

## POST-PRINT :

Biedermann A., Taroni F. 2022, Évaluation probabiliste et décision d'identification, 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, 91–120.

---

### Chapitre 4

#### Évaluation probabiliste et décision d'identification

*Alex Biedermann et Franco Taroni*

#### 4.1. Introduction

L'évaluation de la valeur probante d'une trace à des fins judiciaires et, par extension, l'analyse de la prise de décision, constituent une branche propre au sein de la science forensique [Robertson et Vignaux, 1995 ; Aitken *et al.*, 2020]. Cette branche cherche à aider les acteurs du domaine judiciaire à intégrer l'indice forensique dans les processus d'évaluation et de prise de décision en lien avec les différentes phases d'une procédure judiciaire, de l'investigation jusqu'à l'évaluation au tribunal. Ces objectifs s'inscrivent dans un cadre plus large, couramment dénommé interprétation : le processus par lequel les destinataires de l'information scientifique précisent la crédibilité de différentes versions<sup>1</sup> des faits allégués à la lumière de toutes les traces forensiques ainsi que d'autres informations non scientifiques liées au cas en question. D'entrée, notons bien que l'interprétation met l'accent sur l'état des croyances personnelles, attribuées par un individu à des hypothèses, et que ce domaine d'activité est réservé aux destinataires de l'information scientifique. Il en va de même pour l'aspect décisionnel qui intervient lorsqu'il s'agit de sélectionner, voire d'accepter, une ou plusieurs des hypothèses considérées.

L'évaluation, en revanche, se concentre sur un aspect plus restreint, tout en faisant partie intégrante du processus d'interprétation. L'évaluation met l'accent sur les éléments forensiques, par exemple les objets et les traces. En particulier, l'évaluation a pour objectif de déterminer dans quelle mesure l'indice forensique permet de discriminer les hypothèses compétitives mises en jeu. C'est à ce niveau que se manifeste la tâche propre à l'expert forensique. Elle fait intervenir la qualification et, si possible, la quantification de la capacité des observations à différencier entre les différentes hypothèses, dans un sens ou un autre, mais sans pour autant se prononcer directement sur leurs degrés de véracité respectifs. Cette dernière étape est du ressort des destinataires de l'information scientifique, tels que le tribunal.

La distinction entre évaluation et interprétation peut sembler subtile et difficile à concevoir. Elle constitue le point de départ de ce chapitre, dont le but principal est de clarifier ce point au niveau de son importance et de sa portée. Ceci sera réalisé par l'introduction et la présentation des moyens de formalisation permettant d'encadrer les différents aspects liés aux processus d'évaluation et d'interprétation. Ces moyens formels permettent de spécifier les champs d'activité et les rôles respectifs des différents acteurs impliqués dans ces processus, les juges

---

<sup>1</sup> En termes plus formels, on parle aussi d'hypothèse, notion utilisée ici de façon interchangeable avec celle de proposition. Les notions d'hypothèse et de proposition sont comprises dans ce livre en tant qu'affirmation : par exemple, « tel fait est vrai » (p. ex. un résultat particulier ou un état de nature). Il est admis qu'on puisse attribuer des croyances personnelles à une proposition. Typiquement, des hypothèses d'intérêt forensique sont celles qui expriment les positions des parties adverses, telles que l'accusation et la défense.

(ou autres preneurs de décision) et les experts forensiques. En ce qui concerne plus particulièrement le point de vue de l'expert forensique, le cadre formel introduit ici offre une assistance à la gestion de la panoplie des facteurs qui influencent l'évaluation des traces et éléments scientifiques, tout en respectant des procédures d'inférence établies et acceptables.

En poursuivant cette présentation axée sur l'évaluation, anticipons à ce stade que la formalisation proposée sera en grande partie basée sur la théorie des probabilités, énoncée plus en détail dans le paragraphe 4.5. Entre-temps, il suffira de noter qu'elle constitue un moyen pour décrire et gérer l'incertitude (cf. § 4.2), une situation rencontrée lorsque l'information disponible est incomplète ou, autrement dit, lorsqu'il est impossible de s'exprimer sur la véracité d'une hypothèse (selon le sens qui lui a été donné ci-dessus) en termes catégoriques.

La perspective probabiliste préconisée dans ce chapitre découle d'une optique dite « Bayésienne ». Le terme « Bayésien » sera compris en tant qu'adjectif ou substantif, découlant d'un théorème - le théorème de Bayes<sup>2</sup> (cf. § 4.5.3) – qui est une conséquence logique des lois des probabilités. L'intérêt de ce théorème découle du fait qu'il établit la règle selon laquelle des degrés de croyances se modifient à la lumière de nouvelles informations. Il offre ainsi une aide pour comprendre comment de nouvelles informations peuvent être considérées. C'est grâce à cette propriété qu'une conceptualisation probabiliste du processus interprétatif permet aux experts forensiques d'aborder au mieux les différents sujets touchant à la valeur probante des indices matériels.

Dans le but de convaincre le lecteur de la faisabilité d'une approche probabiliste pour l'évaluation, le paragraphe 4.6.3 s'intéressera aux questions liées à la disponibilité des données, à l'expression (verbale) de la valeur probante, ainsi qu'aux réseaux Bayésiens (*Bayesian networks*). Ce dernier concept associe la théorie des probabilités à la théorie des graphes et permet d'élaborer des représentations concises et rigoureuses (1) d'un ensemble de variables (sous forme de nœuds) considérées pertinentes pour un problème en question, ainsi que (2) d'un ensemble de relations (indiquées par des flèches) que l'on suppose régner entre ces variables. Un tel graphique reflète, en tant qu'aspect statique, la perception d'un problème d'inférence par l'expert. L'aspect dynamique de ce concept découle du fait que des calculs peuvent être effectués en accord avec les lois des probabilités. Ainsi, les réseaux Bayésiens soutiennent la mise en œuvre d'une révision cohérente<sup>3</sup> des croyances personnelles, raison pour laquelle ils attirent davantage l'intérêt des chercheurs et praticiens en science forensique [Taroni *et al.*, 2014]. Sur la base de l'ensemble de ces éléments, la dernière partie de ce chapitre (cf. § 4.7) sera consacrée au rôle de l'approche probabiliste dans l'individualisation<sup>4</sup>, comprise ici en tant que décision [Biedermann *et al.*, 2008, 2016], un aspect évaluatif particulier et récurrent.

## **4.2. L'incertitude en science forensique : nécessité de procédures d'inférence bien définies**

L'évaluation d'un indice en science forensique est - avant tout - caractérisée par la présence d'une incertitude. Condition inévitable et incontournable, elle accompagne une des préoccupations à la fois principales et naturelles de l'être humain : comprendre le monde qui l'entoure. Dans le domaine des sciences criminelles, ce processus de compréhension se traduit

---

<sup>2</sup> Malgré son histoire de plus de 250 ans, le terme « Bayésien », utilisé pour désigner une classe particulière de méthodes d'inférence, ne s'est répandu plus largement qu'à partir du milieu du XXe siècle [Fienberg, 2003].

<sup>3</sup> La notion de cohérence est comprise dans ce chapitre comme synonyme de conformité avec les lois de probabilité.

<sup>4</sup> Les notions d'individualisation et d'identification sont bien souvent employées de façon interchangeable même si, dans le sens strict du terme, l'identification ne désigne que l'association d'un objet à une classe générique, tandis que l'individualisation vise la distinction d'un objet de tous les autres d'une même classe. Ici, cette dernière conception sera préférée.

essentiellement par l'analyse d'événements qui se sont déroulés dans le passé. Cependant, du fait de leur unicité et de leur caractère non reproductible, combinés aux limitations spatiales et temporelles de nos facultés (comme la vue ou l'ouïe) à recevoir des informations sur des éléments du milieu physique extérieur [Margot, 2000], l'étendue des connaissances sur ces événements ne peut que rester partielle. L'expert en armes à feu n'est pas exempté de ces considérations, comme l'illustre la citation suivante<sup>5</sup> [Imwinkelried, 1992] :

« Q. Lors de votre témoignage, vous avez affirmé que la distance de tir était de quarante-huit pouces. Est-ce correct ?

R. Oui.

(...)

Q. Mais vous n'étiez pas présent dans la pièce au moment du tir litigieux, n'est-ce pas ?

R. Non.

Q. Vous ne savez pas, personnellement, qui était dans la pièce, n'est-ce pas ?

R. Non.

Q. Vous ne savez pas qui tenait l'arme à feu, n'est-ce pas ?

R. Non.

Q. Et vous ne savez pas non plus, personnellement, à quelle distance se trouvait l'arme à feu par rapport à Monsieur Grimes lors de la décharge ?

R. Non.

Q. N'est-il pas vrai que, sur la base de votre connaissance personnelle, vous ne savez même pas s'il y avait une arme à feu dans cette pièce ?

R. Oui. »

Cet échange de questions directrices et de réponses démontre bien que l'expert est clairement dominé par un interrogateur qui a recours à une stratégie axée sur une série de réponses négatives ainsi que sur l'inclusion d'une question finale comprenant tout particulièrement l'expression « vous ne savez même pas ». Cette façon de procéder profite de ce que nous considérons ici comme « erreur stratégique » de la part de l'expert qui s'est prononcé, dans son rapport d'expertise, sur une hypothèse particulière (c'est-à-dire une distance de tir), au lieu de se prononcer sur l'élément technique proprement dit (p. ex. la distribution spatiale et le nombre des résidus de tir). Ceci nous permet également de donner un premier exemple pour justifier l'énoncé proposé dans le paragraphe 4.2, selon lequel *la considération d'hypothèses à la lumière d'indices* est du ressort exclusif des destinataires de l'information scientifique, tandis que *la considération des éléments matériels étant données des hypothèses* est du domaine de l'expert. Érigées en tant qu'un des préceptes d'évaluation en science forensique (cf. § 4.4), cette séparation des rôles et cette délimitation des champs d'activité feront partie intégrante de la

---

<sup>5</sup> Traduction libre de « Q. Now your testimony on direct was that the muzzle-to-target distance was forty-eight inches? Is that correct?

A. Yes.

(...)

Q. But you weren't there in the room at the time of the alleged shooting? Were you?

A. No.

Q. You don't know from personal knowledge who was in the room. Do you?

A. No.

Q. You don't know who was holding the gun. Do you?

A. No.

Q. And you don't have any personal knowledge how far the gun was from Mr. Grimes when the gun went off?

A. No.

Q. Isn't the truth of the matter that of your own personal knowledge, you don't even know whether there was a gun in that room?

A. Yes. » [Imwinkelried, 1992].

discussion poursuivie tout au long de ce chapitre, en particulier au niveau de son apport à une administration équilibrée et cohérente des éléments scientifiques.

Même si la prémisse acceptée ici stipule que, d'ordinaire, la certitude ne peut pas être atteinte, et l'incertitude est donc une condition inévitable, les événements d'intérêt forensique ne restent toutefois pas entièrement inaccessibles. Ceci découle du fait qu'en principe<sup>6</sup>, les événements d'intérêt forensique sont générateurs de témoins (matériels) qui peuvent être retrouvés et examinés. Ces éléments - des traces - peuvent fournir des indications sur les événements passés. Toutefois, cette opération soulève un certain nombre de complications. A titre d'exemple, notons les suivantes :

**Facteurs intrinsèques.** Les traces forensiques sont, dans la plupart des cas, imparfaites, car elles peuvent se présenter en quantités infimes, être dégradées ou présenter une pertinence variable. A ce sujet, le domaine des armes à feu comporte des situations particulièrement illustratives. Par exemple, des projectiles retrouvés sur une scène d'investigation (ou extraits d'un corps) peuvent être fortement déformés ou autrement altérés. En ce qui concerne des particules retrouvées sur les mains d'une personne suspectée d'avoir été exposée à une décharge d'une arme à feu, celles-ci peuvent être de nature et d'origine diverses.

**Facteurs extrinsèques.** L'aspect technique d'une éventuelle exploitation analytique comporte un risque d'erreur (erreur de laboratoire<sup>7</sup>), par exemple au niveau de la gestion, de l'administration et de la manipulation d'échantillons, facteurs qui contribuent aux nombreuses sources d'incertitudes [Schum, 1994].

A cause de ces facteurs, les éléments matériels manquent de qualités nécessaires pour établir avec certitude les hypothèses<sup>8</sup> auxquelles s'intéressent les acteurs du domaine judiciaire. En effet, l'expérience montre que les praticiens ne retiennent souvent qu'un certain « degré de croyance ». En conséquence, ils se voient confrontés à la question de savoir comment ajuster, de manière cohérente, ces croyances à la lumière de nouvelles informations. Il s'agit donc d'une question de gestion de l'incertitude dans le cadre des raisonnements visant à établir la valeur probante des éléments scientifiques. Cette situation peut susciter des inquiétudes aussi bien parmi les juristes que parmi les scientifiques et illustre ainsi la nécessité de mettre en œuvre de procédures d'inférence bien définies.

### 4.3. Nature d'une procédure d'inférence acceptable

Admettre que rien ne peut être établi avec certitude implique que l'on doit s'intéresser aux degrés de croyance que l'on peut légitimement attribuer à des propositions considérées comme incertaines [Kirk et Kingston, 1964], ainsi qu'aux méthodes (procédures d'inférence) employées à cet effet. Néanmoins, une partie majoritaire de la littérature forensique et juridique s'accorde à préconiser une approche selon laquelle la conceptualisation d'une procédure évaluative devrait permettre de répondre aux exigences d'équilibre, de logique et de transparence [Jackson, 2000 ; Aitken *et al.*, 2010].

---

<sup>6</sup> Un principe généralement accepté de nos jours, connu sous le nom de « principe d'échange de Locard », veut que « nul ne peut agir avec l'intensité que suppose l'action criminelle sans laisser des marques multiples de son passage (...) tantôt le malfaiteur a laissé sur les lieux des marques de son activité, tantôt par une action inverse, il a emporté sur son corps ou sur ses vêtements les indices de son séjour ou de son geste » [Locard, 1920].

<sup>7</sup> A l'heure actuelle, ceci se traduit par une tendance accentuée de certains laboratoires forensiques à s'intéresser aux systèmes d'assurance de qualité.

<sup>8</sup> Il pourrait s'agir, par exemple, de l'hypothèse selon laquelle un projectile incriminé a été tiré par une arme d'une personne d'intérêt ou l'hypothèse stipulant que les particules détectées sur un prélèvement effectué sur les mains d'une personne contiennent des résidus de tir.

Une procédure est dite cohérente et acceptable lorsqu'elle aborde ces principes en s'appuyant sur la théorie des probabilités, exigence acceptée sans réserve dans ce chapitre. L'emploi des probabilités comme mesure de l'incertitude s'impose [Lindley, 2006], car la violation des lois des probabilités peut donner lieu à des situations paradoxales et à des raisonnements fallacieux<sup>9,10</sup> [Kahneman *et al.*, 1982 ; Champod et Taroni, 1993 ; Taroni et Aitken, 1998].

#### 4.4. Principes d'évaluation en science forensique

L'approche probabiliste pour l'évaluation de la valeur probante - introduite plus formellement dans le paragraphe 4.5 - permet de suggérer trois préceptes pour l'expert forensique [Evet et Weir, 1998 ; ENFSI, 2015] :

- Afin d'évaluer l'incertitude associée à une hypothèse, il est nécessaire de considérer au moins une hypothèse alternative. Cette exigence stipule que l'attention ne devrait pas être portée sur une seule argumentation. Elle est de nature générale et s'applique pareillement dans la vie de tous les jours [Lindley, 2006]. Dans le contexte judiciaire, elle prend une importance particulière, puis qu'elle permet de répondre au critère d'équité [Jackson, 2000] : typiquement, les hypothèses d'intérêt reflètent les vues respectives de l'accusation et la défense [Evet et Weir, 1998]<sup>11</sup>. Dans certains contextes, de multiples hypothèses peuvent être formulées<sup>12</sup>. Généralement, les hypothèses considérées doivent être mutuellement exclusives, tandis qu'elles ne doivent pas forcément être exhaustives.
- L'interprétation scientifique se base sur des questions du type « Quelle est la probabilité de l'observation étant donnée l'hypothèse ? ». Ce précepte est en lien direct avec le précédent. En effet, l'expert ne devrait pas seulement considérer au moins une hypothèse alternative, il devrait également veiller à se concentrer sur ses observations et non sur les propositions ; ces dernières étant dans le domaine de compétence des juristes. Une raison d'être pour cette exigence découle, par exemple, de l'interrogatoire (témoignage) d'un expert comme énoncé au début du paragraphe 4.2. D'autres exemples seront abordés plus tard dans ce chapitre.
- L'interprétation scientifique n'est pas uniquement conditionnée par les hypothèses compétitives, mais également par le cadre des circonstances dans lequel elles sont considérées. L'expert a tout intérêt à signaler clairement, dans ses déclarations orales ou écrites, sa perception du cadre des circonstances dans lequel il a effectué son évaluation. Par exemple, on peut considérer que l'observation de beaucoup de similitudes et peu de différences entre les traces présentes sur un projectile indiciaire et un projectile de référence tiré avec l'arme d'une personne d'intérêt, si cette arme a effectivement tiré le projectile indiciaire, est un événement bien plus probable si l'arme

---

<sup>9</sup> Malgré le caractère contraignant de cette argumentation, une certaine réticence à l'acceptation et à l'emploi des probabilités se manifeste dans le monde juridique [Eggleston, 1983].

<sup>10</sup> C'est d'ailleurs également pour cette raison que, de nos jours, de nombreux domaines se dotent de procédures probabilistes lorsque la gestion de l'incertitude est un facteur de réussite critique (p. ex. analyse de risques au sein d'une assurance, dans le secteur financier, en matière de diagnostic médical ou encore en génie civil) [Aven et Reniers, 2013].

<sup>11</sup> A ce sujet, il est utile de mentionner également que les hypothèses à considérer peuvent se situer à différents niveaux, ce qui permet de les insérer dans une hiérarchie [Cook *et al.*, 1998a]. Par exemple, le niveau « crime » – abordé davantage par les tribunaux – concerne des hypothèses stipulant, respectivement, que la personne d'intérêt est ou non la personne qui a commis les actes reprochés. Un autre niveau hiérarchique, plus souvent retenu dans les rapports d'expertise, se situe au niveau « source ». Ce sont des hypothèses stipulant, par exemple, qu'une trace donnée provient ou non d'un objet particulier (ou d'une certaine personne).

<sup>12</sup> Par exemple, en matière de traces d'ADN, il peut être nécessaire de considérer des donneurs multiples, à savoir des personnes ayant des liens par le sang ou non.

en question a été saisie immédiatement après l'incident en question,<sup>13</sup> plutôt qu'après un intervalle de temps plus long. Ainsi, l'expert devrait mentionner que son évaluation nécessiterait d'être revue si les circonstances venaient à changer.

## 4.5. Éléments de la théorie des probabilités

### 4.5.1. Remarques préliminaires

Tout d'abord, il est utile de préciser que le concept des probabilités est, avant tout, une collection de lois mathématiques qui peuvent être formulées indépendamment d'un contexte d'application particulier [Salmon, 1966]. Dès lors, des considérations supplémentaires entrent en ligne de compte si l'on souhaite mettre en œuvre ce concept par rapport à un domaine d'application donné, tel que l'étude de l'inférence et la gestion de l'incertitude en science forensique. Il s'agit donc d'interpréter les lois des probabilités par rapport à notre branche d'application. Il existe plusieurs interprétations, mais pour des raisons de pertinence l'attention sera concentrée ici sur l'approche selon laquelle les probabilités, exprimées en termes qualitatifs et quantitatifs, constituent des appréciations personnalisées de crédibilité, formées et maintenues par un individu, sur quelque chose qui lui apparaît comme incertain, étant donné ce que cet individu sait ou peut générer comme information. Autrement dit, la science forensique admet, comme bien d'autres domaines [Lindley, 2006], que les probabilités constituent une mesure des croyances subjectives<sup>14</sup> d'un individu, parfois également dites « croyances personnelles ». Cette conception des probabilités repose sur des fondements philosophiques solides et un cadre logique rigoureux [Ramsey, 1926 ; de Finetti, 1977, 1989]. Elle est particulièrement bien adaptée pour aborder des problèmes d'inférence relatifs au monde réel. D'autres notions telles que celles de « chances » et probabilités « objectives », associées à une perception fréquentiste<sup>15</sup> des événements d'intérêt, seront en revanche écartées ici. La raison en est que cette façon d'interpréter la théorie des probabilités nécessite des présupposés et des idéalizations dont on sait qu'elles ne s'appliquent pas dans la réalité [Lindley, 1991]. Typiquement, comme nous l'avons soulevé au début du paragraphe 4.2, les événements d'intérêt juridique sont uniques et ne peuvent être reproduits de façon multiple dans des conditions expérimentales stables et identiques.

### 4.5.2. Notation

Nous allons utiliser des lettres majuscules pour représenter les propositions (ou hypothèses) auxquelles seront attribuées des probabilités. Par exemple, la lettre  $E$  sera utilisée pour faire référence à une observation effectuée sur un élément matériel<sup>16</sup>. En revanche, la lettre  $H$  sera utilisée pour représenter une hypothèse d'intérêt, par exemple l'hypothèse selon laquelle une trace donnée provient d'un canon d'arme à feu particulier. Afin de différencier les hypothèses proposées par des parties adverses, on utilise souvent des indices, tels que  $a$  en cas de l'hypothèse  $H_a$  de l'accusation, et  $d$  pour l'hypothèse  $H_d$  de la défense.

---

<sup>13</sup> Un court intervalle de temps offre moins de possibilités de changements majeurs des caractéristiques de la surface intérieure du canon.

<sup>14</sup> Dans le contexte discuté ici, l'expression « subjective » ne renvoie pas aux notions d'arbitraire et de spéculation, mais bien à l'individu qui maintient différents degrés de croyances dans la véracité d'une hypothèse donnée [Taroni *et al.*, 2001 ; Biedermann *et al.*, 2017b ; Taroni *et al.*, 2018]. Il convient également de noter que ces croyances personnelles peuvent être étudiées et établies empiriquement [Biedermann *et al.*, 2017a].

<sup>15</sup> L'approche fréquentiste définit la probabilité par la limite d'une fréquence relative, basée sur des observations. Il s'agit d'une probabilité dite aussi « empirique », car elle fait référence à l'observation et l'expérimentation de la fréquence relative d'un certain type d'événement lorsque les expériences en question sont répétées un très grand nombre de fois (p. ex. lancer une pièce de monnaie).

<sup>16</sup> Dans le contexte forensique, la lettre  $E$  est couramment choisie en vue du terme anglais *evidence*.

Dans certains contextes, la discussion des propositions s'étend à des quantités incertaines. Dans de tels cas, on utilise de préférence des lettres minuscules indexées, tels que  $a_0, a_1, a_2, \dots$  pour désigner les valeurs possibles d'une quantité (aléatoire)  $A$ . On peut considérer, à titre d'illustration, une comparaison entre un projectile incriminé et un projectile tiré avec l'arme d'une personne d'intérêt où 0, 2, 3... stries concordantes consécutives<sup>17</sup> peuvent être observées (abrégées par  $a_0, a_1, a_2, \dots$ ). Il s'agit ici d'une quantité discrète. La notation pour des quantités continues sera également basée sur des lettres minuscules. Elle trouvera son application, par exemple, lorsque la discussion portera sur les métriques utilisées en tant qu'indice de proximité (c'est-à-dire un score<sup>18</sup>) entre deux éléments comparés, tels que des projectiles ou des douilles.

La notation adoptée pour les probabilités est la suivante. Si l'on souhaite faire référence, par exemple, à la probabilité d'observer six impressions de champs à droite sur un projectile indiciaire de calibre 9 x19 mm Parabellum, dans l'hypothèse où ce projectile a été tiré par une arme différente de celle de la personne d'intérêt, on écrira  $\Pr(E|H_d, I)$ , où :

- $\Pr()$  signifie « la probabilité de »;
- $E$  dénote la proposition selon laquelle « le projectile indiciaire de 9 x19 mm Parabellum présente six impressions de champs à droite »;
- la barre verticale « | » exprime le conditionnement « étant donné »;
- $H_d$  représente l'hypothèse (avancée par la défense) selon laquelle « le projectile a été tiré par une arme autre que celle de la personne d'intérêt »;
- $I$  désigne les informations pertinentes<sup>19</sup> qui ont un impact sur l'évaluation de la valeur probante.

L'expression «  $|H_d, I$  » est importante puisqu'elle reflète le principe selon lequel une probabilité est toujours conditionnée par un contexte bien défini. Verbalement, l'expression «  $|H_d, I$  » se traduit comme suit : « en supposant que la proposition  $H_d$  soit vraie ainsi que l'information  $I$  soit connue ».

Parfois, le langage courant peut donner lieu à des imprécisions et des raccourcis. Il se peut qu'une proposition  $E$  soit appelée « l'indice » ou encore la « concordance (observée) » alors qu'il s'agit, à strictement parler, d'une expression plus complète, par exemple « des similitudes et différences observées entre le projectile indiciaire et le projectile de comparaison ». Autrement dit,  $E$ , considéré couramment et par simplicité comme indice, revient - en termes plus formels - à une affirmation précise.

Notons encore qu'une convention, généralisée dans la littérature forensique consacrée à l'évaluation, veut que les circonstances  $I$  comprennent les éléments d'information qui ne sont pas inclus dans la définition de l'hypothèse principale. Bien que  $I$  soit parfois omis, essentiellement pour alléger la notation, il est important de souligner que l'argument sous-jacent de l'évaluation forensique continuera systématiquement à l'assumer comme étant donné (cf. § 4.4, point 3).

---

<sup>17</sup> Ce critère numérique, connu aussi sous l'appellation CMS (*Consecutive Matching Striations*) [Biasotti et Murdock, 1984 ; Bunch, 2000], est présenté plus en détail dans le Chapitre 9. Il est à la base d'une approche visant à quantifier le degré de concordance observé entre deux projectiles.

<sup>18</sup> Ce genre de valeur est fourni, par exemple, par des systèmes de comparaison automatiques de projectiles (cf. § 9.4.2).

<sup>19</sup> Dans la littérature anglo-saxonne on parle aussi de *task-relevant information* [NCFS, 2015], c'est-à-dire non pas toutes les informations d'un cas (p. ex. aveux), mais les circonstances du cas pouvant influencer l'appréciation de la valeur probante des traces (p. ex. activités d'une personne d'intérêt avant son arrestation dans le contexte de l'évaluation de la valeur probante de résidus de tir détectés sur ses mains).

### 4.5.3. Théorème de Bayes et rapport de vraisemblance

#### 4.5.3.1. Forme générale du théorème de Bayes pour des propositions

Les lois des probabilités - dont l'énoncé est laissé ici à des traités plus spécialisés, tel que Lee [2004] – permettent de dériver une grande variété de théorèmes utiles. L'un d'eux est le Théorème de Bayes<sup>20</sup>, nommé ainsi d'après Thomas Bayes, pasteur de l'Église presbytérienne, mathématicien et membre de la *Royal Society* au XVIII<sup>e</sup> siècle [Bayes, 1763]. Même si, dans le domaine forensique, le théorème est encore perçu de manière sceptique dans certains cercles, il demeure, à l'heure actuelle, le cadre le mieux adapté pour aider à la compréhension de l'évaluation des indices scientifiques [Evelt et Weir, 1998]. L'un des arguments les plus convaincants en faveur de ce point de vue découle du fait que les différentes façons de raisonner sur des hypothèses d'intérêt peuvent être reconstruites en tant qu'inférences en accord avec ce théorème. Cette caractéristique clé permet ainsi de justifier l'application du théorème de Bayes dans le contexte légal. Plus particulièrement, l'approche Bayésienne pour l'analyse de données scientifiques permet de séparer de manière naturelle et logique l'appréciation d'un problème donné avant et après l'acquisition de nouvelles informations. Ces deux états de connaissance sont clairement identifiés comme étant importants dans la formation d'une vision complète d'un problème. Dans le contexte forensique, ceci concerne typiquement la considération d'un jeu d'hypothèses, c'est-à-dire l'éventuel changement de degrés de croyance, au fur et à mesure que de nouvelles informations (p. ex. éléments scientifiques) apparaissent.

Le théorème de Bayes établit la règle selon laquelle le degré de croyance sur une hypothèse d'intérêt se modifie à la lumière de nouvelles informations. Dans l'une de ses formes, le théorème postule que pour des propositions  $A$  et  $B$ , le degré de croyance que  $A$  est vraie, sachant que la proposition  $B$  est vraie (ainsi que l'information circonstancielle  $I$ ), écrit  $\Pr(A|B, I)$ , est égal au degré de croyance que  $A$  et  $B$  sont vraies (étant donné  $I$ ), noté  $\Pr(A, B|I)$ , divisé par le degré de croyance que  $B$  est vraie (étant donné  $I$ ), sous condition que  $\Pr(B|I) > 0$  :

$$\Pr(A|B, I) = \frac{\Pr(A, B|I)}{\Pr(B|I)} \quad \text{Eq. 4.1}$$

Dans le contexte forensique, le théorème de Bayes est couramment utilisé pour expliquer la relation primordiale - énoncée auparavant au paragraphe 4.2 - entre la probabilité d'une hypothèse  $H$ , étant donné l'élément  $E$  et l'information  $I$ , écrit  $\Pr(H|E, I)$ , et la probabilité de l'élément  $E$  étant donné l'hypothèse  $H$ , c'est-à-dire  $\Pr(E|H, I)$ :

$$\Pr(H|E, I) = \frac{\Pr(E|H, I) \times \Pr(H|I)}{\Pr(E|I)} \quad \text{Eq. 4.2}$$

A titre d'exemple, la variable  $H$  pourrait représenter l'hypothèse selon laquelle une arme à feu donnée, saisie au domicile d'une personne d'intérêt, a été utilisée pour tirer un projectile retrouvé sur une scène d'investigation. En revanche,  $E$  pourrait désigner l'événement selon

---

<sup>20</sup> Dans le but de poursuivre une présentation souple au niveau formel, les détails de la démonstration de ce théorème ne sont pas présentés ici. Notons uniquement que d'un point de vue mathématique, le théorème est universellement accepté comme étant correct [Cornfield, 1967]. Des opinions divergentes sont parfois soulevées, mais celles-ci se rapportent uniquement à des questions d'application du théorème.

lequel les caractéristiques observables sur le projectile en question sont similaires à celles d'un projectile tiré dans des conditions contrôlées (en laboratoire) par l'arme de la personne d'intérêt. Dans l'équation 4.2, le terme  $\Pr(H|I)$  représente la probabilité (personnelle) que la proposition  $H$  soit vraie. Cette probabilité est celle de l'individu effectuant le processus d'inférence. Elle est également appelée probabilité « a priori », car elle décrit les croyances personnelles avant la considération de l'information  $E$ . En revanche,  $\Pr(H|E, I)$  désigne la probabilité dite « a posteriori », c'est-à-dire le degré de croyance attribué à l'hypothèse  $H$  après la considération de l'information  $E$ .

Le théorème de Bayes peut ainsi être considéré comme une règle d'apprentissage sur la base d'expériences antérieures. Il décrit formellement le passage d'une expression d'incertitude portant sur un élément  $E$  - dans un cas où l'hypothèse  $H$  est vraie - à une expression sur la probabilité de cette hypothèse, étant donné l'élément  $E$ . Les deux termes sont liés l'un à l'autre par le facteur  $\frac{\Pr(H|I)}{\Pr(E|I)}$ .

L'équation 4.2 revêt une importance certaine puisqu'elle permet d'éviter l'argument fallacieux selon lequel  $\Pr(H|E, I) = \Pr(E|H, I)$ . En effet, une haute probabilité d'observer l'élément  $E$ , si la proposition  $H$  est vraie, n'implique pas que la probabilité de  $H$ , étant donné  $E$ , soit aussi grande (sauf si les probabilités  $\Pr(H)$  et  $\Pr(E)$  sont égales). Ce piège de l'intuition a été décrit dans de nombreux domaines scientifiques, tels que les sciences cognitives ou la médecine. Dans le domaine juridique, l'incohérence de cette affirmation est connue sous le nom de *prosecutor's fallacy* [Thompson et Schumann, 1987] et de *fallacy of the transposed conditional* [Robertson et Vignaux, 1995].

Souvent, l'information fournie par l'expert est pertinente pour deux hypothèses spécifiques. Dans le contexte juridique, ces hypothèses peuvent être celles de l'accusation  $H_a$ , et celle de la défense  $H_d$  (cf. § 4.4). On peut alors écrire l'équation 4.2 séparément pour  $H_a$  et  $H_d$  puis diviser l'une de ces équations par l'autre. Le terme  $\Pr(E|I)$  s'élimine et l'on obtient une autre forme du théorème de Bayes, connu sous le nom de *odds form* (*odds* signifie 'chances') :

$$\frac{\Pr(H_a|E, I)}{\Pr(H_d|E, I)} = \frac{\Pr(E|H_a, I)}{\Pr(E|H_d, I)} \times \frac{\Pr(H_a|I)}{\Pr(H_d|I)} \quad \text{Eq. 4.3}$$

La deuxième fraction sur le côté droit de cette équation représente les chances (a priori) entre  $H_a$  et  $H_d$ , tandis que la fraction sur le côté gauche représente les chances a posteriori, c'est-à-dire les chances conditionnées par l'élément  $E$  et l'information  $I$ . Le terme au milieu de l'équation est le rapport de vraisemblance (RV).<sup>21</sup> Sous cette forme, le théorème de Bayes postule que :

$$\text{Chances a posteriori} = \text{Rapport de vraisemblance} \times \text{Chances a priori} \quad \text{Eq. 4.4}$$

Cette équation est cruciale puisqu'elle montre comment des hypothèses peuvent être discriminées sur la base d'indices. Si l'on souhaite mettre à jour des croyances, on doit se focaliser sur la probabilité de l'information d'intérêt étant donnée chaque hypothèse d'intérêt,  $H_a$  et  $H_d$ , puis comparer ces probabilités. Si la fraction de ces deux probabilités vaut 1, alors l'élément (ou l'information) sera dit(e) « neutre » - c'est-à-dire, l'information ne modifie pas les probabilités a priori et n'aide pas à discriminer entre  $H_a$  et  $H_d$ . Lorsque la valeur du rapport de vraisemblance est supérieure (respectivement inférieure) à 1, l'élément considéré soutient l'hypothèse  $H_a$  par rapport à  $H_d$  (respectivement  $H_d$  par rapport à  $H_a$ ).

<sup>21</sup> En anglais, le terme *likelihood ratio* (LR) est employé.

L'utilisation du théorème de Bayes dans le contexte légal vise à fournir un cadre pour le raisonnement sur les propositions compétitives à la lumière de nouvelles informations. Selon ce point de vue, la force probante de l'élément scientifique se base sur la probabilité de l'élément scientifique à la lumière de chacune des hypothèses considérées - le rapport de vraisemblance [Aitken, 1994 ; Robertson et Vignaux, 1995]. L'expert est censé se concentrer sur cette expression. La combinaison d'un rapport de vraisemblance avec des chances a priori afin d'obtenir des chances a posteriori est, en revanche, du ressort du tribunal. La raison en est que ce passage nécessite la connaissance des informations circonstanciées (p. ex. informations du dossier, fondamentales pour juger des chances a priori) dont l'expert n'a normalement pas connaissance. Notons encore que, dans la littérature continentale, le rapport de vraisemblance est également appelé « force probante abstraite » (*abstrakte Beweiskraft*), tandis que les chances a posteriori sont nommées « force probante effective » (*Endwahrscheinlichkeit* ou *konkrete Beweiskraft*), car elles dépendent des chances a priori (*Anfangswahrscheinlichkeiten*) [Bender *et al.*, 2007]. A l'heure actuelle, le modèle Bayésien est de plus en plus accepté, par une partie des juristes, comme un outil valable pour raisonner avec les éléments scientifiques, et comme formalisation de la logique et du sens commun [Robertson et Vignaux, 1995 ; Redmayne, 2001].

#### 4.5.3.2. Version du théorème pour des données discrètes

Supposons que l'expert ait recours à une métrique - c'est-à-dire une quantité discrète issue d'une expérimentation - fournissant une description de la correspondance observée entre un projectile indiciaire et un projectile tiré par l'arme à feu d'une personne d'intérêt. Notons cette quantité, une variable aléatoire discrète<sup>22</sup>, par la lettre majuscule  $Y$  et par  $y$  une valeur actuellement observée. Par exemple,  $Y$  pourrait représenter le nombre maximal de stries concordantes observées de manière consécutive, tandis que  $y$  représente le nombre de stries effectivement comptées lors d'une comparaison donnée. Ainsi, l'élément à considérer - auparavant noté  $E$  - est le nombre maximal compté de stries concordantes consécutives :  $Y = y$ . Supposons également qu'il soit question de comparer un certain nombre d'hypothèses  $H_1, H_2, \dots, H_k$ , représentant différentes versions des faits. On pourrait imaginer, par exemple, que les circonstances d'un cas permettent de restreindre le nombre d'armes à feu ayant pu servir à tirer le projectile indiciaire, afin de dresser une liste comprenant  $k$  armes à feu. Dans un tel cas,  $H_i$  désignerait l'hypothèse selon laquelle l'arme  $i$ , où  $i = 1, 2, \dots, k$ , a été utilisée pour tirer le projectile incriminé.

Le théorème de Bayes pour un nombre discret d'hypothèses est ensuite donné par :

$$\Pr(H_i|Y = y, I) = \frac{\Pr(Y = y|H_i, I) \times \Pr(H_i|I)}{\sum_{j=1}^k \Pr(Y = y|H_j, I) \times \Pr(H_j|I)}, \text{ pour } i = 1, \dots, k. \quad \text{Eq. 4.5}$$

Cette forme du théorème fournit, pour chaque hypothèse  $i$ , la probabilité a posteriori respective, étant donné que la variable  $Y$  prend la valeur  $y$ . Un exemple d'application de cette formule pour évaluer la valeur probante d'un nombre maximal de stries concordantes observées de manière consécutive est proposé au paragraphe 9.6.5.

#### 4.5.3.3. Version du théorème pour des données continues

---

<sup>22</sup> Une variable aléatoire décrit le résultat d'une expérimentation avec un nombre. Si les valeurs possibles de la variable aléatoire, en nombre fini ou infini, sont discrètes, la variable aléatoire est dite discrète. Ce genre de variable est typiquement utilisé pour quantifier le nombre d'aspects ou de caractéristiques particulières constatés lors de l'analyse de traces.

Pour une variable continue, toutes les valeurs d'un intervalle sont possibles - étant donné un outil de mesure suffisamment performant. Or, si un intervalle contenant un nombre infini de valeurs réelles, la probabilité d'obtenir une valeur particulière est zéro. Pour chaque valeur de l'intervalle, on peut désormais indiquer la densité de probabilité. Il ne s'agit dès lors pas de spécifier, comme c'est le cas pour une variable discrète (cf. § 4.5.3.2), une probabilité d'observation d'une valeur donnée, mais plutôt la probabilité qu'elle soit comprise dans un intervalle.

Ainsi, pour des données continues (p. ex. des scores mentionnés au § 4.5.2), le théorème de Bayes peut s'écrire - toujours pour des hypothèses discrètes - de la manière suivante :

$$\Pr(H_i|Y = y, I) = \frac{f(y|H_i, I) \times \Pr(H_i|I)}{\sum_{j=1}^k f(y|H_j, I) \times \Pr(H_j|I)}, \text{ pour } i = 1, \dots, k. \quad \text{Eq. 4.6}$$

Par rapport à l'équation 4.5, on constate que les probabilités Pr des données discrètes sont remplacées par des fonctions de densité de probabilité f. Ces fonctions associent des valeurs de densité aux différentes valeurs réelles possibles. Des applications nécessitant des variables continues sont mentionnées dans le paragraphe 9.5.4.

## 4.6. Mise en contexte de l'évaluation probabiliste

### 4.6.1. La pré-évaluation

L'approche probabiliste en matière d'expertise d'armes à feu et de résidus de tir ne se limite pas uniquement à la phase évaluative et à la rédaction du rapport, une fois les examens et analyses effectués. Bien au contraire, l'évaluation probabiliste peut intervenir dès le début d'une expertise, dans une phase dite de « pré-évaluation » [Cook *et al.*, 1998 ; Jackson *et al.*, 2015]. La pré-évaluation cherche à préciser les résultats potentiels avant même d'effectuer une recherche de traces et des analyses, afin d'évaluer (1) la valeur probante associée aux différents résultats possibles (en termes de rapport de vraisemblance), et (2) la probabilité avec laquelle ces résultats peuvent être obtenus sous chacune des propositions d'intérêt. Ces informations, en matière de résultats attendus et de valeur probante associée, devraient aider les destinataires de l'information scientifique (les membres de la direction de l'enquête, par exemple le magistrat mandant de l'expertise) à apprécier l'apport potentiel d'une expertise, et à identifier une stratégie d'examen appropriée, surtout lorsque plusieurs options d'expertise sont possibles. Pour cette même raison, les lignes directrices du *European Network of Forensic Science Institutes* (ENFSI) stipulent qu'il est du devoir de l'expert d'informer l'autorité compétente si, à la suite de la pré-évaluation, il est considéré que l'expertise n'offre qu'un faible potentiel de différenciation entre les versions du cas (les propositions) défendues par les parties (ENFSI, 2015). Enfin, la pré-évaluation permet également d'éviter que l'expert ne soit influencé dans la phase évaluative par les résultats obtenus (effet dit de « rationalisation post-hoc »). Par exemple, l'affirmation « si l'hypothèse de l'accusation est vraie, l'observation de cette configuration de traces correspond très bien à mes attentes » est bien plus crédible et défendable si l'expert peut démontrer que ce point de vue était déjà établi et documenté avant que les examens ne soient effectués.

### 4.6.2. La disponibilité de données dites « dures »

L'approche préconisée dans cet ouvrage exprime les probabilités avec des chiffres. Ceci revient à décrire les incertitudes de façon numérique. Autrement dit, les valeurs numériques sont attribuées afin que, si une valeur donnée est élevée, la croyance attribuée à l'hypothèse en question le soit aussi. Ceci permet des distinctions précises, pour autant que l'on puisse justifier des valeurs numériques. Ce dernier point peut donc soulever des objections. Par exemple, une

critique récurrente stipule que la discrimination entre des degrés de croyance, exprimés à l'aide de chiffres, n'est pas justifiable, en particulier dans des contextes dans lesquels les connaissances sont limitées et l'information disponible est souvent incomplète. Il se peut également que l'expert se sente poussé vers un niveau de précision jugé irréaliste et difficilement justifiable. En conséquence, face à l'apparente impossibilité d'assigner des valeurs numériques dites « exactes », la conclusion qui semble s'imposer est de rejeter l'approche en tant que telle.

Il n'est pas contesté ici que des situations impliquant des données numériques incomplètes ou manquantes représentent un défi fréquent. Cette circonstance n'est cependant pas considérée comme un facteur qui éviterait l'applicabilité d'une approche probabiliste à l'évaluation des indices scientifiques. Bien au contraire, le cadre des probabilités est suffisamment flexible pour aborder les complications soulevées précédemment. Un aspect pertinent dans ce contexte est la notion de probabilité qualitative. En effet, la littérature forensique [Evetts *et al.*, 1998] souligne, en ce qui concerne l'appréciation du numérateur et du dénominateur du rapport de vraisemblance, qu'il n'est pas nécessaire d'exiger d'un expert qu'il soit capable de fournir des réponses numériques précises. Il suffira qu'il puisse donner une appréciation au moins qualitative, c'est-à-dire un ordre de grandeur du rapport entre ces deux termes. Il en ressort que plus ce rapport est grand, plus le soutien à la première hypothèse sera grand. De plus, il convient de noter que, dans de nombreuses situations, des appréciations qualitatives, quoique néanmoins justifiées peuvent parfaitement suffire pour répondre à la question d'intérêt - sans qu'il soit nécessaire de déployer des efforts pour augmenter le niveau de détail de l'argument avancé [Biedermann et Taroni, 2006a].

#### 4.6.3. L'expression de la valeur probante

Même si des valeurs numériques pour la force probante d'un indice peuvent être fournies, comme cela est supposé dans l'exemple chiffré présenté au paragraphe 9.6.5, il peut être souhaitable, pour différentes raisons, de situer et d'exprimer une valeur quantitative dans une échelle qualitative.

A cet effet, la littérature statistique [Jeffreys, 1983] et forensique [Evetts, 1987, 1990 ; Evetts *et al.*, 2000 ; Nordgaard *et al.*, 2012] a proposé différentes échelles verbales. A titre d'exemple, le tableau 4.1 résume l'échelle verbale présentée dans les lignes directrices de l'ENFSI [2015]. Ce document n'est pas prescriptif concernant la distribution des niveaux de l'échelle verbale et l'ordre de grandeur du rapport de vraisemblance associé à chaque niveau. Un laboratoire forensique peut ainsi retenir des échelles différentes. Cependant, pour des raisons de cohérence, une même échelle verbale devrait être utilisée au sein d'un laboratoire, pour tous les domaines d'expertise concernés. A l'aide de cette échelle, le rapport de vraisemblance d'une valeur de 20, comme dans l'exemple discuté au paragraphe 9.6.5, peut ainsi s'exprimer de la manière suivante : « Les résultats de cette comparaison (c'est-à-dire l'observation de 5 CMS) présentent un support modéré pour l'hypothèse selon laquelle le projectile indiciaire a été tiré par l'arme examinée ».

**Tableau 4.1.** Exemple d'une échelle verbale pour indiquer la valeur probante (rapport de vraisemblance, RV) en faveur d'une hypothèse  $H_a$  par rapport à une hypothèse alternative  $H_d$  [ENFSI, 2015]. Cette échelle fonctionne avec des valeurs réciproques pour des rapports de vraisemblance inférieurs à 1, soutenant l'hypothèse alternative  $H_d$ .

Valeur du rapport de vraisemblance	Équivalent verbal
1	Les constatations forensiques ne permettent pas de soutenir une proposition plutôt qu'une autre.
2 - 10	Les constatations forensiques soutiennent faiblement la première proposition par rapport à la contre-proposition.

	Les constatations forensiques sont légèrement plus probables dans le cas d'une proposition par rapport à l'autre.
10 - 100	... modérément ... ... sont plus probables dans le cas de la proposition ... plutôt que de la proposition ...
100 - 1'000	... modérément fortement ... ... sensiblement ...
1000 - 10'000	... fortement ... ... nettement ...
10'000 - 1'000'000	... très fortement ... ... beaucoup ...
1'000'000 et plus	... extrêmement fortement ... ... extrêmement ...

Pour des valeurs de rapports de vraisemblance dépassant largement l'échelle proposée<sup>23</sup>, une pratique acceptée consiste à utiliser l'expression « soutien extrêmement fort ». Notons encore à ce titre que des approches visant plus particulièrement à gérer des rapports de vraisemblance très grands ont également été proposées. Un exemple, proposé par Taroni et Aitken [1998], se base sur le logarithme du rapport de vraisemblance.

Notons encore que des valeurs de rapports de vraisemblance RV, sous la forme inverse ( $\frac{1}{RV}$ ), expriment le degré de soutien qu'offrent les observations à l'hypothèse alternative par rapport à la première proposition. Il est également important de souligner qu'une conclusion de type « les observations forensiques soutiennent faiblement la première hypothèse par rapport à l'hypothèse alternative » ne signifie pas que les observations soutiennent (fortement) l'hypothèse alternative. Une telle constatation signifie uniquement que les observations sont de l'ordre de 10 fois plus probables si la première hypothèse est vraie que si l'hypothèse alternative est vraie.

#### 4.6.4. Recommandations pratiques

Les principes de l'évaluation probabiliste énoncés dans le paragraphe 4.4 ont été développés dans la littérature forensique depuis le début des années 1990, par exemple par Evett [1991], Evett et Weir [1998], ou encore Evett [2015]. Ces principes ont été reconnus comme standard par l'*Association of Forensic Science Providers* (AFSP) [AFSP, 2009], puis retenus comme lignes directrices par l'*ENFSI* en 2015 [ENFSI, 2015] dans le but d'harmoniser les pratiques d'évaluation de la valeur probante des traces forensiques. Les lignes directrices de l'*ENFSI* précisent les principes de l'évaluation sur un plan pratique, en fournissant des recommandations de leur mise en œuvre, surtout au niveau de la communication des résultats aux magistrats.

Tout d'abord, les lignes directrices de l'*ENFSI* spécifient un champ d'application bien précis : les rapports dits *d'évaluation*. Un rapport forensique est considéré comme étant évaluatif lorsqu'il vise à préciser et rapporter la force probante d'un résultat issu d'un examen forensique. La force probante d'un indice renseigne le tribunal sur l'impact de l'indice en question sur les différentes hypothèses (en relation avec les positions respectives des parties), et en tenant compte des circonstances spécifiques du cas d'espèce. Il est important de noter que les rapports évaluatifs se distinguent des rapports de renseignement, des rapports d'investigation et des rapports techniques. Les rapports de renseignement se concentrent sur différents aspects de la criminalité (phénomènes criminels), cherchant à les mesurer, à inférer des liens entre plusieurs cas et à fournir des pistes pour prévenir de nouveaux cas. Il s'agit là d'un champ d'activité avant tout policier, présentant un intérêt limité pour les tribunaux. Un rapport dit d'investigation est

<sup>23</sup> Ceci arrive régulièrement dans le domaine des traces d'ADN.

établi spécifiquement pour un cas donné, plutôt au début d'une procédure, lorsqu'aucune personne d'intérêt n'est disponible, ou si le déroulement des faits n'est pas suffisamment clair. Il est admis que ce type de rapport puisse s'exprimer - contrairement à un rapport évaluatif - sur différentes hypothèses afin d'aider à établir des pistes d'investigation. Enfin, un rapport technique se limite à donner des résultats factuels (observations brutes), sans évaluation.

Les lignes directrices de l'ENFSI précisent également que le magistrat et l'expert doivent définir ensemble la question d'expertise afin de s'assurer que les travaux effectués par l'expert répondent aux besoins des magistrats. Par exemple, il n'est pas rare que des prélèvements pouvant contenir des résidus de tir ne soient transmis à un laboratoire qu'avec peu, voire aucune indication sur les circonstances pouvant influencer la valeur probante du résultat d'une recherche de traces (p. ex. détection ou non de résidus de tir). Dans certains cas, la personne d'intérêt ne conteste pas que des résidus de tir soient présents sur ses mains ou ses habits, et ceci pour diverses raisons légitimes. Il se peut aussi que trop de temps se soit écoulé entre la décharge d'une arme à feu et le moment du prélèvement, diminuant ainsi les chances de trouver des traces.

Afin de pouvoir effectuer une évaluation contextualisée, les experts doivent donc disposer des circonstances pertinentes, ce qui peut nécessiter de se renseigner sur la version présentée par la défense. L'expert devrait notamment effectuer une pré-évaluation, ce qui revient à s'interroger sur les résultats potentiels avant même de procéder aux examens [Cook *et al.*, 1998 ; Jackson *et al.*, 2014]. Une pré-évaluation cherche à spécifier (1) les attentes de l'expert en regard des observations qui pourraient être faites lors des examens, en fonction des pièces soumises pour examen et des circonstances du cas, et (2) s'exprimer sur les probabilités et valeurs probantes (ou leur ordre de grandeur) de chaque résultat possible, en fonction des hypothèses avancées par les parties. Ces indications cherchent à aider le preneur de décision à sélectionner la stratégie d'examens la plus appropriée.

Le document de l'ENFSI [2015] est complété par un glossaire, une série d'exemples de rapports évaluatifs (dont notamment deux portant sur des résidus de tir) ainsi qu'une grille de lecture, permettant aux experts et magistrats de vérifier rapidement si un rapport donné est rédigé de manière conforme aux lignes directrices. Ainsi, les lignes directrices de l'ENFSI contribuent à rendre les rapports d'expertise plus transparents, robustes (sur le plan scientifique) et plus équilibrés du point de vue des parties. Afin de garantir un échange proactif et constructif avec les magistrats et les représentants des parties, il est dans l'intérêt des experts de s'appropriier des principes d'évaluation forensique et de les implémenter dans leurs travaux d'expertise [Moreillon *et al.*, 2017].

#### **4.6.5. Les modèles graphiques probabilistes**

Même si des considérations qualitatives peuvent offrir une assistance à la mise en œuvre d'une approche probabiliste (cf. § 4.6.1 et 4.6.2), cette pratique n'est pas systématique comme le montre l'expérience. L'implémentation peut se heurter à des obstacles particuliers, surtout lorsque l'on s'attache à aborder des cas pratiques, souvent caractérisés par un état limité de connaissances disponibles dans un domaine d'expertise donné et un nombre important de facteurs (et de relations entre facteurs) pouvant entrer en ligne de compte.

Afin de gérer ce genre de complications, la recherche dans le domaine de l'interprétation a porté son intérêt sur la formalisation de la théorie des probabilités au moyen d'un environnement graphique, connu sous le nom de réseaux Bayésiens (*Bayesian networks*). Ce concept permet d'aborder des faisceaux d'informations complexes, en particulier lorsque ces informations sont partiellement interdépendantes [Biedermann, 2007 ; Taroni *et al.*, 2014].

De manière très générale, les réseaux Bayésiens visent à représenter des relations de pertinence. C'est-à-dire, lorsqu'il est jugé qu'une variable - représentée sous la forme de nœud - « influence » une autre, ou, autrement dit, si des connaissances sur une variable influencent les croyances portant sur une autre variable, les deux variables concernées seront liées par une flèche, exprimant une dépendance probabiliste. D'une façon intuitive, une flèche qui pointe d'une variable vers une autre est parfois aussi interprétée comme un lien de causalité [Pearl, 2020], même si, dans le sens strict, le concept de causalité ne fait pas partie de la définition des réseaux Bayésiens. La nature et la force d'un lien entre deux variables sont modélisées à l'aide de probabilités, associées à chaque nœud constituant le réseau Bayésien en question. Plus formellement, la définition des réseaux Bayésiens comprend les éléments suivants :

- Un graphe orienté (qui ne contient pas de cycles) formé par un ensemble de nœuds et un ensemble de flèches ;
- Un ensemble de variables aléatoires, représentées par les nœuds du graphe ;
- Des distributions de probabilité (une pour chaque variable aléatoire).

Ces notions sont concrétisées ci-après au travers d'une illustration simple. Pour des développements plus techniques, le lecteur intéressé se dirigera vers la littérature spécialisée [Naïm *et al.*, 2004 ; Jensen et Nielsen, 2007 ; Kjærulff et Madsen, 2008 ; Taroni *et al.*, 2014].

A titre d'exemple, considérons de nouveau la forme générale du théorème de Bayes pour des propositions (cf. Eq. 4.2). Admettons que la variable  $H$  ait les deux états  $H_a$  (le projectile en question a été tiré par l'arme à feu de la personne d'intérêt) et  $H_d$  (le projectile en question a été tiré par une arme à feu autre que celle de la personne d'intérêt). Ensuite, considérons également une deuxième variable  $E$ , représentant la proposition qu'un ensemble de similitudes et différences entre le projectile indiciaire et un projectile tiré à l'aide de l'arme saisie auprès de la personne d'intérêt a été observé.

Relier les deux variables  $H$  et  $E$  par une flèche,  $H \rightarrow E$ , permet d'exprimer - du point de vue du sens commun - l'opinion selon laquelle la connaissance qu'on a de la variable  $H$  a un impact sur la connaissance qu'on a de la variable  $E$ . Il est toutefois important de noter que, même si la flèche se dirige de  $H$  vers  $E$ , les raisonnements sont possibles dans les deux sens, comme l'illustrent les deux situations suivantes :

- En supposant que l'hypothèse  $H_a$  est vraie, on se prononce sur la probabilité d'observer l'événement  $E$ : ceci représente un raisonnement allant dans la direction de la flèche, parfois aussi décrit comme prévision ou raisonnement prospectif. Dans le cas hypothétique considéré ici, ce raisonnement s'articule comme suit : sachant que l'arme de la personne d'intérêt a tiré le projectile en question, les similitudes et différences entre les traces présentes sur les deux projectiles ont telle ou telle probabilité d'être observées.
- Étant donné l'observation  $E$ , on « induit » que l'hypothèse  $H_a$  soit vraie avec une certaine probabilité. Il s'agit là d'une inférence dite inductive, allant dans le sens opposé de la flèche. Lorsque le contexte fait référence à des notions de causalité, il se peut également qu'on parle d'un raisonnement diagnostique, allant de l'effet vers la cause. Dans l'exemple considéré ici, on dira alors « qu'en observant ces similitudes et différences entre les traces présentes sur les projectiles comparés, il y a telle probabilité que ce soit l'arme de la personne d'intérêt qui a tiré le projectile en question »<sup>24</sup>.

---

<sup>24</sup> Bien entendu, cette phrase s'exprime directement sur la probabilité d'une hypothèse, et serait donc inappropriée pour un scientifique. Notons qu'il s'agit ici uniquement à expliquer les possibles modes de raisonnement au sein des réseaux Bayésiens.

C'est bien grâce à la possibilité d'effectuer ce dernier type de raisonnement que l'emploi des réseaux Bayésiens revêt un intérêt particulier en science forensique. Ceci d'autant plus que cette inférence s'effectue en accord avec les lois des probabilités. Plus concrètement, les deux raisonnements exposés ci-dessus nécessitent la spécification des probabilités suivantes :

- Pour le nœud  $H$ , des probabilités  $\Pr(H_a|I)$  et  $\Pr(H_d|I)$  dites « initiales », c'est-à-dire les probabilités que l'arme de la personne d'intérêt soit, respectivement ne soit pas, l'arme utilisée pour tirer le projectile en question, avant la connaissance de l'information  $E$ .
- Le nœud  $E$ , dépendant du nœud  $H$ , requiert lui, la spécification de plus de probabilités puisque l'on doit tenir compte de toutes les combinaisons possibles entre les états des variables en jeu :  $\Pr(E|H_a, I)$ ,  $\Pr(E|H_d, I)$ ,  $\Pr(\bar{E}|H_a, I)$  et  $\Pr(\bar{E}|H_d, I)$ , où  $\bar{E}$  désigne toute observation autre que  $E$ .

Ces tables de probabilité représentent, en combinaison avec les nœuds et les flèches, les trois éléments constitutifs des réseaux Bayésiens. Ils complètent, d'un point de vue statique, la description de la situation étudiée. L'aspect dynamique des réseaux Bayésiens se manifeste lorsque de nouvelles informations sont acquises. Ainsi, en supposant une situation impliquant la connaissance de  $E$ , l'observation de similitudes et différences au niveau des traces sur des éléments de munition, le réseau Bayésien proposé permet de calculer la probabilité de l'hypothèse  $H$  étant donné l'information  $E$ . Ce calcul s'effectue selon le théorème de Bayes, énoncé précédemment (cf. Eq. 4.2 et 4.3). Notons toutefois que ceci constitue déjà une inférence Bayésienne complète, puisqu'elle porte sur la probabilité d'une hypothèse  $H$  étant donné un élément  $E$  (cf. § 4.2). L'expert forensique s'intéressera dès lors plutôt à la perspective inverse : l'évaluation de la probabilité de  $E$  en supposant que  $H_a$ , respectivement  $H_d$ , soit vrai, c'est-à-dire les numérateur et dénominateur du rapport de vraisemblance.

Dans le cas présent, ces résultats sont élémentaires. Par exemple, la probabilité de  $E$  obtenue pour une situation dans laquelle l'hypothèse  $H$  est supposée être connue est directement donnée par la probabilité respective spécifiée dans la table des probabilités associée au nœud  $E$ . On pourrait dès lors légitimement se poser la question de savoir si l'introduction d'un concept aussi formaliste que les réseaux Bayésiens se justifie, vu que les résultats numériques peuvent aussi bien s'obtenir par un simple calcul « à la main ». Cette conclusion pourrait certes être soutenue pour des situations n'impliquant qu'un nombre limité de variables, comme l'exemple considéré ci-dessus. Or, dans bien des situations, le réseau Bayésien décrivant la situation étudiée est plus complexe. Il peut notamment comprendre de nombreuses étapes intermédiaires, reliant l'élément  $E$  à l'hypothèse principale par des chemins indirects. Pour ce genre de situations, les calculs probabilistes peuvent rapidement s'avérer plus lourds, et, par conséquent, s'accompagner d'une augmentation du risque d'erreur. On rejoint ainsi le constat fait au début de ce paragraphe, à savoir la complexité induite par le nombre de facteurs pouvant entrer en ligne de compte, ainsi que leurs relations<sup>25</sup>. Approcher ce genre de situations à l'aide de réseaux Bayésiens permet de concentrer l'effort sur les aspects structurels de la modélisation probabiliste tandis que les calculs peuvent, grâce au recours à des logiciels spécialisés<sup>26</sup>, être confiés à un ordinateur.

#### 4.6.6. Évaluation conjointe de plusieurs niveaux d'observation

---

<sup>25</sup> En science forensique, de telles situations sont typiquement rencontrées, par exemple, au niveau des questions liées à la combinaison d'indices [Biedermann, 2007 ; Juchli *et al.*, 2012].

<sup>26</sup> Un logiciel couramment utilisé pour construire des réseaux Bayésiens est *HUGIN* dont une version d'évaluation (*HUGIN Lite*) est disponible sur le site [hugin.com](http://hugin.com).

Ce paragraphe cherche à illustrer l'évaluation probabiliste à travers l'étude d'un cas générique. L'attention sera ainsi portée sur (1) la forme et la structure des arguments invoqués lors de l'analyse d'une situation donnée, ainsi que sur (2) la façon dont ces arguments sont articulés et exprimés dans un cadre probabiliste, en particulier à l'aide d'un réseau Bayésien. La présentation évite dès lors la discussion des valeurs numériques particulières. En effet, faire abstraction d'une quantification permet - dans une optique allant du général au particulier - d'illustrer l'étendue de cas pouvant être approchés à l'aide d'une procédure probabiliste donnée. La structure du modèle de raisonnement permet également d'énoncer précisément les questions pertinentes sur lesquelles l'expert devrait s'interroger (p. ex. les données pertinentes et nécessaires pour quantifier la valeur probante) lorsqu'il souhaite l'appliquer dans un cas donné.

Notons d'abord que, dans les paragraphes précédents, une correspondance observée au niveau d'une (ou plusieurs) caractéristique(s) analytique(s) a été décrite d'une manière générale. Cependant, la notion de « correspondance » (ou ensemble de similitudes et différences) peut également être abordée à un niveau plus nuancé. On peut considérer, par exemple, une description des observations en termes d'ensembles distincts (ou niveaux d'observations), se référant aux observations effectuées d'un côté, sur un élément indiciaire ( $y$ ), et d'un autre côté, sur un objet de comparaison ( $x$ ). Plus particulièrement, pour chaque pièce examinée, on peut distinguer entre les marques provoquées par les caractéristiques de classe de l'objet « source » ayant laissé la trace en question ( $y_c, x_c$ ), et les stigmates (caractéristiques de sous-classe et dites individuelles)<sup>27</sup> laissés par l'objet « source » ( $y_s, x_s$ ) [Evetts *et al.*, 1998]. Dans ce contexte, on parle également de composantes distinctes, c'est-à-dire des observations faites sur un élément de munition indiciaire ou un objet de comparaison donné.

Étant donné des observations effectuées sur un élément de munition indiciaire et un (ou plusieurs) projectile(s) tiré(s) avec une arme de comparaison, il peut ensuite se poser la question de savoir comment effectuer une inférence sur l'hypothèse selon laquelle les objets considérés ont été tirés par une même arme ou des armes différentes. De plus, il peut également être nécessaire de s'interroger sur la façon de gérer d'éventuelles dépendances entre différentes observations (caractéristiques de classe, de sous-classe et stigmates) effectuées sur un même objet.

A titre d'exemple, considérons un cas dans lequel un individu a trouvé la mort à la suite d'un tir de projectile au milieu du thorax. Aucune douille et aucune arme à feu n'ont été trouvées sur les lieux. Par la suite, une personne est arrêtée sur la base d'informations sans lien avec l'élément matériel (c'est-à-dire le projectile incriminé extrait du corps de la personne atteinte). Une arme à feu trouvée en possession de la personne d'intérêt est soumise à un laboratoire à des fins d'examen comparatifs. Supposons également que, lors de ces examens, des similitudes et différences sont observées au niveau des caractéristiques de classe et des stigmates ( $y$  compris de sous-classe)<sup>28</sup>, et que le mandant soit intéressé à l'hypothèse d'une source commune, dans le contexte connu aussi sous la désignation « hypothèse au niveau de la source » [Cook *et al.*, 1998a]. Par ailleurs, supposons en plus que le destinataire de l'information scientifique souhaite également porter l'inférence plus loin, sur un jeu d'hypothèses stipulant que la personne d'intérêt (ou une autre personne) soit le tireur du projectile en question, c'est-à-dire des hypothèses dites « au niveau du crime »<sup>11</sup> [Cook *et al.*, 1998a]. Ce point de départ soulève

---

<sup>27</sup> Le terme « caractéristique individuelle » est évitée ici puisque, comme le discute le paragraphe 9.3, certaines caractéristiques, bien qu'acquises, ne sont pas forcément possédées par une seule et même source.

<sup>28</sup> A strictement parler, il ne s'agit évidemment pas des caractéristiques de classe et les caractéristiques propres observées directement sur l'objet « source » (p. ex. le canon d'une arme à feu), mais bien des traces laissées par ces caractéristiques sur des éléments de munition tirés. Pour alléger l'expression, les notions de caractéristiques de classe et de stigmates sont toutefois aussi utilisées pour désigner les marques laissées par des caractéristiques respectives d'un objet source sur des éléments de munition.

de nombreuses questions, telles que « Comment approcher l'évaluation dans un tel cas ? » ou « Comment peut-on gérer les incertitudes liées aux propositions d'intérêt se situant à des niveaux hiérarchiques différents ? ».

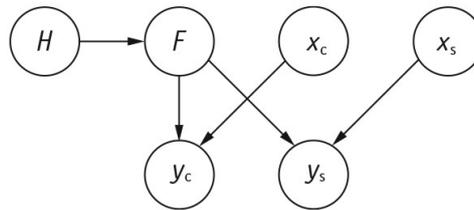


Fig. 4.1. Réseau Bayésien pour évaluer la valeur probante des traces observées sur des éléments de munition pour des hypothèses situées au niveau du crime.

De telles questions peuvent être abordées au travers du réseau Bayésien montré dans la figure 4.1. L'approche probabiliste sous-jacente de ce modèle est en accord avec un cadre formel décrit auparavant par Evett *et al.* [1998] dans le contexte des traces de souliers<sup>29</sup>. Dans le réseau proposé, le nœud  $H$  représente les hypothèses situées au niveau du crime (avec «  $H_a$  : La personne d'intérêt a commis le crime » et «  $H_d$  : Une personne inconnue est l'auteur du crime »). Le nœud  $F$  représente les hypothèses au niveau de la source, stipulant, respectivement, que l'arme de la personne d'intérêt a été utilisée pour tirer le projectile en question, ou, qu'une autre arme a servi pour tirer le projectile en question. Le rapport de vraisemblance associé à cette approche prend la forme suivante [Evett *et al.*, 1998] :

$$\begin{aligned}
 RV_{\text{comb}} &= \frac{\Pr(y_c, y_s | x_c, x_s, H_a, I)}{\Pr(y_c, y_s | H_d, I)} \\
 &= w \times \underbrace{\frac{\Pr(y_c | x_c, F, I)}{\Pr(y_c | \bar{F}, I)}}_{RV_c} \times \underbrace{\frac{\Pr(y_s | x_s, F, I)}{\Pr(y_s | \bar{F}, I)}}_{RV_s} + (1 - w)
 \end{aligned}
 \tag{Eq. 4.7}$$

Notons que le modèle proposé dans la figure 4.1 est général, et peut être adapté en fonction des besoins du cas en question. Par exemple, si on considère que l'observation des caractéristiques  $y_s$  dépend des caractéristiques  $y_c$ , il est nécessaire d'ajouter une flèche qui pointe du nœud  $y_c$  vers le nœud  $y_s$  dans le modèle montré dans la figure 4.1, et d'adapter l'équation 4.7 en conséquence. Une telle modification peut se justifier pour certaines observations résumées par la variable  $y_s$ , surtout le nombre de stries (qui est fonction, par exemple, de la largeur d'une impression de rayure et de la dimension d'un projectile), alors que l'aspect ou la forme des différentes stries semble moins influencée par les caractéristiques de classe. Une autre réflexion qui peut amener à une modification du modèle concerne la pertinence de l'objet examiné, c'est-à-dire sa relation avec le cas en question. Afin de tenir compte de l'incertitude en lien avec cette question, un nœud supplémentaire - pointant vers le nœud  $F$  - devrait être intégré au modèle [Biedermann et Taroni, 2006b].

Le terme  $w$  désigne  $\Pr(F | H_a, I)$ , soit la probabilité conditionnelle que l'arme en question ait été utilisée pour tirer le projectile incriminé, étant donné que la personne d'intérêt est la personne qui a commis le crime. Ceci dépend, par exemple, du nombre d'armes à feu en possession de la personne d'intérêt (ou du nombre d'armes à feu auxquelles cette personne avait accès au moment du crime), ainsi que de ses éventuelles préférences pour l'une ou l'autre de

<sup>29</sup> L'adéquation entre le réseau Bayésien proposé et l'approche d'Evett *et al.* [1998] est démontrée dans l'annexe de la référence [Biedermann et Taroni, 2006b].

ces armes. Par exemple, supposons qu'aucune autre arme à feu n'ait été trouvée auprès de la personne d'intérêt et que, selon les informations disponibles, cette personne n'avait pas eu accès à d'autres armes à feu. Dans une telle situation, une valeur proche de 1 semblerait alors appropriée.

Bien qu'à première vue ce résultat puisse paraître technique et difficile à appréhender, il y a des composantes différentes qui peuvent être clairement distinguées. Par exemple, l'équation 4.7 contient le produit de deux fractions qui représentent, respectivement, les rapports de vraisemblance individuels pour les observations au niveau des caractéristiques de classe ( $RV_c$ ) et des stigmates (y compris de sous-classe) ( $RV_s$ ). L'équation 4.7 représente donc un rapport de vraisemblance combiné ( $RV_{comb}$ ). L'attribution de valeurs numériques aux différentes composantes de cette équation dépend fortement des caractéristiques du cas en question. A cet égard, la discussion présentée dans la littérature spécialisée met en évidence le grand éventail de situations qui peuvent être abordées par le cadre interprétatif proposé. De plus, suivant les indications données au paragraphe 4.6.2, la disponibilité de valeurs numériques explicites n'est pas une condition indispensable pour la mise en application de cette approche. En effet, la littérature dans ce domaine illustre la faisabilité de considérations qualitatives et des analyses de sensibilité, permettant de préciser au moins l'ordre de grandeur d'un rapport de vraisemblance combiné [Biedermann et Taroni, 2006b].

## **4.7. L'évaluation probabiliste et la décision d'identification**

### **4.7.1. L'objectivité n'existe pas**

A l'heure actuelle, l'expertise des armes à feu et des éléments de munitions fait intervenir des séquences d'examen en laboratoire, méticuleuses et rigoureuses, souvent soutenues par un équipement et un appareillage sophistiqué (p. ex. macroscopes comparateurs, systèmes de comparaison automatiques). En ce qui concerne l'évaluation des résultats d'examens comparatifs, il a été vu dans ce chapitre que la valeur probante peut être conceptualisée au moyen d'éléments de la théorie des probabilités. Ces aspects - la composante purement technique des analyses en laboratoire ainsi que la formalisation mathématique de l'étape interprétative - sont souvent considérés comme l'expression d'une approche « objective » de l'exploitation de l'élément scientifique en matière d'armes à feu. Le présent chapitre cherche cependant précisément à éviter une telle suggestion en préconisant un regard pondéré et vigilant.

Notons d'abord que l'ensemble du processus d'administration et d'exploitation des traces forensiques n'est pas objectif, car il n'est pas indépendant du jugement humain. Par exemple, il existe une différence nette entre une observation (brute) effectuée sur un projectile indiciaire et les caractéristiques effectivement possédées par l'arme utilisée pour le tirer<sup>30</sup>. Cette dernière étant en principe indisponible, il n'est pas possible de parler de la « détermination » des caractéristiques de cette arme. On ne peut ainsi parler que de caractéristiques « inférées ». Ceci est illustré par le fait qu'un examinateur devra faire appel à son jugement personnel afin d'apprécier (1) les traits présents sur un objet porteur de traces qui sont indicatifs de la configuration analytique de la source de la trace (p. ex. un canon) considérée et (2) le type de caractéristiques dont il s'agit (p. ex. stigmates, caractéristiques de classe et de sous-classe, cf. § 9.3).

---

<sup>30</sup> A titre d'exemple, notons ici également le phénomène bien connu par les praticiens qui consiste à percevoir différents aspects par la simple modification de l'éclairage (l'angle ou l'intensité) d'une trace donnée (p. ex. sous un microscope comparateur).

A titre de comparaison, il convient de signaler - dans ce même ordre d'idée - que la valeur probante d'une trace ADN peut certes s'exprimer à l'aide d'arguments mathématiques élégants, mais que des résultats particuliers (sous forme de valeurs numériques) dépendent entièrement des présupposés sous-jacents, intervenant au niveau de la spécification qualitative et quantitative d'un modèle. Or, l'admissibilité de présupposés est une question d'opinion qui ne peut exister que dans un cadre de jugement personnel ; dans le meilleur des cas, elle revient à un consensus au sein d'une communauté scientifique. Il en découle que dans la science forensique, les notions de science exacte et d'objectivité sont illusoire [Evet, 1996]. Autrement dit, pour reprendre les termes de l'un des grands partisans de l'approche probabiliste subjectiviste de l'incertitude, « l'objectivité, ce n'est rien d'autre que la subjectivité à laquelle tout le monde adhère »<sup>31</sup> [Lindley, 2004]. Ceci permet également d'insister sur la nature personnelle de la modélisation : un modèle exprime la réflexion d'un analyste sur la réalité, sans décrire l'analyste lui-même ou le monde qui l'entoure, mais uniquement la relation entre l'analyste et ce monde.

#### **4.7.2. Le « problème » de l'individualisation**

Lorsqu'un examinateur « juge » qu'un projectile indiciaire présente de nombreuses correspondances hautement signalétiques avec des projectiles tirés sous des conditions contrôlées par une arme de comparaison, une pratique largement répandue - séduisant également largement les destinataires de l'expertise forensique (tels que les avocats et les juges) - veut qu'il soit possible de conclure de manière catégorique que cette arme est effectivement à l'origine des traces observées, à l'exclusion de toute autre source potentielle. Il se pose dès lors la question de savoir dans quelle mesure une telle pratique peut être conciliée avec une perspective probabiliste. Plus particulièrement, il est intéressant d'examiner les conditions qui, selon cette dernière perspective, devraient être remplies pour permettre une conclusion par rapport à des hypothèses concernant la source d'un élément de munition indiciaire. La discussion proposée ci-après examinera dans quelle mesure on peut raisonnablement admettre que ces conditions peuvent être remplies dans des cas réels.

En considérant l'équation 4.3, on constate que l'approche probabiliste stipule une valeur probante maximale lorsque le rapport de vraisemblance est infini. Une telle situation serait réalisée lorsque le dénominateur du rapport de vraisemblance tend vers zéro. Concrètement, il faudrait pouvoir admettre que l'élément considéré - typiquement l'observation d'un ensemble de similitudes et différences au niveau d'une configuration analytique donnée - ne se réalise jamais si ce que l'on cherche à prouver n'est pas vrai ; c'est-à-dire la situation dans laquelle une autre arme est à la source de la trace. Il convient donc de s'interroger si une telle affirmation peut raisonnablement être soutenue en dehors d'un cadre purement théorique.

Il s'avère que la réponse à cette question ne peut guère être positive. Bien que dans le domaine de l'expertise des armes à feu et des éléments de munitions les configurations analytiques observables puissent, dans certains cas, être « jugées » extrêmement rares, de telles appréciations s'expriment à l'aide de probabilités, issues de considérations sur l'occurrence de configurations analytiques dans une population d'intérêt, ou d'observations faites dans des cas antérieurs présentant des caractéristiques et circonstances comparables. Or, d'habitude, il ne s'agit pas de fréquences effectivement observées, mais de valeurs obtenues selon un modèle donné<sup>32</sup>, en fonction d'un jeu de données disponible<sup>33</sup>, mais souvent limité. En conséquence,

---

<sup>31</sup> Traduction libre de « *Objectivity is merely subjectivity when nearly everyone agrees* » [Lindley, 2004].

<sup>32</sup> Ceci est typiquement le cas lorsqu'on a besoin de procéder à une assignation de valeur à l'aide d'une fonction de distribution de probabilités donnée, un point soulevé dans l'exemple discuté au paragraphe 9.5.4.

<sup>33</sup> Contrairement à d'autres domaines forensiques, tels que l'ADN, des collections de données pertinentes font à l'heure actuelle encore largement défaut dans le domaine des traces sur des éléments de munition.

même si dans certains cas des valeurs numériques ainsi dérivées peuvent s'approcher de zéro, ceci n'implique pas que ces valeurs puissent effectivement atteindre zéro - et ce d'autant plus qu'il est difficile d'étudier (empiriquement) la robustesse des valeurs de plus en plus infimes.

La problématique de l'individualisation peut également être abordée sous un autre angle : pour qu'il soit établi qu'une certaine arme à feu est à la source d'une trace, il faut que toutes les sources alternatives soient exclues. Mais à cet égard aussi, une réponse affirmative s'avère pratiquement impossible. En effet, on ne peut pas concevoir de moyen théorique ni de moyen pratique, pour exclure toutes les sources alternatives. Cette impossibilité s'impose d'ailleurs de façon analogue dans d'autres domaines forensiques, tels que les traces papillaires [Champod et Evett, 2001] ou les traces d'ADN [Taroni et Biedermann, 2010]. Mise à part des situations impliquant un nombre restreint de sources potentielles (situations dites de « huis clos », ou « *closed-set* »), disponibles pour le travail d'expertise, on ne peut jamais examiner, dans le cas extrême, les empreintes de comparaison (ou le profil ADN) de toutes les personnes sur la terre<sup>34</sup> ou les marques de tous les outils (armes à feu) ayant pu laisser une trace donnée.

Au vu des difficultés à satisfaire les exigences précitées, un argument souvent invoqué est que la probabilité d'une correspondance fortuite est suffisamment faible pour pouvoir être négligée en pratique, avec un degré raisonnable de « certitude scientifique ». Ce point de vue ignore cependant d'emblée des questions fondamentales liées à l'individualisation soulevées ci-dessus, car il supprime toute incertitude restante. A l'heure actuelle, l'argument est tout de même tacitement invoqué dans la pratique de bon nombre de disciplines forensiques qui prétendent pouvoir atteindre des identifications. Il convient toutefois de signaler qu'il ne s'agit là aucunement d'une *démonstration* d'identification, mais d'une pure conviction personnelle : l'expert se « convainc » d'avoir réalisé une identification [Stoney, 1991]. Le problème posé par cette conclusion n'est pas qu'il s'agit d'un état d'esprit individuel, mais bien que cette étape d'inférence ne résulte pas d'un processus qui puisse être qualifié de scientifique - contrairement à ce que l'expression ambiguë « certitude scientifique »<sup>35</sup> pourrait suggérer. Le caractère non scientifique de cette conclusion est dû à une suppression d'incertitude qui va au-delà de ce que les données disponibles permettent d'affirmer. L'acceptation d'une telle conclusion repose ainsi sur la seule conviction que l'application du modèle d'inférence choisi reste valide dans une région d'application qui ne se prête pas à une validation directe ou empirique.

De manière analogue à d'autres branches forensiques, telles que l'ADN, l'expert ne peut donc pas considérer qu'il est en mesure d'apporter de solution « définitive » en matière d'individualisation d'objets sur la base de traces physiques. Il paraît alors plus approprié de considérer que l'élément scientifique ne déploie ses effets qu'en tant que facteur réducteur sur une population cible (c'est-à-dire la population d'objets soupçonnables), sans pour autant amener à la singularisation d'un objet particulier. La capacité à discriminer entre des sources potentielles dépend essentiellement des présupposés admis. C'est là que s'ouvre un champ d'action pour le destinataire de l'information scientifique. Il peut en effet être important pour les parties impliquées d'influencer l'appréciation de l'admissibilité des présupposés ainsi que les étapes d'inférence autorisées.

Enfin, il convient également de soulever l'impact d'un indice scientifique sur la probabilité d'hypothèses concurrentielles, conceptualisé au travers du rapport de vraisemblance, ne

---

<sup>34</sup> La référence à la population mondiale est régulièrement soulevée dans des discours visant à singulariser une personne ou un outil comme étant la source d'une trace donnée. Sur ce sujet, notons que d'un point de vue pratique, cette exigence est souvent plus élevée que nécessaire. Dans bien des cas, le cercle des personnes ou des objets soupçonnables peut raisonnablement être restreint en fonction des éléments circonstanciels d'un cas.

<sup>35</sup> Tout comme l'expression « objectivité », discutée dans le paragraphe 4.7.1, la notion de « certitude scientifique » est illusoire. Elle ne peut pas exister sans un cadre de présupposés particuliers.

représente qu'une partie de l'approche probabiliste. L'équation 4.3 fait également intervenir des probabilités a priori, fort déterminantes pour les probabilités « finales » (a posteriori). Outre la constatation que les probabilités a priori sont du ressort des magistrats et des tribunaux, car ce sont ces derniers qui ont accès à la totalité des informations en lien avec une investigation, il est important de noter qu'elles peuvent aller fortement à l'encontre du rapport de vraisemblance. Ceci peut être le cas lorsque l'autorité d'instruction dispose de peu ou d'aucune information sur l'arme utilisée. Ainsi, la source potentielle pourrait être presque n'importe quelle arme à feu au sein d'une population donnée - la probabilité a priori en faveur de l'hypothèse  $H_a$ , concernant une arme donnée, est donc faible. En conséquence, un rapport de vraisemblance d'une valeur importante est nécessaire pour arriver à une probabilité a posteriori élevée.

#### **4.7.3. Le cadre normatif décisionnel : l'individualisation comme décision**

Au vu de ce qui précède, il s'avère que l'individualisation peut être vue comme un « processus » d'inférence cherchant à réviser la probabilité d'hypothèses d'intérêt, tandis qu'une individualisation « catégorique » en tant que telle se présente comme le résultat extrême de ce processus. Un tel résultat est cependant inatteignable et non justifiable sur un plan scientifique, car il ne peut pas être réalisé sans l'élimination « délibérée » d'un degré d'incertitude restant. A proprement parler, il s'agit là d'une « décision » dont la formalisation ne peut pas être achevée avec la seule théorie des probabilités. Les quelques recherches consacrées à ce sujet s'accordent à considérer que des concepts supplémentaires, faisant avant tout appel à la théorie de la décision, sont nécessaires [Kaplan, 1968 ; Lempert, 1977 ; Kaye, 1999]. Transposée au contexte de l'individualisation d'objets, cette approche, normative tout comme la théorie des probabilités [Biedermann *et al.*, 2020], requiert de la personne responsable de la décision de spécifier une matrice indiquant la valeur relative (utilités ou pertes) de toutes les conséquences des décisions possibles, y compris celle de l'individualisation [Biedermann *et al.*, 2008, 2016]. En termes d'utilités, ces quantifications seront maximales pour des décisions correctes, telles qu'une individualisation (ou une exclusion) si, effectivement, l'objet examiné est (ou n'est pas) à la source de la trace considérée. Une fausse individualisation reçoit un score minimal tandis qu'à une fausse exclusion sera attribuée une valeur intermédiaire, reflétant des préférences personnelles. Pour une décision donnée, par exemple une individualisation, cette approche permet ensuite de calculer l'utilité espérée, en faisant intervenir une pondération en fonction de la probabilité attachée à l'hypothèse selon laquelle l'objet examiné (p. ex. l'arme d'une personne d'intérêt) est la source de la trace. Le décideur choisira ensuite la ou les décision(s) menant à la valeur espérée maximale. Cette approche présente l'avantage d'être transparente et logique, clarifiant les préférences et attitudes de la personne responsable d'une décision, tout en évitant des suppressions délibérées d'incertitudes. Même si l'approche a déjà été proposée il y a au moins une quarantaine d'années [Kaplan, 1968], sa considération en tant qu'aide à la modélisation du processus d'inférence et de prise de décision en science forensique en est toujours à ses débuts [Bender *et al.*, 2007 ; Biedermann *et al.*, 2008, 2016, 2018 ; Biedermann et Vuille, 2018 ; Cole et Biedermann, 2020 ; Taroni *et al.*, 2005, 2010, 2021].

## 4.8. Bibliographie

**Aitken CGG** (1994). *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists*. 1ère édition, Chichester : John Wiley & Sons.

**Aitken CGG, Roberts P, Jackson G** (2010). *Fundamentals of Probability and Statistical Evidence in Criminal Proceedings, Guidance for Judges, Lawyers, Forensic Scientists and Expert Witnesses*, Royal Statistical Society's Working Group on Statistics and the Law.

**Aitken CGG, Taroni F, Bozza S** (2020). *Statistics and the Evaluation of Evidence for Forensic Scientists*. 3ème édition, Chichester : John Wiley & Sons.

**Association of Forensic Science Providers** (2009). *Standards for the formulation of evaluative forensic science expert opinion*. *Science & Justice*, 49(3), 161-164.

**Aven T, Reniers G** (2013). *How to define and interpret a probability in a risk and safety setting*. *Safety Science*, 51, 223-231.

**Bayes T** (1970). *An essay towards solving a problem in the doctrine of chances, 1763*. In Pearson E.S. et Kendall M.G. (Eds.), *Studies in the History of Statistics and Probability*, Vol. 1, Londres : Griffin, pp. 134-153.

**Bender R, Nack A, Treuer WD** (2007). *Tatsachenfeststellung vor Gericht*, C.H. Beck, Munich, 2007.

**Biasotti AA, Murdock J** (1984). "Criteria for identification" or "Stat of the art" of firearm and toolmark identification. *AFTE Journal*, 16-24.

**Biedermann A** (2007). *Bayesian networks and the evaluation of scientific evidence in forensic science*, Thèse de doctorat, Université de Lausanne, Lausanne.

**Biedermann A, Bozza S, Taroni F** (2008). *Decision theoretic properties of forensic identification: underlying logic and argumentative implications*. *Forensic Science International*, 177, 120-132.

**Biedermann A, Bozza S, Taroni F** (2016). *The decisionalization of individualization*. *Forensic Science International*, 266, 29-38.

**Biedermann A, Bozza S, Taroni F** (2020). *Normative decision analysis in forensic science*. *Artificial Intelligence and Law*, 28, 7-25.

**Biedermann A, Bozza S, Taroni F, Aitken CGG** (2017a). *The consequences of understanding expert probability reporting as a decision*. *Science & Justice*, 57(1), 80-85.

**Biedermann A, Bozza S, Taroni F, Aitken CGG** (2017b). *The meaning of justified subjectivism and its role in the reconciliation of recent disagreements over forensic probabilism*. *Science & Justice*, 57(1), 477-483.

**Biedermann A, Bozza S, Taroni F, Garbolino P** (2018). *A formal approach to qualifying and quantifying the 'goodness' of forensic identification decisions*. *Law, Probability and Risk*, 17, 295-310.

**Biedermann A, Taroni F** (2006a). *Bayesian networks and probabilistic reasoning about scientific evidence when there is a lack of data*. *Forensic Science International*, 157, 163-167.

**Biedermann A, Taroni F** (2006b). *A probabilistic approach to the joint evaluation of firearm evidence and gunshot residues*. *Forensic Science International*, 163, 18-33.

**Biedermann A, Vuille J** (2018). *Understanding the logic of forensic identification decisions (without numbers)*. *sui-generis*, 397-413.

- Bunch SG** (2000). *Consecutive matching striation criteria: A general critique*. Journal of Forensic Sciences, 45, 955-962.
- Champod C, Evett IW** (2001). *A probabilistic approach to fingerprint evidence*. Journal of Forensic Identification, 51, 101-122.
- Champod C, Taroni F** (1993). *Les préjugés de l'accusation ou de la défense dans l'évaluation de la preuve technique*. Revue Pénale Suisse, 111, 223-235.
- Cole SA, Biedermann A** (2020). *How can a forensic result be a "decision"? A critical analysis of ongoing reforms of forensic reporting formats for federal examiners*. Houston Law Review, 57, 551-592.
- Cook R, Evett IW, Jackson G, Jones PJ, Lambert JA** (1998). *A model for case assessment and interpretation*. Science & Justice, 38(3), 151-156.
- Cook R, Evett IW, Jackson G, Jones PJ, Lambert JA** (1998a). *A hierarchy of propositions: Deciding which level to address in casework*. Science & Justice, 38(4), 231-239.
- Cornfield J** (1967). *Bayes theorem*. Review of the International Statistical Institute, 35, 34-49.
- de Finetti B** (1993). *The role of probability in the different attitudes of scientific thinking*. In Monari P. et Cocchi D. (Eds.), *Bruno de Finetti, Probabilità e induzione*, Bologne : Bibliotheca di Statistica, pp. 491-511.
- de Finetti B** (1989). *Probabilism*. Erkenntnis, 31, 169-223.
- Eggleston R** (1983). *Evidence, Proof and Probability*. Londres : Weidenfeld et Nicolson.
- 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/m1\\_guideline.pdf](http://enfsi.eu/wp-content/uploads/2016/09/m1_guideline.pdf)
- Evett IW** (1987). *Bayesian inference and forensic science: problems and perspectives*. The Statistician, 36, 99-105.
- Evett IW** (1990). *The theory of interpreting scientific transfer evidence*. Forensic Science Progress, Vol. 4, Berlin : Springer-Verlag, 141-179.
- Evett IW** (1991). *Interpretation: a personal odyssey*, in : Aitken C., Stoney D. A. (eds.), *The Use of Statistics in Forensic Science*, Ellis Horwood, New York, pp. 9-22.
- Evett IW** (1996). *Expert evidence and forensic misconceptions of the nature of exact science*. Science & Justice, 36(2), 118-122.
- Evett IW, Berger CEH, Buckleton JS, Champod C, Jackson G** (2017). *Finding the way forward for forensic science in the US - A Commentary on the PCAST Report*. Forensic Science International, 278, 16-23.
- Evett IW, Jackson G, Lambert JA, McCrossan S** (2000). *The impact of the principles of evidence interpretation and the structure et content of statements*. Science & Justice, 40(4), 233-239.
- Evett IW, Lambert JA, Buckleton JS** (1998). *A Bayesian approach to interpreting footwear marks in forensic casework*. Science & Justice, 38(4), 241-247.
- Evett IW, Weir BS** (1998). *Interpreting DNA Evidence*, Sunderland : Sinauer Associates Inc.
- Fienberg SE** (2003). *When did Bayesian inference become "Bayesian"?* Bayesian Analysis, 1, 1-41.

- Imwinkelried EJ** (1992). *The Methods of Attacking Scientific Evidence*. Charlottesville : The Michie Company.
- Jackson G** (2000). *The scientist and the scales of justice*. *Science & Justice*, 40(2), 81-85.
- Jackson G, Aitken CGG, Roberts P** (2014). *Case Assessment and Interpretation of Expert Evidence, Guidance for Judges, Lawyers, Forensic Scientists and Expert Witnesses*. Royal Statistical Society's Working Group on Statistics and the Law.
- Jackson G, Aitken CGG, Roberts P** (2015). *Case Assessment and Interpretation of Expert Evidence (Practitioner Guide No. 4), Guidance for Judges, Lawyers, Forensic Scientists and Expert Witnesses*. Royal Statistical Society's Working Group on Statistics and the Law. Consulté à partir de <https://rss.org.uk/RSS/media/File-library/Publications/rss-case-assessment-interpretation-expert-evidence.pdf>.
- Jeffreys H** (1983). *Theory of Probability*, 3<sup>ème</sup> édition, Oxford : Clarendon Press.
- Jensen FV, Nielsen TD** (2007). *Bayesian Networks and Decision Graphs*. 2<sup>ème</sup> édition, New York : Springer.
- Juchli P, Biedermann A, Taroni F** (2012). *Graphical probabilistic analysis of the combination of items of evidence*. *Law, Probability and Risk*, 51, 51-84.
- Kahneman D, Slovic P, Tversky A** (Eds.) (1982). *Judgement Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge : Cambridge University Press.
- Kaplan J** (1968). *Decision theory and the factfinding process*. *Stanford Law Review*, 20, 1065-1092.
- Kaye DH** (1999). *Clarifying the burden of persuasion: what Bayesian decision rules do and do not do*. *The International Journal of Evidence & Proof*, 3, 1-29.
- Kirk PL, Kingston CR** (1964). *Evidence evaluation and problems in general criminalistics*. 16th Annual Meeting of the American Academy of Forensic Sciences, Chicago.
- Kjærulff UB, Madsen AL** (2008). *Bayesian networks and Influence Diagrams, A Guide to Construction and Analysis*. New York : Springer.
- Lee PM** (2004). *Bayesian statistics, An Introduction*. 3<sup>ème</sup> édition, Londres : Arnold.
- Lempert RO** (1997). *Modeling relevance*. *Michigan Law Review*, 75, 1021-1057.
- Lindley DV** (1991). *Probability*. In Aitken C.G.G. et Stoney D.A. (Eds.). *The Use of Statistics in Forensic Science*. New York : Ellis Horwood, pp. 27-50.
- Lindley DV** (2006). *Understanding Uncertainty*. Hoboken : John Wiley & Sons.
- Locard E** (1920). *L'enquête criminelle et les méthodes scientifiques*. Paris : Flammarion.
- Margot P** (2000). *A question of time*. *Science & Justice*, 40(2), 64-71.
- Moreillon L, Vuille J, Biedermann A, Champod C** (2017). *Les nouvelles lignes directrices du European Network of Forensic Science Institutes en matière d'évaluation et de communication des résultats d'analyses et d'expertises scientifiques*. *forumpenale*, pp. 105-110.
- Naïm P, Wullemmin PH, Leray P, Pourret O, Becker A** (2004). *Réseaux Bayésiens*. Paris : Eyrolles.

**National Commission on Forensic Science (NCFS)** (2015). Views document on ensuring that forensic analysis is based upon task-relevant information. Consulté à partir de <https://www.justice.gov/archives/ncfs/file/818196/download>.

**Nordgaard A, Ansell R, Drotz W, Jaeger L** (2012). *Scale of conclusions for the value of evidence*. Law, Probability and Risk, 11, 1-24.

**Pearl J** (2020). *The Book of Why: The New Science of Cause and Effect*. New York : Basic Books.

**Ramsey FP** (1990). *Truth and probability (1926)*. In Mellor D. H. (Ed.), *Philosophical Papers*. Cambridge : Cambridge University Press, pp. 52-109.

**Redmayne M** (2001). *Expert Evidence and Criminal Justice*. Oxford : Oxford University Press.

**Robertson B, Vignaux GA** (1995). *Interpreting Evidence. Evaluating Forensic Science in the Courtroom*. Chichester : John Wiley & Sons.

**Salmon WC** (1966). *The Foundations of Scientific Inference*. Pittsburgh : University of Pittsburgh Press.

**Schum DA** (1994). *Evidential Foundations of Probabilistic Reasoning*. New York : John Wiley & Sons.

**Stoney DA** (1991). *What made us ever think we could individualize using statistics?* Journal of the Forensic Science Society, 31, 197-199.

**Taroni F, Aitken CGG** (1998). *Probabilités et preuve par ADN dans les affaires civiles et criminelles. Questions de la cour et réponses fallacieuses des experts*. Revue Pénale Suisse, 116, 291-313.

**Taroni F, Aitken CGG, Garbolino P** (2001). *De Finetti's subjectivism, the assessment of probabilities and the evaluation of evidence: A commentary for forensic scientists*. Science & Justice, 41(3), 145-150.

**Taroni F, Biedermann A** (2010). *La valeur probante de l'indice ADN : juristes et scientifiques face à l'incertitude et aux probabilités*. In Tappy D. (Ed.). *300 ans d'enseignement du droit à Lausanne. Recherches juridiques lausannoises*. Genève : Schulthess, pp. 337-374.

**Taroni F, Biedermann A, Bozza S, Garbolino P, Aitken CGG** (2014). *Bayesian Networks and Probabilistic Inference in Forensic Science*. 2ème édition, Chichester : John Wiley & Sons.

**Taroni F, Bozza S, Biedermann A, Garbolino G, Aitken CGG** (2010). *Data Analysis in Forensic Science: a Bayesian Decision Perspective*. Chichester : John Wiley & Sons.

**Taroni F, Bozza S, Biedermann A** (2021). *Decision theory*. In Banks D. L., Kafadar K., Kaye D. H. et Tackett M. (Eds.). *Handbook of Forensic Statistics*, Chapman & Hall/CRC Handbooks of Modern Statistical Methods, Chapter 5, pp. 103-130.

**Taroni F, Garbolino P, Biedermann A, Aitken CGG, Bozza S** (2018). *Reconciliation of subjective probabilities and frequencies in forensic science*. Law, Probability and Risk, 17, 243-262.

**Thompson WC, Schumann EL** (1987). *Interpretation of statistical evidence in criminal trials: The prosecutor's fallacy and the defense attorney's fallacy*. Law et Human Behaviour, 11, 167-187.