées par une arme à feu sur des éléments de munitions. Les paragraphes suivants détaillent les deux principaux types d'outils couramment utilisés de nos jours dans la pratique opérationnelle.

9.5.1. Macroscopie

L'observation macroscopique est la technique la plus couramment employée pour documenter et exploiter les traces laissées par une arme à feu sur des éléments de munition. Combinée à un

système d'enregistrement photographique, la macroscopie permet également d'illustrer ces traces à différents grossissements. L'étape essentielle en matière de traces d'arme à feu étant leur comparaison, le macroscopie comparateur (ou macroscopie de comparaison) est traditionnellement présenté comme l'outil central de l'étude de ces traces. Cet appareil est constitué de deux dispositifs macroscopiques – chacun équipé d'une platine et d'un jeu d'objectifs – connectés par un pont de comparaison. Le système de pont centralise les deux images permettant ainsi leur observation simultanée par l'utilisateur au moyen d'oculaires ou leur enregistrement photographique (avec une caméra ou un appareil photographique). De nombreux accessoires sont souvent fournis pour faciliter l'observation des traces d'intérêts (p. ex. supports adaptés aux calibres des douilles, fixation rotative pour les projectiles). Les modèles les plus récents sont par ailleurs motorisés afin de déplacer simultanément les deux objets étudiés, facilitant l'obtention d'images aux paramètres similaires, par exemple en matière de mise au point et d'ajustement de l'éclairage. Finalement, des caméras ou des appareils photographiques équipent certains macroscopes comparateurs offrent des possibilités d'études des images sur un écran à l'aide de logiciels de visualisation, avant leur enregistrement photographique. A noter qu'il est également possible d'utiliser des microscopes numériques pour observer des surfaces irrégulières comme des traces sur des éléments de munitions ou des objets en deux (2D) et trois dimensions (3D) à très haute résolution tout en permettant d'effectuer une grande variabilité de mesures (cf. fig. 9.18b et 9.28).

En débutant par des observations à des grossissements relativement faibles (p. ex. de l'ordre de 10 fois), il est possible de décrire la forme générale de certaines traces (p. ex. traces de percuteur ou d'éjecteur) ou encore leur emplacement relatif (p. ex. traces de ripage dans une impression de champ). Selon le type de trace, ou afin d'observer des caractéristiques plus détaillées, un grossissement plus important est généralement nécessaire. On note cependant qu'un grossissement de l'ordre de 50 fois est en général suffisant pour mettre en évidence les caractéristiques comme les stigmates.

Les projectiles et les douilles pouvant présenter une grande variété de surfaces (cf. Chapitre 6), différents éclairages peuvent être employés afin d'observer les traces laissées par les armes à feu (fig. 9.35). Les macroscopes comparateurs modernes possèdent en général un système d'éclairage (p. ex. LED ou lampe à incandescence) intégré avec des sources lumineuses fixées sur les platines. D'autres systèmes peuvent être montés sur le comparateur selon les besoins.

Fig. 9.35. Représentation schématique des principales techniques d'éclairage. (a) Eclairage direct ; (b) Eclairage indirect ; (c) Eclairage annulaire ; (d) Episcopie coaxiale. Les flèches bleues représentent le trajet de la lumière émise par les sources lumineuses alors que les flèches rouges indiquent celui de la lumière réfléchi par la surface.

L'éclairage direct est le plus couramment employé. La source lumineuse est positionnée afin que la lumière atteigne directement la surface observée avec un angle d'environ 45° par rapport à la surface observée. Il est bien évidemment nécessaire d'adapter l'orientation de la source lumineuse selon l'élément de munition étudié (p. ex. projectile endommagé) ou la trace observée (p. ex. traces d'extracteur dans la gorge d'une douille).

Un éclairage indirect est également envisageable. La source lumineuse est alors orientée vers un matériau réfléchissant le rayon lumineux avant que celui-ci atteigne la surface observée. Selon le matériau constituant le réflecteur et l'inclinaison de la source lumineuse, ce type d'éclairage peut se révéler très efficace pour la mise en évidence de stigmates.

Un système d'éclairage annulaire peut également être employé pour observer des traces sur les éléments de munitions. Plusieurs sources lumineuses (p. ex. LED) sont placées autour de l'objectif du macroscopie afin que la lumière atteigne la surface observée tout autour de celle-

ci. Ce type d'éclairage permet une réduction très importante des ombres lors de l'observation, il trouve ainsi son utilité dans des cas très particuliers.

Le dernier dispositif couramment utilisé afin d'observer les surfaces d'éléments de munition est l'épiscopie coaxiale (principe de réflexion spéculaire). Le rayon lumineux suit un trajet parallèle à la surface étudiée, il est renvoyé par un miroir semi-transparent afin d'atteindre perpendiculairement la surface observée. La diffusion de la lumière dépend alors de la surface. Si elle n'est pas plane, la lumière est diffusée alors que dans le cas contraire elle est renvoyée et traverse le miroir semi-transparent, offrant ainsi une image bien contrastée. Cette technique produit de bons résultats pour des surfaces comme les culots de douille lorsqu'il s'agit d'étudier des traces de percuteur ou de tête de culasse. Elle est cependant peu appropriée pour les surfaces courbes.

9.5.2. Systèmes de comparaison automatique

Un système de comparaison automatique est un outil permettant de comparer les traces des éléments de munition laissées par une arme à feu. Ces systèmes ont généralement trois composantes :

- Une station d'acquisition permettant l'obtention d'une prise de vue digitale (2D) ou d'une mesure topographique (3D) des éléments de munition de manière standardisée.
- Une banque de données regroupant l'ensemble des acquisitions.
- Un logiciel permettant la comparaison entre les spécimens et classant les candidats en fonction de leur similarité.

L'avantage majeur des systèmes de comparaison automatique réside dans leur capacité à automatiser l'acquisition et la comparaison de données. Ils offrent également la possibilité de faire des comparaisons à large échelle en un temps réduit.

L'utilisation des systèmes de comparaison automatique peut se décomposer en différentes étapes : l'acquisition de l'image (en 2D ou 3D), un prétraitement mathématique de son information ou une sélection faite par l'utilisateur afin de mettre en évidence les traces, des traitements mathématiques permettant de mettre en évidence les stigmates des traces, l'extraction du profil (certains auteurs utilisent le terme de « signature ») et la comparaison de ce dernier avec ceux présents dans la banque de données. Cette comparaison est effectuée à l'aide d'un algorithme, dont les spécificités sont propres à chaque système et souvent tenues secrètes. Le résultat est donné sous la forme d'une liste présentant au minimum un score de similarité entre l'élément d'intérêt et les candidats présents dans la banque de données. L'opérateur est ensuite chargé de vérifier visuellement, à l'aide des images fournies par le système ou avec un microscope comparateur, les premiers candidats fournis par la liste et de confirmer ou réfuter les résultats obtenus. Généralement, les algorithmes des systèmes de comparaison automatique se concentrent sur les impressions de champs pour les projectiles, mais permettent aussi, dans certains cas, la comparaison des impressions de rayures et des traces de ripage. Concernant les douilles, ils se concentrent sur les traces présentes sur le culot, c'est-à-dire les traces du percuteur, de la tête de culasse, et parfois de l'éjecteur. Plusieurs systèmes de comparaison automatique commerciaux ont été développés et le domaine est en constante évolution. Les systèmes les plus utilisés dans les services de police européens sont présentés dans les paragraphes suivants.

9.5.2.1. Le système IBIS®

En 1992, l'entreprise canadienne Forensic Technology Inc. développe le système Ceasefire® pour le *Bureau of Alcohol, Tobacco and Firearms (ATF)*. Cet outil devient rapidement IBIS®, pour *Integrated Ballistics Identification System*. Il est constitué d'une partie dédiée aux projectiles – Bulletproof®, ainsi que d'une partie utilisée pour les douilles – Brasscatcher®. Ce

système repose sur un éclairage annulaire et coaxial. A la même période, le système Drugfire[®] est développé pour le *Federal Bureau of Investigation (FBI)* par Mnemonic Systems Inc. Il ne se base cependant pas sur le même éclairage qu'IBIS[®] ce qui rend les deux systèmes incompatibles et complique le partage d'information entre les deux agences américaines. Le *National Integrated Ballistics Information Network (NIBIN)* voit le jour en 1997 avec l'objectif de permettre l'interopérabilité entre les deux systèmes et de ce fait, entre les bureaux du FBI et de l'ATF (Denio, 1999). Deux ans plus tard, la décision est prise de n'utiliser que le système IBIS[®] avec le réseau de communication du FBI, et ce pour tous les sites NIBIN [Boesman et Krouse, 2001]. Actuellement, le système IBIS[®] appartient à la compagnie Ultra Electronics Forensic Technology. IBIS TRAX 3D[®] regroupe les composantes Brasstrax[®] et Bulletrax[®] qui permettent l'acquisition d'images 2D et 3D pour les douilles et les projectiles respectivement. Bulletrax[®] exploite un microscope confocal et une lampe Xénon, en éclairage coaxial. L'acquisition du pourtour du projectile est assurée grâce à sa rotation. Brasstrax[®] reconstruit la topographie des traces sur les douilles grâce à un système appelé « *Depth From Focus* » qui exploite les limitations de profondeur de champ du système optique pour extrapoler l'information de la hauteur en fonction de la mise au point sur l'objet. La compagnie propose également le système « *Matchpoint* » qui est le poste d'analyse, un concentrateur de données qui permet le stockage et la gestion des données, un serveur de corrélation sur lequel s'effectue le traitement des données et un microscope Quantum 3D conçu pour une quantification du degré de concordance dans les déterminations d'une source commune.

Le réseau IBIN (*Interpol Ballistic Information Network*) établi par Interpol utilise le système IBIS[®] afin de détecter des concordances et d'établir des liens entre des infractions impliquant des armes à feu. En Europe, IBIS[®] est exploité au Portugal, en Espagne, en Italie, au Royaume-Uni, en Irlande, en Suède, au Danemark, en Norvège, aux Pays-Bas, en Croatie, en Macédoine et en Pologne.

9.5.2.2. Le système Evofinder[®]

Evofinder[®] est un système de comparaison automatique développé par ScannBI Technology Ltd. Ses créateurs travaillaient auparavant pour l'entreprise LDI-Ruspribor qui a développé et breveté la technologie derrière le système CONDOR[®] (COMplex of Nikolayev, DERenovskiy, and O.ROYgas) en 1998. Evofinder[®] comporte une station d'acquisition assurant une bonne qualité d'image grâce à la technologie « *frame-fragment* » qui enregistre successivement des images des différentes zones de l'élément de munition. Cette station d'acquisition peut aussi bien scanner des projectiles que des culots de douille, et présente l'avantage d'être particulièrement compacte, transportable et légère (moins de 6 kg). Les dernières versions du logiciel permettent également de scanner le corps des douilles, mais il n'y a pas pour l'instant d'algorithme pour traiter les traces sur ces derniers. L'éclairage est réalisé par quatre LED, disposées dans quatre directions différentes. Les images 3D peuvent être reconstruites grâce au principe de microscopie à variation de mise au point et à de nombreux algorithmes. Plusieurs stations d'acquisition peuvent être mises en réseau avec ou sans des stations uniquement de visualisation, le tout connecté à un serveur centralisant la banque de données et les algorithmes [Sautier *et al.*, 2021]. Evofinder[®] est disponible dans plus d'une vingtaine de pays en Europe dont la Suisse, la France, l'Allemagne, le Luxembourg, la Belgique, l'Autriche, la Hongrie, la Slovénie, la Bosnie, la Serbie, le Monténégro, la Grèce et la Finlande.

9.5.2.3. Le système BalScan[®]

Balscan[®] a été développé par l'entreprise tchèque Laboratory Imaging s.r.o. Ce système est basé sur la microscopie à variation de mise au point et permet l'acquisition des échantillons en 2D et 3D. Pour les projectiles, un éclairage LED latéral est utilisé alors que pour les culots de

douilles il s'agit d'un éclairage LED annulaire. Pour les projectiles, les impressions de champs sont exploitées par l'algorithme alors que, dans le cas des douilles, ce dernier se concentre uniquement sur les traces sur le culot (trace du percuteur, de la tête de culasse et de l'éjecteur), bien qu'il soit également possible d'acquérir des images du corps de la douille.

Balscan[®] offre également la possibilité de mettre plusieurs systèmes d'acquisition en réseau avec un serveur contenant les données, ainsi que des systèmes passifs, c'est-à-dire sans la possibilité d'acquisition des images. L'entreprise est également à l'origine du système Toolscan[®] qui est similaire à Balscan, mais cette fois-ci appliqué aux traces d'outils. Le système Balscan[®] est disponible en République tchèque et en Suisse, où il est utilisé par les polices cantonales saint-galloise et bernoise.

9.5.2.4. Bref état de la recherche

Les systèmes de comparaison automatique sont de plus en plus présents dans la recherche, que ce soit pour visualiser et illustrer des traces [Haag *et al.*, 2017 ; Werner *et al.*, 2018] ou pour étudier leurs performances [Garten et Burrows, 2017 ; Morris *et al.*, 2017 ; dos Santos et Vieira Muterlle, 2018 ; Morris *et al.*, 2018]. Ces systèmes sont également utilisés pour étudier la reproductibilité ou la spécificité des traces entre des armes à feu produites consécutivement [Hamby *et al.*, 2016 ; Kirk *et al.*, 2017 ; Law *et al.*, 2017 ; Zhang *et al.*, 2017 ; Law *et al.*, 2018 ; Zhang et Luo, 2018 ; Christen et Jordi, 2019 ; Dong *et al.*, 2019a ; Dong *et al.*, 2019b ; Li *et al.*, 2019]. Quelques recherches se sont aussi portées sur l'utilité de ces systèmes pour établir des liens entre des cas provenant de différents pays et sur la façon dont ce partage d'information devrait être réalisé [De Ceuster *et al.*, 2012 ; De Ceuster et Dujardin, 2015 ; Gerard *et al.*, 2017 ; Sautier *et al.*, 2021]. Il est cependant important de noter que ces recherches sont fortement dépendantes des systèmes utilisés et de la version de leurs logiciels. En effet ces derniers, et les algorithmes qui les composent, sont régulièrement mis à jour et améliorés. Parmi les améliorations en cours, il y a la question du format des données obtenues. À ce jour, la plupart des systèmes ont leur propre format, ou parfois un format spécifique pour les douilles et un autre pour les projectiles, qui ne sont pas compatibles entre les systèmes. En plus de leur format natif, les systèmes envisagent d'utiliser le format .X3P. Ce dernier est conforme aux normes ISO 25178 et ISO 25178-72 sur la géométrie et sur les formats d'échange de données de surface entre les différents systèmes de comparaison automatique. Il est donc attendu que plusieurs recherches à ce sujet soient effectuées dans les années à venir.

9.6. Méthodologie d'expertise

9.6.1. Approche ACE-V

Les prochains paragraphes décrivent le schéma général encadrant la comparaison de traces d'armes à feu laissées sur des éléments de munition. Ce processus méthodologique, communément appelé ACE-V, se compose de quatre étapes – Analyse, Comparaison, Evaluation, Vérification – et s'inspire du schéma largement employé dans le contexte des traces digitales [Ashbaugh, 1999, Champod *et al.*, 2016]. Cette logique en quatre étapes se rencontre couramment dans les domaines de la science forensique exploitant des traces physiques parmi lesquelles figure notamment l'étude des traces de semelles [Girod *et al.*, 2008], d'outils [Baldwin, 2013], ou encore d'écriture [Harralson et Miller, 2018].

Dans un tel contexte, un élément de munition – douille ou projectile – dit indiciaire est retrouvé dans le cadre d'un cas d'intérêt forensique. Si une expertise est entreprise, il sera nécessaire d'obtenir des éléments de référence qui, par opposition au matériel indiciaire, sont obtenus dans des conditions contrôlées, et à partir de munitions connues. Les paragraphes suivants détaillent les principales étapes d'une telle expertise, une phase d'analyse a tout d'abord pour but de documenter les traces sur les éléments indiciaires. Selon les demandes du mandant, une arme à

feu pourra avoir été initialement transmise pour expertise. Le cas échéant, l'arme à feu devra également être examinée dans les premières étapes de l'expertise. La phase d'analyse peut également orienter la recherche de munition de référence et potentiellement les recherches de l'arme à feu en question. Une fois l'ensemble de ces pièces à disposition, l'expert peut réaliser des tirs de références. Les caractéristiques des traces relevées sur les pièces indicielles sont ensuite comparées à celles des traces se trouvant sur les pièces de référence produites. Les résultats de ces comparaisons sont finalement évalués, dans le cadre de principes d'évaluation probabiliste, tels qu'introduits au chapitre 4 avant que l'ensemble de l'approche soit vérifié.

9.6.2. La phase d'analyse

9.6.2.1. Examen des éléments de munition

En tant que support de traces d'intérêt, l'élément de munition indiciaire – que ce soit le projectile ou la douille – est la pièce centrale de l'expertise forensique dans le contexte d'un cas impliquant l'utilisation d'une arme à feu. Lors de l'intervention sur les lieux d'un tel événement, il est tout à fait envisageable de retrouver à la fois un élément de munition et une arme à feu indiciaires (p. ex. dans le cas d'un suicide supposé). En revanche, selon le contexte du cas, il est également possible de ne retrouver que des éléments de munition sur les lieux, sans que les premières constatations ne mènent immédiatement à une arme à feu. Une arme suspecte pourra être mise en évidence lors de l'enquête qui suivra, parfois avec le concours d'analyses forensiques. L'examen initial des éléments de munition peut alors prendre une autre tournure, dans la mesure où cette étape pourra servir à orienter l'enquête vers une arme – ou un groupe d'armes à feu – d'intérêt dans le cadre du cas. Le paragraphe 6.9 du chapitre sur la description des cartouches décrit la démarche à adopter afin de déterminer (d'identifier) les calibres nominaux, les fabricants ainsi que les modèles possibles d'éléments de munition retrouvés sur les lieux. Alors que l'exploitation des caractéristiques intrinsèques de l'élément indiciaire peut mener, notamment, à la détermination de son calibre nominal, l'étude des caractéristiques extrinsèques – laissées par l'arme à feu sur l'élément de munition – orientera la recherche vers une liste d'armes à feu potentielles. Ces caractéristiques extrinsèques (traces d'armes à feu) observables sur les éléments de munition indiciaire permettent en effet d'inférer les caractéristiques de classe de l'arme à feu utilisée. La mesure de largeur des impressions de champs sur un projectile permet par exemple d'estimer la largeur des champs du canon. De même, la forme d'une trace (p. ex. stries concentriques) sur une capsule d'amorçage renseigne sur le motif de la tête de culasse. Des banques de données (citons par exemple celle de Doyle [2010]) répertorient les caractéristiques de classe de nombreux modèles d'armes à feu. Ces caractéristiques de classes sont observables sur les éléments de munition (fig. 9.36).

Fig. 9.36. Traces et observations principales en rapport avec les caractéristiques de classe de l'arme à feu utilisée pour tirer les éléments de munition étudiés.

Lors de recherches effectuées dans de telles banques de données, il faudra prendre en considération une incertitude lorsque des mesures sont utilisées (p. ex. largeur des impressions de champ) ou si certaines caractéristiques extrinsèques sont difficiles à distinguer (p. ex. la position exacte de l'éjecteur par rapport à celle de l'extracteur). De plus, certaines caractéristiques – ou combinaisons de caractéristiques – peuvent être partagées par plusieurs modèles d'arme à feu, parfois entre différents fabricants. Parmi les autres limitations de ce type de recherches, il faut tenir compte de l'aspect géographique et des problématiques de mise à jour des informations pour tenir compte des nouveautés sans cesse apportées sur le marché par les fabricants. Selon le cas, trier ces résultats par recoupement avec les informations

circonstancielle peut également se révéler intéressant (p. ex. concentrer les recherches sur les armes de poing ou les armes longues selon un témoignage). Au-delà de l'orientation de l'enquête dans les cas où une arme à feu n'a pas été immédiatement retrouvée sur les lieux, ces informations sont aussi utiles dans le cadre de l'évaluation probabiliste des résultats (cf. § 9.4.5).

L'analyse des traces sur les éléments de munition indicielle doit également porter sur les stigmates. Des observations macroscopiques et des photographies des traces à différents grossissements peuvent déjà être réalisées pour bien apprécier la forme des traces, leurs aspects qualitatifs (p. ex. position, délimitation, définition des contours)⁷. De telles observations permettent également de définir certains paramètres pratiques, comme le meilleur éclairage pour mettre en évidence des stigmates d'intérêt, qui se révéleront utiles lors de la phase de comparaison. Outre les photographies, des croquis des pièces peuvent être réalisés pour documenter les différentes traces d'intérêt et leur position relative (p. ex. orientation des traces sur un culot de douille par rapport aux inscriptions sur celui-ci, numérotation des impressions de champ sur un projectile). Notons également que les images des projectiles produites par les systèmes d'acquisition automatique offrent d'intéressantes possibilités de documentation et d'annotation des traces d'intérêts tout en permettant de les distinguer (p. ex. différenciation des stigmates des impressions de champ de ceux des traces de ripages).

À l'issue de la phase d'analyse, l'expert sera familiarisé avec les différentes traces figurant sur les éléments de munition indiciaires. La finalité est ici, pour l'expert, d'être en mesure d'apprécier les caractéristiques qu'il s'attend à retrouver sur un élément de munition de référence de qualité. Cette phase devra par ailleurs être réalisée indépendamment de toute connaissance relative aux traces observables sur un éventuel matériel de référence qui serait déjà à disposition au moment de l'étude des pièces indiciaires. En prévision des aspects comparatifs portant sur des éléments quantitatifs, il est utile de bien localiser sur la pièce les zones présentant une densité importante des stigmates.

L'expert devra également déterminer la spécificité des traces observées. Cette spécificité peut être appréciée à partir de la présence (respectivement de l'absence) de caractéristiques dites individuelles et de caractéristiques de sous-classe (cf. § 9.3). Distinguer ces deux types de caractéristiques est une des étapes les plus délicates de la phase d'analyse, l'expérience de l'expert étant un facteur particulièrement important. On retiendra cependant que les caractéristiques de sous-classe sont généralement bien définies, avec des stries de taille importante en comparaison des caractéristiques dites individuelles. Elles présentent aussi un aspect continu et régulier sur la surface observée (fig. 9.37) [Biasotti et Murdock, 1997].

Fig. 9.37. Exemple de caractéristiques de sous-classe de la trace de la tête de culasse concordantes entre deux douilles tirées par des armes à feu différentes mais présentant un numéro de série proche.

L'éventuelle présence de caractéristiques de sous-classe sur des armes à feu produites selon le même procédé ne signifie pas nécessairement que des traces présentant ces caractéristiques seront présentes sur deux éléments de munition tirés avec ces armes à feu. L'expert se doit de reconnaître ces caractéristiques tout en étant en mesure de déterminer si elles ont pu être transférées sur la surface de l'élément de munition en question, d'où l'utilité d'un examen approfondi de l'arme à feu dans le cadre d'une expertise [Biasotti et Murdock, 1997].

L'expert doit également considérer les stigmates en regard de leur reproductibilité. Il doit ainsi cerner les caractéristiques qu'il s'attend à les retrouver sur un élément de munition de référence. Cette appréciation est d'autant plus complexe que chaque caractéristique dite individuelle n'est

⁷ Le vernis d'étanchéité présent sur certaines capsules d'amorçage peut être enlevé avec de l'acétone afin d'améliorer la visualisation des traces présentes. Des photographies de ces différentes traces doivent être réalisées avant cette opération.

pas nécessairement reproduite sur les éléments de munition lors du processus de tir (du fait du processus mécanique sur lequel se base le tir). Différents critères comme l'état général de l'élément de munition (p. ex. fragment du chemisage du projectile, douille déformée), le support (p. ex. projectile en plomb nu), la définition de la trace (p. ex. contour), son emplacement (p. ex. emplacement des stigmates par rapport à la base d'un projectile) ou encore la présence de bruit de fond, vont ainsi influencer la confiance que l'expert va accorder à certaines caractéristiques. Plus le niveau de confiance de l'expert pour une caractéristique est faible, moins il s'attend à la retrouver sur un élément de munition de comparaison. Finalement, l'expert devra également considérer – déjà à l'étape de l'analyse – la rareté des caractéristiques au sein d'une population d'intérêt. Le but étant de caractériser l'ensemble des traces présentes sur l'élément de munition indiciaire en mettant en évidence celles qui pourront être les plus discriminantes lors de la recherche de l'arme à feu ayant servi au tir.

9.6.2.2. Examen de l'arme à feu

Il s'agit ici de considérer l'état de l'arme à feu dans le contexte de l'expertise et ainsi déterminer ce qui pourrait influencer les traces produites par celles-ci sur les éléments de munition. Certaines informations peuvent avoir été documentées lors de la découverte de l'arme à feu afin d'identifier son type, sa marque ou son modèle (cf. § 5.7), que ce soit sur les lieux ou par la suite lors de l'enquête. Il peut être utile de se renseigner auprès des intervenants concernés pour bien cerner l'état de l'arme à feu au moment de sa découverte (p. ex. dérangement ou dysfonctionnement lors de la sécurisation) ou les conditions dans lesquelles elle était entreposée. De même, si l'arme à feu présente des résidus de tir, des débris ou des résidus graisseux, un nettoyage peut être considéré, certains débris pouvant entraver la production de traces lors de la réalisation du matériel de référence. Il convient cependant de procéder à un nettoyage avec précaution, cette étape pouvant elle-même introduire des modifications des caractéristiques fines des pièces en contact avec les éléments de munition lors d'un tir. De la même manière, il faudra prendre des précautions particulières si l'arme à feu ou certaines de ses pièces sont marquées par la corrosion. Des techniques de nettoyage sont envisageables [Hess et Moran, 2006], mais il faut également considérer qu'une telle opération pourrait modifier certaines surfaces des pièces de l'arme à feu et donc leurs caractéristiques. Ici encore, les informations circonstanciées jouent un rôle important pour comprendre le mécanisme de corrosion (p. ex. temps d'immersion et environnement) et estimer son impact sur l'arme à feu, son fonctionnement ou encore anticiper un effet sur les traces produites lors de l'établissement du matériel de référence. Ces informations sont essentielles, car l'emploi de techniques analytiques avancées n'est en effet pas suffisant pour comprendre combien de temps une arme à feu a pu être immergée, comme le montre l'étude de Wogan *et al.* [2013] sur les glissières de quatre pistolets.

En plus de s'assurer du fonctionnement correct de l'arme à feu en question, il est également utile d'étudier les pièces qui entrent en contact avec les éléments de munition lors du processus du tir. Même si une observation de certaines d'entre elles peut être difficile sans démonter l'arme à feu – mesure qu'il faudra considérer avec précaution puisqu'elle pourrait influencer la manière dont l'arme à feu produit des traces – le percuteur ou la tête de culasse peuvent être étudiés sous un microscope pour détecter d'éventuelles caractéristiques particulières (p. ex. usures d'un percuteur).

9.6.3. Les tirs de référence

En plus de la détermination du calibre nominal possible d'un élément de munition, la démarche décrite dans le paragraphe 6.9 fournit des informations sur une liste possible de fabricants et de modèles. Au-delà de l'aspect descriptif, cette étape est essentielle, car la munition qui servira à l'établissement du matériel de référence étudié dans le cadre de l'expertise devra être le plus

proche possible de celle dont est issu l'élément de munition indiciaire, idéalement du même lot. L'enquête pourrait tout à fait mener à la découverte d'une boîte de munitions (p. ex. retrouvée chez un protagoniste suspect), mais lorsque ce n'est pas le cas, un travail supplémentaire devra parfois être entrepris pour se procurer la munition de référence appropriée. A l'image de la recherche entreprise pour déterminer le calibre nominal et le fabricant possibles de l'élément de munition indiciaire, faire appel à un réseau de professionnels peut se révéler utile. Les armuriers et revendeurs de munitions sont logiquement une des sources principales pour se procurer des munitions, mais rappelons également que les services forensiques, les forces de police ou encore les institutions de recherche peuvent également disposer de collections de munitions.

Une fois la munition de référence trouvée, il est important de bien observer les cartouches avant toute manipulation. Elles peuvent en effet présenter des traces préexistantes provenant du processus de fabrication de parties de la munition (p. ex. projectile ou capsule d'amorçage, cf. § 9.1.1.1 et 9.4.2) ou du vécu de la munition avant le tir. Même si elles ne sont pas nécessairement difficiles à distinguer de celles produites par une arme à feu lors d'un tir, ces traces peuvent toutefois interférer avec les traces produites lors de l'établissement du matériel de référence. Il convient donc de bien documenter ces éventuelles traces préexistantes lors de la phase d'analyse, y compris avec une observation macroscopique. Si une arme à feu est retrouvée sur les lieux ou, dans le cas contraire, si l'enquête a suffisamment progressé pour permettre la mise en évidence d'une arme à feu, il s'agit alors de produire du matériel de référence avec cette arme à feu, et la munition de référence identifiée. Selon le résultat de l'examen de l'arme à feu, notamment si des doutes persistent quant à son fonctionnement, il est recommandé de procéder aux tirs de référence à l'aide d'un chevalet de tir sur lequel l'arme à feu sera fixée. La détente de cette dernière peut ainsi être actionnée à distance (tir « à la ficelle ») par l'utilisateur. Cette pratique peut également faire partie des procédures habituelles d'un laboratoire, même si l'arme à feu utilisée est considérée comme étant en bon état.

9.6.3.1. Systèmes de récupération de projectiles et de douilles

L'outil le plus couramment employé pour réaliser des tirs de référence est la cuve à eau. Même si elles peuvent être de taille variable, les cuves à eau sont majoritairement destinées à la récupération de projectiles de petits calibres ou tirés à l'aide d'armes de poings. La plupart des modèles sont décrits comme horizontaux, même s'il existe également des modèles verticaux [Lansing et Seestrom, 1975]. Quelques cuves sont disponibles dans le commerce, mais il n'est pas rare que les services de police ou les laboratoires forensiques fassent produire une cuve à eau sur mesure, selon la taille de leurs locaux. L'avantage de la cuve à eau est qu'elle permet de récupérer un projectile en bon état. Il se peut qu'une trace de l'impact entre le projectile et la surface l'eau soit visible sur la tête du projectile, sa position n'est en revanche pas problématique dans la mesure où les traces d'intérêts se situent sur le corps ou à la base du projectile. Il faut également noter que le type d'arme à feu et les caractéristiques de la munition de référence conditionnent également le choix du système de récupération du projectile de référence. Ainsi, il conviendra d'utiliser un autre système que la cuve à eau pour récupérer par exemple des projectiles à expansion ou à tête creuse puisqu'ils subiront une importante dégradation [Werner *et al.*, 2018]. Les tirs de référence avec ce type de projectiles ou avec des armes longues peuvent être réalisés dans un canal rempli de ouate qui, une fois bien comprimé, permet d'arrêter le projectile sans le déformer. Parfois composé de chutes de coton grossières, ce type de système est en général moins coûteux qu'une cuve à eau, et adaptable en longueur. Outre le coton, des fibres synthétiques peuvent aussi être employées pour récupérer des projectiles de référence [Werner *et al.*, 2018]. Le principe est similaire à celui de la récupération dans la ouate : le tir est réalisé dans un canal rempli de fibres synthétiques dont la longueur peut être adaptée selon le type d'arme employé. Concernant la récupération des douilles, l'objectif

est de minimiser les impacts sur les douilles tirées après leur éjection. Différents réceptacles peuvent également être fixés sur les armes à feu lors de la réalisation des tirs de référence. Cependant, afin d'éviter toute interaction avec l'arme et son mécanisme (notamment lors du processus d'extraction et d'éjection de la douille), il est préférable d'utiliser des systèmes positionnés à proximité de la fenêtre d'éjection (p. ex. filets récupérateurs). Cette problématique ne concerne pas les revolvers, mais d'autres précautions peuvent être prises lors de la réalisation de tirs de référence avec ce type d'arme de poing. Il est ainsi recommandé de bien identifier la chambre du barillet utilisé pour effectuer les tirs et, si la documentation réalisée lors de la découverte de l'arme à feu le permet, d'utiliser la chambre la plus appropriée selon les circonstances (cf. § 8.2.4).

9.6.3.2. Analyse des traces sur les éléments de référence

Une fois le matériel de référence produit, il convient de procéder à une analyse des traces présentes sur ces éléments de munition. Bien que généralement plus succincte que pour le matériel indiciaire, cette étape permet à l'expert de se familiariser avec les traces et leur répartition sur le matériel de référence, aussi bien du point de vue quantitatif que qualitatif, et sur l'ensemble des éléments de munition puisque plusieurs tirs de référence sont habituellement réalisés. Dans le cas d'un projectile, l'expert pourra ainsi identifier les impressions de champ correspondantes sur les différents projectiles, ou encore les zones d'intérêts en matière de densité de stigmates. Pour ce qui est des douilles, il s'agira par exemple d'étudier l'orientation des traces, de leur position relative et de leurs caractéristiques qualitatives (p. ex. forme générale, délimitation des contours).

9.6.4. La comparaison des traces sur les éléments de munition indiciaires et de référence

Le principe qui consiste à approcher un problème du général au particulier, largement adopté dans le domaine de la science forensique, est également recommandé dans le contexte de la comparaison des traces laissées sur un élément de munition indiciaire et des éléments de référence. Il convient ainsi de procéder dans un premier temps à une comparaison des caractéristiques de classe avant de se concentrer sur des caractéristiques plus détaillées comme les stigmates.

9.6.4.1. Comparaison des caractéristiques de classe

Il est fondamental de procéder à une comparaison systématique des caractéristiques de classe des éléments de munition étudiés avant de poursuivre la comparaison à un niveau de détail plus avancé. Cette étape comparative est grandement facilitée si la phase d'analyse a été rigoureuse et bien documentée pour l'ensemble des éléments de munition indiciaires et de référence. Cette comparaison des caractéristiques de classe repose à la fois sur des informations quantitatives (p. ex. largeur des impressions de champ, diamètre du logement du percuteur) et qualitatives (p. ex. forme des traces de la tête de culasse ou du percuteur, position relative extracteur-éjecteur). Une discordance non explicable en matière de caractéristiques de classe implique que les éléments de munition ont été tirés par des armes différentes. Ici encore, la phase d'analyse est particulièrement importante pour bien mettre en évidence les arguments qui pourraient expliquer une discordance des caractéristiques de classe. A titre d'exemple, un dommage important ou une déformation d'un élément de munition indiciaire peut expliquer une différence lors de la comparaison des mesures d'impression de champ ou de la position relative extracteur-éjecteur sans toutefois mener à la conclusion que les éléments de munition ont été tirés par des armes à feu différentes.

9.6.4.2. Comparaison des stigmates

Traditionnellement, la comparaison de stigmates repose sur l'étude de stries se retrouvant dans les traces glissées laissées par l'arme à feu sur l'élément de munition lors du tir⁸. Ces stries peuvent être mises en évidence par l'intermédiaire des méthodes décrites au paragraphe 9.5 et constituent la base de l'approche quantitative largement appliquée depuis le milieu du XX^e siècle. La notion de stries concordantes consécutives (*consecutive matching striae*, CMS) s'est progressivement imposée pour devenir l'élément central du processus de comparaison [Burd et Kirk, 1942 ; Biasotti 1959]. Biasotti et Murdock [1984] définissent une strie comme un « segment accidentel et longitudinal présentant une largeur et une forme définies »⁹. Moran (2003) quant à lui, concentre la définition de la strie sur son observation, c'est-à-dire sur l'image de l'objet étudié. Il présente la strie comme « l'image (réflexion spéculaire) générée à partir des sommets du profil strié (zones claires) séparés par les zones foncées dans les vallées. La largeur et la fréquence des stries sont déterminées par la topographie du profil examiné »¹⁰ (fig. 9.38). Moran précise que les stries doivent être reproductibles et présenter une certaine longueur pour être considérées comme significatives [Moran 2006].

Fig. 9.38. Profil d'une surface (en gris au bas de l'image) éclairée par une source lumineuse (flèches noires). La partie supérieure de l'image représente l'image résultant de l'observation de cette surface avec une telle lumière incidente.

Malgré ces propositions de définition, la notion de strie reste complexe, et d'autres distinctions comme la notion de stries en 2D (trop fines pour en visualiser les contours) ou en 3D (d'une largeur suffisante pour présenter des contours) sont également proposées [Meyers, 2002]. Selon la définition de Biasotti [1959], deux stries sont considérées comme concordantes si :

- Les projectiles sont alignés, c'est-à-dire avec des bords d'impressions de champs alignés et correspondants.
- L'angle des stries est entre l'axe longitudinal du projectile et l'axe de la direction des impressions de champs.
- La forme des lignes semble provenir d'une origine commune¹¹.

Cette définition fut la base de nombreuses études basées sur les stries concordantes consécutives observées sur des éléments de munition [Nichols 1997 ; 2003]. Moran [2000] définit finalement les stries concordantes consécutives (CMS) comme « une suite de lignes exactement alignées avec celles d'une autre suite de lignes sans discontinuité ou dissimilitude »¹². Au-delà de la problématique de la définition, il s'agit également de définir comment caractériser des stries concordantes et potentiellement consécutives en pratique. La figure 9.39 illustre un exemple de comptage de stries concordantes consécutives lors de la comparaison de deux impressions de champ.

Fig. 9.39. Illustration d'une comparaison d'impressions de champ. (1) La localisation des stries correspond, malgré une différence qualitative puisque la strie de droite est plus fine ; ces stries ne sont pas concordantes. (2) Des stries concordent et l'on constate une série de 3 CMS,

⁸ Pour d'autres aspects historiques, le lecteur intéressé pourra se référer aux articles de Nichols [1997 ; 2003] qui propose une étude détaillée de la littérature relative à l'identification dans le contexte des armes à feu.

⁹ Traduction libre de « accidental, longitudinal segment of contour that has a definite width and cross-sectional shape ».

¹⁰ Traduction libre de « striae are defined as the visual image (specular reflection) generated from the tops of the striated contours (bright areas) separated by the dark shadows of the valleys (or low points) in between. The width and frequency of the striae is determined by the topography of the striated contours being examined ».

¹¹ Traduction libre de « (i) the bullets are in phase; (ii) their angle lies between the long axis of the bullet and the angle of the twist; and (iii) the lines appear to be similar in contour and of common origin ».

¹² Traduction libre de « A series of lines which line up exactly with another without a break or dissimilarity between them ».

même si la dernière est plus épaisse. (3) Il s'agit d'une série de 2 CMS séparées par une zone de bruit de fond. (4) Les stries de part et d'autre du couteau sont considérées comme concordantes même si celle de droite ne touche pas le couteau. Cette comparaison présente ainsi 6 stries discordantes et 6 stries concordantes dont un groupe de 3 CMS et un groupe de 2 CMS.

Sur la base du concept CMS, Biasotti et Murdock [1997] ont également défini un critère permettant l'identification de l'arme à feu à la source des traces observées : deux groupes de 5 CMS ou un groupe de 8 CMS pour une trace en deux dimensions ; ou deux groupes de 3 CMS ou un groupe de 6 CMS pour une trace en trois dimensions. Ce type de métrique offre un cadre certain pour documenter les observations et les communiquer quantitativement. En pratique, compter des CMS reste un exercice complexe qui demande une certaine expérience. Malgré celle-ci, différents experts peuvent ne pas parvenir aux mêmes observations lorsqu'ils comptent des CMS, et ce particulièrement si les conditions d'observations des éléments de munition en question ne sont pas standardisées (p. ex. en matière de matériel utilisé pour l'acquisition des images, d'éclairage, ou de grossissement). Toutefois, il est important de noter que les recherches qui ont découlé du critère défini par Biasotti et Murdock n'ont jamais mené à l'observation d'un nombre de CMS supérieur ou égal à ceux proposés pour des traces observées sur des projectiles tirés par des armes à feu différentes [Miller et McLean, 1998 ; Tulleners *et al.*, 1998 ; Miller, 2000a, b ; Miller, 2001 ; Moran, 2001 ; Nichols, 2004 ; Neel et Wells, 2007]. Néanmoins, il est essentiel de constituer l'ensemble des observations relatives aux stigmates non seulement sur la base d'un critère quantitatif comme le nombre de stries concordantes consécutives, mais également en prenant en compte les informations qualitatives relatives aux traces et à leurs stigmates. Par ailleurs, une partie des stigmates ne présente pas nécessairement de strie, dans le cas par exemple de traces moulées comme les traces de percuteur. Des éléments qualitatifs doivent nécessairement être considérés pour documenter la comparaison (p. ex. forme, taille, position relative des stigmates). Dans ce genre de situation, il sera parfois préférable, à des fins d'illustration, de juxtaposer les images plutôt que de tenter de documenter la correspondance comme c'est le cas pour les stries (fig. 9.40 et 9.41).

Fig. 9.40. Comparaisons de traces sur des projectiles : (a) Comparaison de deux impressions de champs et deux traces de ripage ; (b) Trace de rayures sur des projectiles tirés par un même pistolet Beretta 92FS.

a)

b) c) d)

Fig. 9.41. Comparaisons de traces sur des douilles : (a) Traces de percuteur sur deux douilles tirées par un même revolver Smith & Wesson modèle 60 ; (b) Traces de tête de culasse sur des douilles tirées par un même pistolet SCCY CPX-2 ; (c) *Shear marks* sur des douilles tirées par un même pistolet Glock ; (d) Traces des lèvres du chargeur.

En pratique, ces comparaisons devront par ailleurs être effectuées entre le matériel indiciaire et le matériel de référence. Elles doivent dans un premier temps être réalisées entre les différents éléments constituant le matériel de référence afin de déterminer l'intravariabilité, soit la reproductibilité de chaque trace et de ses stigmates. L'ensemble des observations qualitatives

et quantitatives relatives aux stigmates seront prises en compte dans le cadre de l'évaluation probabiliste des résultats de la comparaison. A noter que l'absence d'une trace (p. ex. la trace de la fenêtre d'éjection ou une trace de ripage) sur l'élément de munition indiciaire ou sur ceux de référence ne doit pas forcément exclure la possibilité que l'arme à feu soit à la source des traces sur l'élément indiciaire. Comme expliqué lors de la présentation de la typologie des traces (cf. § 9.4), la reproductibilité de toutes les interactions entre l'arme à feu et les éléments de munitions tirés n'est en effet aucunement garantie, de même que la présence de l'ensemble des traces.

9.6.5. L'évaluation probabiliste des résultats

Sur la base des principes d'évaluation exposés dans le Chapitre 4, les paragraphes suivants abordent l'évaluation des résultats d'examens comparatifs effectués sur des éléments de munition. Allant du général au particulier, le paragraphe 9.6.5.1 donne un aperçu des questions soulevées par l'évaluation d'observations faites au niveau des caractéristiques de classe et des stigmates. Le paragraphe 9.6.5.2 porte quant à lui sur l'emploi de métriques particulières utilisées pour la quantification des observations au niveau des stigmates.

9.6.5.1. Evaluation d'observations au niveau des caractéristiques de classe et des stigmates

Reprenons l'exemple hypothétique introduit dans le paragraphe 4.6.6, concernant un cas de décharge d'arme à feu ayant entraîné la mort d'une personne. Le tir a eu lieu lors d'une altercation survenue en centre-ville, vers 04h00. Une patrouille de la police municipale se trouvait à proximité et est rapidement intervenue. Peu après les faits, dans une rue voisine du même quartier, la police a pu arrêter un homme correspondant à la description de témoins. Une arme à feu, un pistolet Beretta 92FS, est trouvée en possession de la personne d'intérêt. Ce pistolet semi-automatique est soumis à un laboratoire à des fins d'examens comparatifs avec le projectile extrait du corps de la victime.

Des similitudes et des différences sont observées au niveau des caractéristiques de classe et des stigmates. Le mandant est intéressé à l'hypothèse dite « au niveau de la source » [Cook *et al.*, 1998a], c'est-à-dire la question de savoir si l'arme à feu saisie a été utilisée pour tirer le projectile indiciaire (H_a), plutôt qu'une arme inconnue (H_d). Nous reprenons ici la notation introduite dans le Chapitre 4. Les observations sur le projectile indiciaire sont désignées par la lettre y , et celles sur l'objet de comparaison (un ou plusieurs projectiles tirés par l'arme à feu saisie) par x . Plus particulièrement, on peut distinguer entre les observations y_c et x_c découlant des caractéristiques de classe de l'objet « source », et les stigmates y_s et x_s laissées par l'objet « source » [Evelt *et al.*, 1998]. Cette manière de désigner séparément les observations sur y et x est appelée « *feature-based approach* » (« approche basée sur les caractéristiques »). Cette approche doit être distinguée de l'approche dite « *score based* » (« approche basée sur les scores »), présentée dans la section 9.6.5.2, où les observations sont résumées avec une seule métrique (c'est-à-dire un score) de la proximité de deux objets comparés, surtout au niveau des stigmates.

Dans le cas considéré ici, supposons que les objets examinés soient des projectiles avec un calibre réel de 9 mm, présentant 6 rayures à droite de largeur, appelons-la z , comparable. L'assignation d'un rapport de vraisemblance pour ces caractéristiques de classe, RV_c (cf. Equation 4.7), repose sur les deux considérations suivantes :

- (i) $\Pr(y_c|x_c, H_a, I)$: la probabilité d'observer y_c sur le projectile incriminé si l'hypothèse H_a est vraie, sachant que les projectiles de comparaison présentent les mêmes caractéristiques x_c , et étant donné I (les informations concernant le contexte du cas) ;

- (ii) $\Pr(y_c|H_d, I)$: la probabilité d'observer y_c si l'hypothèse H_d est vraie, et étant donné I .

Pour la probabilité $\Pr(y_c|x_c, H_a, I)$, c'est-à-dire, la probabilité d'observer un projectile de calibre réel 9 mm présentant 6 rayures à droite de largeur z , sachant que les projectiles de comparaison présentent ces mêmes caractéristiques, nous pouvons assigner une probabilité de 1, ou proche de 1, puisque les caractéristiques de classe considérées ici sont parfaitement reproductibles. En effet, il n'est pas concevable que l'arme à feu en question, dans l'état où elle se trouve au moment de l'expertise,¹³ laisse une configuration de caractéristiques de classe « autre » que 6 rayures à droite. Il en va de même pour la dimension de ces traces (largeur z), puisque les compositions et l'état de déformation des projectiles examinés sont comparables.

Pour assigner une valeur à la probabilité $\Pr(y_c|H_d, I)$, l'expert doit s'interroger sur l'occurrence des caractéristiques de classe y_c (calibre réel de 9 mm présentant 6 rayures à droite de largeur z) parmi la population d'armes ayant pu servir pour tirer le projectile incriminé. Même si l'on ne connaît pas la composition exacte de cette population pertinente¹⁴, il est néanmoins possible d'assumer que la répartition des modèles, calibres et autres caractéristiques de fabrication parmi ces armes à feu correspond à la répartition observée dans des saisies effectuées en lien avec des cas similaires et dans la région couverte par les activités des autorités de poursuite pénale et le laboratoire mandaté. Par exemple, l'expert peut avoir recours à une banque de données au sein de son service, répertoriant les caractéristiques des éléments de munition ou des armes à feu saisies en fonction du type d'incident. Une telle banque de données peut être considérée comme robuste et pertinente dans la mesure où les forces d'ordre interviennent, en principe, systématiquement dans des cas impliquant l'utilisation d'armes à feu, porté à leur connaissance. A titre d'exemple, supposons qu'au cours des 24 derniers mois, parmi les 200 armes à feu saisies, une quarantaine présentaient des caractéristiques de fabrication qui correspondent aux caractéristiques y_c du projectile indiciaire. Par conséquent, environ 20 % des saisies effectuées en lien avec des cas comparables à l'incident en question ici devraient présenter les caractéristiques de classe y_c . Nous assignons donc $\Pr(y_c|H_d, I) = 0,2$. Le rapport de vraisemblance RV_c étant dès lors $1 / 0,2 = 5$.

Au niveau des stigmates, les probabilités d'intérêt sont, respectivement, $\Pr(y_s|x_s, H_a, I)$ et $\Pr(y_s|H_d, I)$, définissant le rapport de vraisemblance RV_s .¹⁵ La probabilité d'observer la configuration de stigmates y_s , si l'arme à feu saisie a été utilisée pour tirer le projectile indiciaire, dépend avant tout de la reproductibilité des stigmates. Cette reproductibilité peut être étudiée sur la base des projectiles issus de tirs de référence effectués avec l'arme à feu en question. Dans le présent cas, supposons que l'arme à feu en question laisse une configuration de stigmates hautement reproductible. L'arme à feu en question ayant été saisie peu après les faits, il est raisonnable de supposer que le canon n'a pas pu subir des changements affectant la configuration des stigmates de manière substantielle (p. ex. nettoyage). L'expert s'attend donc à observer une configuration de stigmates y_s très similaire à celles observables sur les projectiles de comparaison (x_s), si cette arme a été utilisée pour le tir lors de l'incident investigué. A titre d'exemple, soit la valeur de 0,9 assignée pour la probabilité $\Pr(y_s|x_s, H_a, I)$. Autrement dit, l'expert suppose que la configuration de stigmates observée correspond à ce qu'il s'attend à voir parmi d'au moins 9 sur 10 comparaisons de paires de projectiles tirés avec l'arme à feu en question. Notons que cette appréciation se base sur l'étude comparative et documentée de plusieurs projectiles de référence. L'expert s'assurera également que la

¹³ On peut raisonnablement admettre ici que pendant l'intervalle de temps très court entre l'incident et la saisie de l'arme, cette dernière n'a pas pu subir de modification majeure (p. ex. un remplacement du canon).

¹⁴ Concernant les questions de la définition de la population pertinente et le choix de(s) banque(s) de données, voir aussi Champod *et al.* [2004].

¹⁵ Notons, cependant, que ces probabilités peuvent être conditionnées aux observations au niveau des caractéristiques de classe. Sur ce point, voir aussi la discussion dans le paragraphe 4.6.6.

probabilité assignée est en accord avec les connaissances spécialisées, par exemple, en matière de variabilité et de stabilité de stigmates en fonction du mode de fabrication du canon, ou encore en matière d'études publiées sur la qualité et l'étendue des correspondances observées au niveau de stigmates présents sur des projectiles tirés par une même arme à feu.

L'assignation de la probabilité d'observer la configuration de stigmates y_s sur le projectile indiciaire dans l'hypothèse où une arme inconnue a été utilisée, $\Pr(y_s|H_d, I)$, nécessite des connaissances sur l'occurrence de la configuration y_s sur des projectiles tirés par des armes autres que celle saisie.¹⁶ Cette assignation dépend fortement de l'expérience de l'expert en matière d'étude (documentée et démontrable) de projectiles (du type en question) tirés avec des armes à feu différentes¹⁷. Par exemple, si le répertoire de l'expert comporte 100 (ou 500, 1000, etc.) projectiles d'armes à feu différentes, et l'expert n'a jamais constaté une configuration de type y_s parmi ces projectiles, la probabilité d'intérêt peut être assignée comme 0,01 (ou 0,002, 0,001, etc.). Ainsi, le rapport RV_s vaut au moins $0,9 / 0,01 = 90$, où 0,9 correspond à la probabilité spécifiée ci-dessus pour $\Pr(y_s|x_s, H_a, I)$.

Suivant l'équation 4.7 (cf. §4.6.6), l'évaluation conjointe des observations au niveau des caractéristiques de classe et des stigmates aboutit donc à un rapport de vraisemblance d'un ordre de grandeur inférieur à 500, à savoir $5 \times 90 = 450$. Bien entendu, il n'est pas suggéré ici que le rapport de l'expert contienne la notation formelle telle qu'elle a été utilisée ci-dessus. La notation a été retenue ici dans le seul but de définir précisément les étapes du raisonnement évaluatif que l'expert doit documenter dans ses notes de laboratoire. Afin de communiquer les résultats de l'évaluation effectuée, l'expert pourrait adopter une formulation telle que :

« Afin de me déterminer sur le poids à accorder à mes observations, j'ai suivi les lignes directrices préconisées par l'ENFSI dans le document *ENFSI Guideline for Evaluative Reporting in Forensic Science* [2015].

Cette approche consiste à considérer la probabilité des résultats si l'hypothèse de l'accusation est vraie et la probabilité de ces résultats si l'hypothèse de la défense est vraie. Les probabilités ont été assignées sur la base de l'examen de l'arme à feu soumise pour expertise (et des projectiles de référence tirés avec cette arme à feu), d'études publiées et de ma connaissance d'expert. Ces probabilités permettent de donner un ordre de grandeur quant à la force des résultats obtenus en faveur de l'une ou l'autre des hypothèses.

L'expert est d'avis que les résultats obtenus sont de l'ordre de 450 fois plus probables si le projectile incriminé a été tiré par l'arme à feu du suspect, plutôt qu'avec une arme à feu inconnue. Les résultats soutiennent donc modérément fortement l'hypothèse de l'accusation, plutôt que celle avancée par la défense.

L'évaluation des résultats de cette expertise dépend de l'information qui m'a été transmise et des présupposés qui ont été faits sur cette base. Si cette information devait s'avérer incorrecte, ou si de nouveaux éléments venaient à être connus, je vous prie de me contacter afin de voir s'il me faut reconsidérer l'évaluation des résultats présentés dans ce rapport. »

9.6.5.2. Evaluation de résultats à l'aide de scores issus de la comparaison de configurations de stigmates

L'approche dite « *feature-based* », discutée dans la section précédente, est aisément applicable lorsque les caractéristiques d'intérêt sont discrètes, telles que certaines caractéristiques de

¹⁶ La quantification de ces connaissances est notoirement difficile, due à la nature complexe des stigmates y_s , raison pour laquelle, des approches alternatives ont été développés (cf. § 9.6.5.2).

¹⁷ Il est important de prendre en compte la présence de caractéristiques de sous-classe qui peuvent être présentes sur un lot d'armes à feu fabriquées et usinées consécutivement par un même outil (cf. § 9.3).

classe. Cependant, pour d'autres types de traces, la spécification d'un modèle probabiliste peut s'avérer difficile. Ceci est notamment le cas pour les stigmates. Leur nature tridimensionnelle complexe est difficile à mesurer de manière standardisée et systématique. Pour ce type de trace, une approche basée sur un score peut représenter une alternative praticable, voire la seule approche faisable.

De manière générale, un score peut être compris comme une mesure (variable) qui résume le résultat d'une comparaison entre deux éléments ou traces, par exemple une mesure de similitude ou de différence (distance). Une fonction de score permet de réduire la dimensionnalité du problème de la quantification des similitudes et différences entre deux éléments comparés. Autrement dit, au lieu de décrire les observations de manière séparée pour chaque objet examiné, avec les variables $y_{\{ \}}$ et $x_{\{ \}}$ (cf. § 9.6.4.1), une fonction de score $\Delta(\cdot)$ exprime la similitude entre les caractéristiques des objets comparés.

La notion de stries concordantes consécutives (CMS, cf. § 9.6.4.2), largement discutée dans la littérature forensique, permettant d'illustrer la notion de score. Les CMS sont une quantification du degré de correspondance observé entre deux traces. Ainsi, $\Delta(x, y)$ peut être interprété comme étant le nombre maximal compté de stries concordantes consécutives pour un projectile indiciaire lors d'une comparaison avec un projectile tiré par une arme d'intérêt (p. ex., saisie lors d'une perquisition). Lors d'un tel examen comparatif, l'expert peut observer $\Delta(x, y) = 0, 1, 2, \dots$ stries concordantes consécutives. La valeur probante d'un score de similitude $\Delta(x, y)$ s'exprime par un rapport de vraisemblance de type « *score-based* » (sRV) :

$$(9.2) \quad \text{sRV} = \frac{g(\Delta(x, y) | H_a, I)}{g(\Delta(x, y) | H_d, I)}$$

où $g(\cdot)$ désigne la distribution de probabilité associée à $\Delta(X, Y)$, la variable $H_{\{ \}}$ représente les propositions au niveau de la source et I les informations pertinentes [Bozza et al., 2022].

Assigner une valeur pour un tel rapport de vraisemblance revient à s'interroger sur deux questions. D'un côté, il s'agit de spécifier la probabilité d'observer le score $\Delta(x, y)$ dans l'hypothèse que c'est effectivement l'arme à feu saisie qui a été utilisée pour tirer le projectile en question (H_a). D'un autre côté, l'observation de $\Delta(x, y)$ est à considérer dans l'hypothèse selon laquelle c'est une arme à feu inconnue qui a été utilisée pour tirer le projectile incriminé. L'article de Bunch [2000] présente des exemples de valeurs pour ces probabilités, ainsi que les valeurs de rapports de vraisemblance correspondants. Cette publication propose également la distribution de Poisson comme modèle statistique pour $g(\cdot)$.

Il convient de noter que l'implémentation pratique d'un rapport de vraisemblance de type « *score-based* » soulève plusieurs défis qui vont au-delà de la description générale donnée ci-dessus. Par exemple, les distributions de probabilité $g(\Delta(x, y) | \cdot)$ ne sont généralement pas disponibles par défaut. Il est donc nécessaire de dériver un sRV en utilisant des distributions empiriques sur la base de multiples scores produits en fonction des hypothèses d'intérêt. Le choix des conditions expérimentales exactes, notamment le choix des éléments à comparer, peut aboutir à des définitions de sRV légèrement différents (pour une discussion de ce concept, se référer par exemple à Hepler *et al.* [2012]). Une autre source de complication découle de certains systèmes automatiques modernes de comparaison de traces qui produisent des scores multiples pour une comparaison donnée. Il convient également d'évaluer la performance d'une procédure de calcul de rapport de vraisemblance particulière, avant l'emploi de cette dernière. Ramos et Gonzalez-Rodriguez [2013] et Ramos *et al.* [2021], par exemple, ont décrit une méthodologie permettant de mesurer la calibration d'un ensemble de valeurs de rapport de vraisemblance. Sur ce même sujet, Meuwly *et al.* [2017] présentent une ligne directrice pour la validation des méthodes évaluatives (basées sur le rapport de vraisemblance) considérant les propositions au niveau de la source. Pour une revue récente de ces méthodologies, voir également le chapitre 8 de Aitken *et al.* [2021].

9.6.6. La vérification de l'expertise

Dernière étape de l'approche ACE-V, la phase de vérification peut prendre différentes formes, notamment selon les pratiques et éventuelles procédures de contrôle de qualité en vigueur dans le laboratoire effectuant l'expertise. Notons que le terme de « vérification », que l'on rencontre aussi bien dans la littérature qu'en pratique, ne reflète pas précisément la nature de cette étape de l'expertise, dans la mesure où il s'agit plus d'un contrôle ou d'un regard critique plutôt que d'une vérification du travail à proprement parler. Afin de mettre en pratique ce contrôle, une répétition de l'entièreté du travail par un autre expert n'ayant pas initialement travaillé sur le cas est envisageable. Une telle pratique peut cependant prendre énormément de temps, voire se révéler contre-productive selon les délais impartis pour l'expertise. En revanche, l'introduction d'étapes de contrôle tout au long du travail d'expertise est également possible, par exemple après l'étape d'analyse afin de discuter de la nature et de la pertinence des traces étudiées, après la documentation de la comparaison pour s'assurer de la validité de l'annotation des traces, ou encore lors de l'évaluation pour ce qui est de l'assignation des probabilités. Plusieurs experts peuvent également travailler en parallèle sur ces étapes et confronter leurs observations avant de poursuivre le travail. Dans tous les cas, le but est d'apporter un autre regard sur les différentes composantes de l'expertise avant de soumettre le rapport au mandant. En ce sens, ce processus, quelle que soit sa forme, constitue un élément essentiel de l'expertise qu'il convient d'introduire lors du développement de l'expertise afin d'en assurer la qualité.

9.7. Bibliographie

Aitken CGG, Taroni F, Bozza S (2021). *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists*. Chichester: John Wiley & Sons, 3rd edition.

Ashbaugh DR (1999). *History of friction ridge identification, qualitative-quantitative friction ridge analysis. An introduction to basic and advanced ridgeology*. Boca Raton: CRC Press.

Association of Firearm and Tool Mark Examiners – AFTE (2013). *Glossary, 6th Edition*. Version 6.110619. Consulté à partir de https://afte.org/uploads/documents/AFTE_Glossary_Version_6.110619_DRAFT_.PDF.

Azahidi A, Harun R., Kuppuswamy R (2012). *Breechface recess marks on cartridge cases discharged from 9mm Walther P99 series pistols and their persistence*. *AFTE Journal*, 44(3), 244-247.

Baldwin D, Birkett J, Facey O, Rabey G (2013). *The forensic examination and interpretation of toolmarks*. Hoboken: Wiley Blackwell.

Balthazar V (1913a). *Identification de projectiles d'armes à feu*. *Archives d'anthropologie criminelle, de médecine légale et de psychologie normale et pathologique*, 28, 421-433.

Balthazar V (1913b). *Identification des douilles de pistolets automatiques*. *Archives d'anthropologie criminelle, de médecine légale et de psychologie normale et pathologique*, 28, 900-906.

Berg SO (1964). *Filing .22 firing pin impressions*. *Journal of Criminal Law and Criminology*, 55(2), 290-294.

Biasotti AA, Murdock J (1997). *Firearms and Toolmark Identification: Legal Issues and Scientific Status*. In Faigman DL, Kay DH, Saks MJ, Sanders J (Eds.). *Modern Scientific Evidence: The Law and Science of Expert Testimony*. St Paul : West Publishing Co, 124-151.

Biasotti AA (1959). *A Statistical Study of the Individual Characteristics of Fired Bullets*. *Journal of Forensic Sciences*, 4, 34-50.

Biasotti AA, Murdock J (1984). *Criteria for Identification or State of the Art of Firearm and Toolmark Identification*. *AFTE Journal*, 16(4), 16-24.

Bonfanti M (1999). *Exploitation et interprétation des traces présentes sur les projectiles et les douilles*. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 32(1), 25-37.

Bonfanti M, De Kinder J (1999). *The Influence of the Use of Firearms on their Characteristic Marks*. *AFTE Journal*, 31(3), 318-323.

Bonfanti M, Warniment J (1998). *Revue des méthodes utilisées pour la comparaison des traces sur les douilles et les projectiles*. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 31(2), 95–112.

Boyle A (2019). *To Glock or not to Glock? Firing Pin Shapes: 2019 Update, Ultra*. <https://www.ultra-forensictechnology.com/en/news/blog/to-glock-or-not-to-glock-firing-pin-shapes-2019-update/>.

Bozza S, Taroni F, Biedermann A (2022). *Bayes factors for Forensic Decision Analyses with R*. New York : Springer, (à paraître).

Bunch SG (2000). *Consecutive matching striation criteria: A general critique*. *Journal of Forensic Sciences*, 45, 955-962.

- Burd DQ, Kirk PL** (1942). *Toolmarks. Factors Involved in their Comparison and Use as Evidence*. Journal of Criminal Law and Criminology, 32(6), 679-686.
- Burrard G** (1951). *The identification of firearms and forensic ballistic*. Londres : Herbert Jenkins.
- Chamod C, Evett IW, Jackson G** (2004). *Establishing the most appropriate databases for addressing source level propositions*. Science & Justice, 44, 153–164.
- Chamod C, Lennard C, Stoilovic M, Margot P** (2016). *Fingerprints and other ridge skin impressions*. 2nd Edition. Boca Raton : CRC Press.
- Christen S, Jordi HR** (2019). *Individuality testing of new Glock pistol barrels “Marksman Barrel”*. Forensic Science International, 295, 64-71.
- Clow CM** (2012). *Breechface recess marks produced by Glock and Smith & Wesson Sigma series pistols*. AFTE Journal, 44(1), 61-66.
- Cook R, Evett IW, Jackson G, Jones PJ, Lambert JA** (1998). *A hierarchy of propositions: Deciding which level to address in casework*. Science & Justice, 38(4), 231-239.
- Cork DL, Rolph JE, Meieran ES, Petrie CV – Committee to Assess the Feasibility, Accuracy, and Technical Capability of a National Ballistics Database** (2008). *Ballistic imaging*. Washington : The National Academies Press.
- Cross E** (1981). *The origin of some markings on fired bullets*. AFTE Journal, 13(1), 57-62.
- Dallhammer P** (2020). *The textbook of pistol technology and design: Production – Principles – Progress, 2nd Edition*. Allemagne : Shaker Verlag GmbH.
- Davis JE** (1958). *An introduction to tool marks, firearms and the striagraph*. Springfield : Charles C. Thomas.
- De Ceuster J, Hermsen R, Mastaglio M, Nennstiel R** (2012). *A discussion on the usefulness of a shared European ballistic image database*. Science & Justice, 52(4), 237-242.
- De Ceuster J, Dujardin S** (2015). *The reference ballistic imaging database revisited*. Forensic Science International, 248, 82-87.
- DiMaio VJM** (1999). *Gunshot Wounds - Practical Aspects of Firearms, Ballistics and Forensic Techniques, Second edition*. Boca Raton, New York : CRC Press.
- dos Santos LS, Vieira Muterll P** (2018). *Influence Factors Regarding the Effectiveness of Automated Ballistic Comparison on 0.38 Special Caliber Bullets and Cartridge Cases*. Journal of Forensic Sciences, 63(6), 1846-1853.
- Dong F, Zhao Y, Lup Y, Zhang W, Li Y** (2019a). *Objective evaluation of similarity scores derived by Evofinder® system for marks on bullets fired from Chinese Norinco QSZ-92 pistols*. Forensic Sciences Research, DOI: 10.1080/20961790.2019.1642984
- Dong F, Zhao Y, Luo Y, Zhang W, Zhang K** (2019b). *Specificity of characteristic marks on cartridge cases from 3070 consecutive firings of a Chinese Norinco QSZ-92 9 mm Pistol*. Journal of Forensic Science and Medicine, 5(2), 87-94.
- Doyle JS** (2010). *Rifling data search database*. www.firearmsid.com.
- Dutton G** (2003). *Firearms identification – Sometimes all is not as it seems*. AFTE Journal, 35(2), 245-249.

European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI) (2015). *ENFSI guideline for evaluative reporting in forensic science*, Dublin. Consulté à partir de http://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/ml_guideline.pdf

Evett IW, Lambert JA, Buckleton JS (1998). *A Bayesian approach to interpreting footwear marks in forensic casework*. *Science & Justice*, 38, 241–247.

Finklestein N, Kaofman A, Siso R (2005). *Ejection port marks on cartridge cases discharged from Glock pistols*. *AFTE Journal*, 37(4), 346-351.

Formaggio T (1949). *Contribution à l'identification des armes à feu par l'examen des douilles*. *Revue internationale de criminologie et de police technique*, 3(4), 276-291.

Garten SR, Burrows TL (2017). *IBIS BrassTRAX Correlation Review Techniques*. *AFTE Journal*, 49(2), 104-110.

Gerard FJ, Crookes RL, Elliott S, Hellenbach M, Stamos A, Poole H, Bowen E (2017). *The sharing of ballistics data across Europe and neighbouring territories*. *Science & Justice*, 57(5), 384-393.

Ghani NIM, Malek MFA, Harun R, Kuppuswamy R (2013). *Breechface recess marks recorded on cartridge cases expended from Beretta Px4 Storm Subcompact 9mm pistols*. *AFTE Journal*, 45(3), 273-276.

Gieszl R (1991). *Don't forget - 22 rimfire anvil marks*. *AFTE Journal*, 23(4), 997-999.

Girod A, Champod C, Ribaux O (2008). *Traces de souliers*. Lausanne : EPFL Press/PPUR.

Haag LC (2017). *The Beretta 'swoosh' mark*. *AFTE Journal*, 49(3), 153-158.

Haag LC, Perunov S, Knell J (2017). *Re-Examination of the Value of Bunter Marks Using Evofinder*. *AFTE Journal*, 49(1), 23-35.

Haag MG, Haag LC (2020). *Shooting incident reconstruction, 3rd edition*. Amsterdam, Boston, San Diego: Academic Press.

Hall AL (1931). *The Missile and the Weapon*. *The American Journal of Police Science*, 2(4), 311-321.

Hamby JE (1999). *The history of firearm and toolmark identification*. *AFTE Journal*, 31(3), 266-284.

Hamby JE, Norris S, Petraco ND (2016). *Evaluation of GLOCK 9 mm Firing Pin Aperture Shear Mark Individuality Based On 1,632 Different Pistols by Traditional Pattern Matching and IBIS Pattern Recognition*. *Journal of Forensic Sciences*, 61(1), 170-176.

Harralson HH, Miller LS (2018). *Huber and Headrick's Handwriting Identification: Facts and Fundamentals*. Boca Raton : CRC press.

Hartman S (2014). *Feed Ramp Marks Produced from a Ruger Model LCP*. *AFTE Journal*, 46(1), 59-66.

Hatcher JS, Jury FJ, Weller J (1977). *Firearms investigation, identification and evidence, 3rd edition*. Harrisburg : Stackpole Book.

Heard BJ (2008). *Handbook of Firearms and Ballistics: Examining and Interpreting Forensic Evidence*. Chichester : John Wiley & Sons.

Hepler A, Saunders C, Davis L, Buscaglia J (2012). *Score-based likelihood ratios for handwriting evidence*. *Forensic Science International*, 219, 129–140.

- Hes RAG, Kerkhoff W** (2017). *Manufacturing marks on 7,62mm Nagant ammunition*. AFTE Journal, 49(4), 220-222.
- Hess PA, Moran B** (2006). *The removal of superficial rust/corrosion from the working surfaces of firearms for the purpose of revealing their potentially identifiable signature and an application of this technique in firearms identification*. AFTE Journal, 38(2), 112-132.
- Hofmeister AG** (1979). *Revolver chamber markings*. AFTE Journal, 11(2), 42.
- Jackson ARW, Jackson JM** (2017). *Forensic Science, 4th Edition*. Harlow : Pearson.
- Kwan QY** (1977). *Inference of Identity of Source*. Thèse de doctorat, Department of Forensic Science, University of California.
- Kim D** (2006). *Identification of frangible bullets in case work*. AFTE Journal, 38(3), 239-241.
- Kirk JN, Law EF, Morris KB** (2017). *Estimation of changes in breech face and firing pin marks over consecutive discharges and its impact on an IBIS® Heritage™ System*. Forensic Science International, 278, 47-51.
- Kreiser J** (1995). *Primer “flowback” is not always due to high pressure*. AFTE Journal, 27(1), 1-4.
- LaPierre JAG** (1978). *Additional identifying features dealing with revolvers*. AFTE Journal, 10(3), 36-37.
- Law EF, Morris KB, Jelsema CM** (2017). *Determining the number of test fires needed to represent the variability present within 9mm Luger firearms*. Forensic Science International, 276, 126-133.
- Law EF, Morris KB, Jelsema CM** (2018). *Determining the number of test fires needed to represent the variability present within firearms of various calibers*. Forensic Science International, 290, 51-56.
- Li Y, Lin S, Luo Y, Mi Z** (2019). *Performance Evaluation of a Registered Ballistic Database Using the Evofinder® System*. Journal of Forensic Sciences, 64(5), 1335-1344.
- Lin M, Chun CA** (2004). *A correlative demonstration of various tool-marks of 9 mm auto-loading pistols on the spent cartridge cases based upon the formulation mechanism*. Forensic Science Journal, 3, 13-22.
- Maruoka RK** (1994). *Guilty before the crime? The potential for a possible misidentification or elimination*. AFTE Journal, 26(3), 206-213.
- McCombs ND** (2001). *Case report: ejection port marks: a signature of Beretta*. AFTE Journal, 33(3), 251-252.
- Meuwly D, Ramos D, Haraksim R** (2017). *A guideline for the validation of likelihood ratio methods used for forensic evidence evaluation*. Forensic Science International, 276, 142–153.
- Meyers CR** (2002). *Some Basic Bullet Striae Considerations*. AFTE Journal, 34(2), 158-160.
- Miller J** (1995). *Pressure effect on firing pin impression depth*. AFTE Journal, 27(3), 242-245.
- Miller J** (2000a). *Criteria for Identification of Toolmarks. Part II*. AFTE Journal, 32(2), 116-131.
- Miller J** (2000b). *An Examination of Two Consecutively Rifled Barrels and a Review of the Literature*. AFTE Journal, 32(3), 259-270.

- Miller J** (2001). *An Examination of the Application of the Consecutive Criteria for Identification of Striated Toolmarks Using Bullets Fired from Ten Consecutively Rifled Barrels*. AFTE Journal, 33(2), 125-132.
- Miller J, McLean M** (1998). *Criteria for Identification of Toolmarks*. AFTE Journal, 30(1), 15-61.
- Miller J** (1994). *Silencer markings*. AFTE Journal, 26(4), 292-296.
- Monturo C** (2019). *Forensic firearm examination*. London : Academic Press.
- Moran B** (2000). *Firearms Examiner Expert Witness Testimony: The Forensic Firearms Identification Process Including Criteria for Identification and Distance Determination*. AFTE Journal, 32(4), 231-251.
- Moran B** (2001). *The Application of Numerical Criteria for Identification in Casework Involving Magazine Marks and Land Impressions*. AFTE Journal, 33(1), 41-46.
- Moran B** (2003). *Comments and Clarification of Responses from a Member of the AFTE 2001. Criteria for Identification of Toolmarks Discussion Panel*. AFTE Journal, 35(1), 55-65.
- Moran B** (2006). *Numerical Tabulation of CMS and the Application of the Conservative Quantitative CMS Criteria to Striated Toolmark Identification*. Presented at the ENFSI Firearms Working Group Meeting, 2006, Copenhagen, Denmark.
- Morris KB, Law EF, Jeffreys RL, Dearth EC, Fabyanic EB** (2017). *An evaluation of the discriminating power of an Integrated Ballistics Identification System ® Heritage™ system with the NIST standard cartridge case (Standard Reference Material 2461)*. Forensic Science International, 280, 188-193.
- Morris KB, Law EF, Jeffreys RL** (2018). *Performance comparison of an IBIS Heritage System with an IBIS TRAX-HD3D System*. AFTE Journal, 50(1), 50-55.
- Murdock JE** (1988). *Identification of bullet striae from the ejection port of a model 59 Smith & Wesson pistol*. AFTE Journal, 20(3), 306-312.
- Neel M, Wells M** (2007). *A Comprehensive Statistical Analysis of Striated Tool Mark Examinations. Part I: Comparing Known Matches and Known Non-Matches*. AFTE Journal, 39(4), 176-198.
- Nichols RG** (1997). *Firearms and Toolmark Identification: A Review of the Literature*. Journal of Forensic Sciences, 42(3), 466-474.
- Nichols RG** (2003). *Firearms and Toolmark Identification: A Review of the Literature. Part II*. Journal of Forensic Sciences, 48(2), 466-474.
- Nichols RG** (2004). *Firearm and Tool Mark Identification: The Scientific Reliability and Validity of the AFTE Theory of Identification Discussed within the Framework of a Study of Ten Consecutively Manufactured Extractors*. AFTE Journal, 36(1), 67-89.
- Nichols RG** (2018). *Firearm and toolmark identification: The scientific reliability of the forensic science discipline*. London : Academic Press.
- Nies R** (2003). *Anvil marks of the Ruger MKII Target pistol – An example of subclass characteristic*. AFTE Journal, 35(1), 75-78.
- Pendleton D, Sligh T, Wallace EIC** (2011). *Identification of three 000 buck pellets fired from a sawed-off .410 bore shotgun*. AFTE Journal, 43(2), 176-178.

- Quirk TW** (1987). *Toolmarks on primers of Rio brand ammunition*. AFTE Journal, 19(3), 309-310.
- Raines ME** (2015). *The effects of frangible ammunition on the structure of striae created by a rifled barrel and the value of frangible ammunition for examination*. AFTE Journal, 47(1), 4-14.
- Ramos D, Gonzalez-Rodriguez J** (2013). *Reliable support: measuring calibration of likelihood ratios*. Forensic Science International, 230, 156–169.
- Ramos D, Meuwly D, Haraksim R, Berger CEH** (2021). *Validation of forensic automatic likelihood ratio methods*. In: Banks D, Kafadar K, Kaye D, Tackett M (Eds.). *Handbook of Forensic Statistics*, pp. 143–163. CRC Press, Boca Raton.
- Riva F, Hermsen R, Mattijssen E, Pieper P, Champod C** (2017). *Objective evaluation of subclass characteristics on breech face marks*. Journal of Forensic Sciences, 62(2), 417-422.
- Robinson MK** (1996). *Another manufactured toolmark*. AFTE Journal, 28(3), 164-165.
- Rymer FR** (1961). *Caliber .22 firing pin impression file*. Journal of Criminal Law and Criminology, 52(2), 239-243.
- Sautier C, Christen S, Chidiac F** (2021). *Sharing ballistic data across Europe: A prototype network between France and Switzerland using Evofinder®*. Forensic Science International: Synergy, 3, 100148.
- Siso R, Kasacheko P** (2009). *Magazine marks on the base of cartridge cases*. AFTE Journal, 41(2), 176-183.
- Stotts JA, Maritz FA** (2008). *Chamber marks from 7.62x39mm Soviet caliber AK- and SKS-type rifles*. AFTE Journal, 40(4), 379-381.
- Stowe A** (2012). *The persistence of chamber marks from two semiautomatic pistols on over 1,440 sequentially-fired cartridge cases*. AFTE Journal, 44(4), 293-308.
- Swanepoel JM** (2020). *Unusual magazine marks*. AFTE Journal, 52(2), 113-116.
- Thompson E** (2012). *Interesting characteristics of Golden Bear brand 30-06 cartridges*. AFTE Journal, 44(4), 369-370.
- Thompson E, Wyant R** (2006). *Magazine lip marks on consecutively made magazines*. AFTE Journal, 38(1), 48-50.
- Tulleners FA** (2001). *Technical Evaluation: Feasibility of a Ballistics Imaging Database for all New Handgun Sales, Report no AB1717*. Sacramento: California Department of Justice.
- Tulleners FA, Giusto M, Hamiel J** (1998). *Striae Reproducibility on Sectional Cuts of one Thompson Contender Barrel*. AFTE Journal, 34(3), 62-81.
- Uchiyama T, Nota O** (1986). *Non-firing markings on primers of Remington cartridges*. AFTE Journal, 18(4), 78-90.
- Uchiyama T, Tokano K** (1988). *Non-firing markings on shotshell cases and primers*. AFTE Journal, 20(1), 46-47.
- Wallace E** (2003). *Toolmark on CCI 'Clean-Fire' primers*. AFTE Journal, 35(2), 250.
- Ward MS** (2010). *Manufacturing marks on Speer cartridges*. AFTE Journal, 42(4), 397-398.
- Warlow TA** (2012). *Firearms, the Law and Forensic Ballistics*. 3ème edition. Boca Raton : CRC Press.

Weller TJ, Zheng A, Thompson R, Tulleners F (2012). *Confocal microscopy analysis of breech face marks on fired cartridge cases from 10 consecutively manufactured pistol slides*. Journal of Forensic Sciences, 57(4), 912-917.

Werner D, Rhumorbarbe D, Kronseder P, Gallusser A (2018). *Comparison of three bullet recovery systems*. Forensic Science International, 290, 251-127.

Wogan ME, Webster-Hoffmeyer KS, Grgicakc CM (2013). *Corrosion Behaviour of Four Handguns in Aqueous Environments: Corrosion Product Characterization and Effects on Estimating the Time Since Deposition*. Science & Justice, 53(3), 363-370.

Wong K (1999). *A silencer mark determination*. AFTE Journal, 31(4), 489.

Wright DC (2003). *Individuality and reproducibility of striae on plastic wad components fired from a sawed-off shotgun*. AFTE Journal, 35(2), 161-166.

Zhang K, Luo Y, Zhou P (2017). *Reproducibility of characteristic marks on fired cartridge cases from five Chinese Norinco QSZ-92 9×19mm pistols*. Forensic Science International, 278, 78-86.

Zhang K, Luo Y (2018). *Slight variations of breech face marks and firing pin impressions over 3070 consecutive firings evaluated by Evofinder®*. Forensic Science International, 283, 85-93.