Quand les maths débarquent dans les tribunaux

Leila Schneps

Institut de mathématiques de Jussieu

Les maths débarquent dans les tribunaux ! Grâce aux nouvelles techniques d'analyse scientifique de tous les types de traces laissées sur une scène de crime, elles constituent d'ores et déjà un élément incontournable des procès.

Les résultats des expertises sont de nature probabiliste !

Pourquoi les maths, alors que ce sont entre autres la chimie, la biologie, la génétique, les sciences de l'ingénieur qui permettent de réaliser les analyses des indices matériels ? Parce que la plupart du temps ces autres sciences fourniront des résultats de type probabiliste. Une empreinte pourra être identifiée comme provenant d'un certain type de chaussure ; au vu des traces d'usure, on pourra même effectuer une comparaison avec la botte du suspect, mais là aussi, à moins d'avoir une trace exceptionnellement détaillée, la comparaison ne donnera en fin de compte qu'une probabilité d'identité.

Même les analyses ADN, réputées pour produire des résultats d'identification au-delà de tout doute possible, peuvent donner lieu à de nombreuses difficultés dans les cas d'échantillons mixtes, dégradés ou disponibles en quantité très réduite. Les gendarmes affectés aux analyses en laboratoire des échantillons d'ADN provenant de scènes de crime l'affirment : le résultat est suffisamment clair pour indiquer un coupable au-delà de tout doute raisonnable dans moins d'un cas sur dix. Vous vous en souvenez peut-être : de l'attentat d'Omagh de 1998 en Irlande à l'accusation de meurtre lancée en 2007 contre la jeune Américaine Amanda Knox, les analyses de faibles traces d'ADN ont donné lieu à des débats acharnés entre experts incapables de se mettre d'accord.

Il est donc fréquent qu'un fait concret, scientifiquement établi, apporte un renseignement sur la culpabilité éventuelle d'un suspect, sans que ni les experts scientifiques, ni le juge, ni les avocats, ni les membres du jury, sans parler de l'accusé lui-même ou du public, sachent véritablement expliquer la portée dudit renseignement. Oui, le mélange d'ADN trouvé sur le vêtement du cadavre contient certains allèles en commun avec ceux du présumé meurtrier. Oui, l'écriture de l'accusé a des points communs avec celle de la lettre de menaces. Mais que peut-on en conclure ? Quel est le véritable poids de ces preuves, à charge ou à décharge de l'accusé ?

Bien comprendre la notion d'évènements indépendants

Le système judiciaire s'attend à ce que les membres du jury se fient à leur seul instinct. Ce système, en place depuis des siècles, vise à contrebalancer les effets d'ignorance et de préjugés des individus en les plaçant au sein d'un groupe hétérogène, afin de parvenir à un jugement le plus objectif possible. Mais ce système présente un problème dans les cas, de plus en plus fréquents, où une thèse (accusation ou défense) utilise des arguments basés sur des probabilités. Les probabilités sont souvent terriblement contre-intuitives, et les penser correctement est un exercice subtil qui nécessite un certain entraînement.

Voici un exemple frappant pour vous en convaincre. Pour déterminer la probabilité que deux évènements se produisent, sachant la probabilité de chacun d'entre eux, il ne faut multiplier les deux probabilités que lorsque les deux évènements sont totalement indépendants. Le sexe d'un enfant à naître semble être un évènement indépendant de toute autre naissance (excluons le cas de jumeaux identiques, ou toute autre particularité génétique qui peut influer sur cette question). Acceptant donc cette indépendance, proposons l'énigme suivante : vous apprenez par hasard que votre interlocuteur a deux enfants, dont un garçon. Quelle est la probabilité que l'autre enfant soit une fille ?

Si vous répondez immédiatement « *Une chance sur deux !* », vous avez tort. En effet, les parents de deux enfants sont équitablement répartis en quatre groupes : GG, GF, FG et FF (G désigne un garçon, F une fille). Si votre interlocuteur a un garçon, c'est qu'il appartient aux 75 % de la population représentés par les groupes GG, GF et FG. Il y a donc deux chances sur trois (et non une chance sur deux) que l'autre enfant soit une fille !

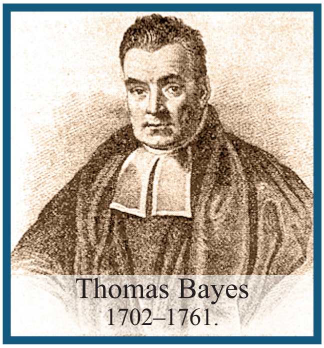
Notre intuition nous fourvoie dès qu'il est question de probabilités. Dans le cadre d'un procès, souvent tout le monde se fourvoie dans le même sens… Que de condamnations parce que le jury, aidé seulement par son intuition, s'est laissé convaincre que deux bébés dans une même famille ne pouvaient pas être tous les deux victimes de mort subite du nourrisson ! ou que telle infirmière ne pouvait pas avoir été purement par hasard présente à toutes les morts au sein de l'hôpital où elle travaillait !

Inversement, que de personnes acquittées parce que le jury avait trop de mal à incarner, dans l'être humain assis devant eux, une puissante improbabilité théorique d'un évènement ! On pense à cet homme, accusé du crime d'avoir tiré depuis sa voiture sur deux jeunes gens, mais acquitté malgré la lourde charge que constituait un taux de poudre résiduelle de tir deux cents fois plus élevé que celui trouvé typiquement dans une voiture de chasseur, explication présentée par la défense pour justifier la présence de ces résidus. Ou alors à cette jeune mère américaine acquittée du meurtre de sa fille de 3 ans : elle avait omis de prévenir la police pendant un mois après la disparition de sa fille, abreuvant ses parents, ses amis et la police d'un flot de mensonges, facilement démontés ; en outre, son propre père, ex-policier, avait témoigné avoir senti une forte odeur de cadavre décomposé dans le coffre de la voiture de sa fille. La raison de l'acquittement ? La reconstitution du meurtre présentée par l'accusation contenait des éléments mineurs non démontrés par des faits avérés, mais justifiés par un raisonnement probabiliste, qui laissait aux yeux du jury la place à un doute raisonnable.

La science face au doute : le raisonnement bayésien

Une méthode existe pour incorporer des analyses scientifiques qui ne donnent qu'un renseignement probabiliste au sujet d'un crime particulier dans la pensée a priori intuitive d'un membre du jury. Elle s'appelle le raisonnement bayésien, et se réalise mathématiquement au moyen de réseaux bayésiens. On trouve actuellement des logiciels de réseaux bayésiens très performants, développés par des chercheurs en statistiques, destinés à être utilisés plutôt pendant la phase de l'instruction ou au cours du travail d'un expert avec les avocats que devant le jury. Pour le moment, ils sont peu utilisés car ils soulèvent surtout de l'inquiétude et des soupçons de la part des juristes.

Comment ça marche ? Essentiellement, la méthode consiste à proposer une estimation de probabilité subjective de culpabilité de façon traditionnelle, intuitive, basée sur la présentation des preuves non scientifiques, puis d'utiliser la formule de Bayes pour incorporer une preuve de nature purement probabiliste dans cette estimation, de façon à la « mettre à jour ».



La version de la *formule de Bayes* appliquée le plus souvent aux preuves scientifiques lors d'un procès est la dernière formule proposée en encadré. Pour comprendre son application dans des situations vraies, il faut considérer que l'évènement C correspond à « L'accusé est coupable », alors que l'évènement T correspond à « Cette trace précise a été trouvée sur la scène du crime ». T peut indiquer, par exemple, la présence sur la scène du crime d'une fibre de laine ou de coton, d'une trace de sang d'un groupe sanguin donné, d'une empreinte digitale avec certaines caractéristiques particulières, une trace de chaussure ayant telles particularités qui permettent d'en identifier la taille et la marque, ou alors d'un échantillon d'ADN.

En général, l'accusé correspondra à la trace laissée, car sinon – s'il possède un autre groupe sanguin ou un ADN différent ou une taille de chaussures plus petite… – il ne serait pas l'accusé. La probabilité P(T si C) est donc considérée comme ayant la valeur 1, puisqu'elle mesure la probabilité que si l'accusé est bien le coupable, c'est lui qui aurait laissé la trace. La formule de Bayes se simplifie alors :

$$P(C \text{ si } T) / P(\text{non } C \text{ si } T) = P(C) / [P(T \text{ si non } C) \times (1 - P(C))].$$

La probabilité P(T si non C) mesure la probabilité qu'une trace du type T peut être présente si l'accusé n'est pas le coupable, c'est-à-dire la probabilité de trouver la trace T dans la population générale. C'est un élément purement numérique, indépendant de l'accusé et de tout autre élément de preuve, qui sera apporté par un expert scientifique. La probabilité P(C) représente la probabilité *a priori* de culpabilité de l'accusé, c'est-à-dire une probabilité subjective formulée indépendamment par chaque juré après avoir entendu, lors du procès, toutes les preuves de nature non scientifique. Le fait de prendre cette estimation initiale P(C), subjective, de culpabilité et de la multiplier par le facteur $1 / [P(T \text{ si non } C) \times (1 - P(C))]$ est la méthode bayésienne de « mise à jour ».

Le résultat de cette opération est le quotient P(C si T) / P(non C si T), qui évalue d'une part la probabilité que l'accusé soit coupable étant données (*i*) la présence de la trace T, (*ii*) l'estimation préalable de culpabilité P(C), (*iii*) l'information scientifique, et d'autre part la probabilité que l'accusé soit non coupable étant donnés les même trois éléments. Plus le quotient s'avère grand, plus l'information scientifique s'avérera avoir été à charge de l'accusé. Plus le quotient est petit (inférieur à 1), plus l'apport scientifique est à sa décharge.

Du bon usage de la formule de Bayes

La formule de Bayes est dérivée d'une identité simple concernant la probabilité que deux évènements, T et C, se produisent en même temps. Cette probabilité s'écrit P(C et T), et est égale au produit P(C si T) × P(T), où P(C si T) indique la probabilité que C survient étant donné que T est survenu. Par ailleurs, P(T) est la probabilité de l'évènement T. Comme T et C jouent un rôle symétrique dans la probabilité P(C et T), nous avons également la formule suivante :

P(C et T) = P(T si C) × P(C).

On en déduit l'égalité P(C si T) × P(T) = P(T si C) × P(C),

ou encore, en divisant les deux côtés par P(T) :

Formule de Bayes : P(C si T) = P(T si C) × P(C)/P(T).

Si on note «non C» l'évènement opposé à C, soit «C n'est pas survenu», la probabilité P(non C) est égale à 1 – P(C). Il peut être intéressant de comparer P(C) à P(non C) au moyen du quotient P(C) / P(non C). Si ce quotient est supérieur à 1, c'est que C est plus probable que non C, et *vice versa* si le quotient est inférieur à 1.

Si l'on applique maintenant la formule de Bayes aux évènements T et non C, on obtient : P(non C si T) = P(T si non C) × P(non C) / P(T), ce qui permet de calculer le quotient P(C si T) / P(non C si T), égal à P(T si C) × P(C) / [P(T si non C) × (1 – P(C))].

La place des probabilités dans l'appareil judiciaire

Cela peut paraître purement théorique, mais cette formule est d'ores et déjà utilisée dans de nombreux procès ! Voyons un cas réellement jugé. Rentrant d'une sortie nocturne avec des amis, une jeune femme, *Mlle M.*, est abordée par un homme qui lui demande l'heure, puis l'attaque et la viole. La police obtient un échantillon de l'ADN de l'agresseur suffisamment précis pour n'appartenir qu'à un individu sur deux cents millions. Les enquêteurs obtiennent de plus les renseignements suivants de la part de *Mlle M.* : l'agresseur était de race blanche, il avait environ 25 ans et parlait avec l'accent local. Elle a assuré pouvoir le reconnaître facilement si jamais on le retrouvait.

Dans un premier temps, il fut impossible de mettre la main sur un suspect plausible. Au bout de deux ou trois ans, une correspondance fut trouvée entre l'échantillon d'ADN et un autre échantillon, ajouté récemment dans une base de données. L'individu fut donc arrêté, mais *Mlle M.* ne l'a pas identifié, soutenant qu'il était beaucoup trop vieux (il avait 37 ans) et ne ressemblait pas à l'homme dont elle se souvenait. De plus, il avait un alibi, fourni par son amie, qui soutenait avoir passé la nuit en question avec lui.

Le jury s'est donc trouvé confronté à un ensemble de preuves allant toutes dans le sens de la défense : la non-identification, l'erreur sur l'âge, et l'alibi. La défense a présenté un témoin expert, qui a expliqué le théorème de Bayes au jury de la manière suivante. On commence par assigner des probabilités subjectives à toutes les preuves non scientifiques, en calculant le quotient de probabilité à chaque fois. Ainsi,

P(ne pas reconnaître si coupable) / P(ne pas reconnaître si innocent) = 1 / 10,
P(avoir un alibi si coupable) / P(avoir un alibi si innocent) = 1 / 2,
P(avoir accent local si coupable) / P(avoir accent local si innocent) = 1 / 200 000.

L'estimation *a priori*, subjective, de culpabilité peut être calculée : P(C) / P(non C) = 1/4 000 000, une présomption très forte d'innocence. On incorpore maintenant le quotient P(ADN trouvé si coupable) / P(ADN trouvé si innocent), égal à 200 000 000. En multipliant l'*a priori* par ce nombre, on obtient pour P(C) / P(non C) la nouvelle estimation 2 000 / 40, qui est à peu près égal à 50. L'avocat de la défense a argué qu'une chance de culpabilité cinquante fois plus grande que la chance d'innocence revient à une chance d'innocence d'à peu près P(non C) = 2 %, qu'il interprétait comme un doute raisonnable. Au vu des 98 % de chance d'être coupable, le jury a tout de même condamné l'accusé, mais le procès a été annulé en appel... sous prétexte que l'on ne peut pas donner un cours de maths au jury pour leur dire comment penser !

Si la science apporte de précieux renseignements, les probabilités peuvent fournir une méthode fiable pour les incorporer dans un raisonnement par ailleurs non scientifique. Mais elles sont rarement bien comprises, jusqu'à être parfois interdites de séjour dans les prétoires. Il reste à trouver la juste place de la théorie des probabilités au sein de l'appareil judiciaire.

L. S.

Pour en savoir (un peu) plus :

Les maths au tribunal. Quand les erreurs de calcul font les erreurs judiciaires.
Coralie Colmez et Leila Schneps, Le Seuil, 2015.