

Sciences Forensiques et Approche Bayésienne

Anne B Dufour

Janvier 2010

Sciences forensiques

les sciences forensiques* = la criminalistique

Ensemble de principes scientifiques et de méthodes techniques appliquées à l'investigation criminelle

- ▶ pour prouver l'existence d'un crime
- ▶ aider la justice à déterminer l'identité de l'auteur et son mode opératoire.

* vient du latin *forum* : place publique, lieu du jugement dans l'antiquité

Police technique

- ▶ fixer l'état des lieux où se sont produits les crimes et les délits
- ▶ rechercher les traces et les indices utiles à la manifestation de la vérité
- ▶ exploiter, par des méthodes comparatives, les éléments découverts
- ▶ identifier les malfaiteurs.

Police scientifique

...étudier en laboratoire les traces et indices directs ou indirects que tout individu porte en lui, abandonne ou recueille sur les lieux où se manifeste son comportement criminel.

- ▶ stupéfiants
- ▶ explosifs
- ▶ traces ADN
- ▶ autres traces biologiques (sang, urine, ...)
- ▶ balistique

Deux Figures historiques

Alphonse Bertillon
(1853-1914)



criminologue
inventeur de
l'anthropométrie criminelle

Edmond Locard
(1877-1966)



médecin légiste
fondateur à Lyon du premier
labo de police scientifique

Alphonse Bertillon

- ▶ 1879 : entre à la préfecture de police pour occuper un emploi obscur
- ▶ durant des mois, il établit des fiches signalétiques de malfaiteurs et se lance dans la conception d'un système de reconnaissance
- ▶ 1882 : expérimente son système durant 3 mois au Dépôt (à Paris)
- ▶ 20 février 1883 : première identification d'un récidiviste Lon Durand
- ▶ 1887 : 1187 identifications et création du premier service d'identification des détenus

Edmond Locard

24 janvier 1910 : Premier laboratoire de police scientifique dans deux pièces du grenier du palais de justice.

Avec de faibles moyens matériels et l'assistance de quelques policiers sans qualification, Locard développe des méthodes pour

- ▶ l'identification des armes à feu par les projectiles et les douilles retrouvées sur le terrain
- ▶ l'examen des serrures, des clefs, des coffres-forts
- ▶ l'analyse et l'identification des bombes et explosifs
- ▶ l'analyse des tâches de sang, de sperme
- ▶ l'analyse de la fausse monnaie, des poisons

et photographie l'invisible.

Lyon, centre historique de la criminalistique

Lyon possède le laboratoire historique de police technique et scientifique. Il est dirigé depuis le 1er janvier 2010 par le professeur J.R. Lobry, enseignant checheur à Lyon 1.



luminol 16 ou bluestar
développé par Loïc Blum
professeur de biochimie à Lyon 1
Laboratoire de Génie enzymatique et
biomoléculaire

Interprétation statistique

Interprétation statistique des indices et des preuves
(domaine des sciences forensiques le plus actif)



Démarche d'interprétation capable de gérer les subtilités
approche bayésienne

Formulation précise de deux hypothèses en concurrence
Défense H_D et Accusation H_P

La tâche de sang du boucher

Situation

On souhaite connaître la probabilité $P(sang)$ qu'une personne prise au hasard présente une tâche de sang sur ses vêtements. Cette probabilité est probablement plus élevée chez les bouchers. On pourrait être intéressé par la probabilité qu'un boucher présente une tâche de sang sur ses vêtements : $P(sang|boucher)$.

Méthode

C'est la notion de probabilité conditionnelle.

Georges Clooney est dans l'ascenseur

Situation

De passage à Paris, vous attendez devant une porte d'ascenseur d'un grand hôtel et vous entendez une personne (que vous ne voyez pas) parlant anglais dans l'ascenseur qui arrive à votre niveau.

Hypothèses

H_1 : C'est Georges Clooney qui est derrière la porte de l'ascenseur.

H_2 : C'est un parisien quelconque qui est derrière la porte de l'ascenseur.

Georges Clooney est dans l'ascenseur

On note E l'événement 'parle anglais'. Il est compatible avec la première hypothèse mais également avec la deuxième : un certain nombre de parisiens parlent anglais.

- ▶ Si H_1 est vraie, la probabilité d'entendre 'parler anglais' est 1. On peut la noter $P(E/H_1) = 1$. (cette probabilité n'est pas en réalité de 1 car G. Clooney pourrait parler une autre langue)
- ▶ Si H_2 est vraie et si 1 parisien sur 1000 parle anglais, ce qui a été entendu est un hasard peu probable $P(E/H_2) = 0.001$

Georges Clooney est dans l'ascenseur

Le **rapport de vraisemblance** entre les deux hypothèses est de 1000.

$$RV = \frac{P(E/H_1)}{P(E/H_2)}$$

Il est 1000 fois plus probable d'entendre parler anglais si c'est Georges Clooney qui est dans l'ascenseur plutôt qu'un parisien quelconque.

L'événement 'parle anglais' renforce une probabilité pré-existante appelée aussi **probabilité a priori**.

Si celle-ci est faible, l'événement observé ne permettra pas une forte conviction finale c'est-à-dire une **probabilité a posteriori**.

Deux exemples d'approche bayésienne en criminalistique

- ▶ Un exemple historique : l'affaire Dreyfus à valeurs de réflexion sur les outils utilisés.
- ▶ Un exemple d'aujourd'hui : la preuve par ADN quelques situations concrètes : tâche et mélanges ADN sur la scène d'un crime

Les grandes lignes de l'affaire Dreyfus

1894 : le capitaine de l'armée française **Alfred Dreyfus**, polytechnicien, Juif d'origine alsacienne, est accusé d'avoir livré aux Allemands des documents secrets, est condamné au bagne à perpétuité pour trahison et déporté sur l'île du Diable.

1896 : le colonel Georges Picquart, chef du contre-espionnage, constate en mars que le vrai traître avait été le commandant **Ferdinand Walsin Esterházy**. L'État-Major refuse pourtant de revenir sur son jugement et affecte Picquart en Afrique du Nord.



Les grandes lignes de l'affaire Dreyfus

1897 : Auguste Scheurer-Kestner, président du Sénat, acquiert la conviction de l'innocence de Dreyfus, et en persuade Georges Clemenceau, ancien député et alors simple journaliste. Mathieu Dreyfus, frère de l'accusé, porte plainte auprès du ministère de la Guerre contre Walsin-Esterházy.

1898 : Walsin-Esterházy est acquitté et Emile Zola publie *J'accuse... !*.

1899 : La cour de cassation annule le jugement condamnant Dreyfus mais la même année, ce dernier est à nouveau condamné.

1906 : Son innocence est enfin reconnu.

Ordonnance de 5 mars 1904

Demande en révision du jugement du conseil de guerre de Rennes
du 9 septembre 1899.



Instruction supplémentaire : examen critique de divers systèmes ou
études graphologiques auxquels a donné lieu la pièce dite du
bordereau.

Le bordereau

lettre, partiellement déchirée en 6 grands morceaux, écrite sur du papier pelure, non signée, non datée, adressée à l'attaché militaire allemand en poste à l'ambassade d'Allemagne.



Les premiers experts

- ▶ **le commandant du Paty de Clam** : expert en écriture
...malgré quelques dissemblances, les ressemblances sont suffisantes pour justifier une enquête. Dreyfus est donc l'auteur probable du bordereau...
- ▶ **A. Gobert** : expert de la banque de France
..la nature du bordereau exclut le déguisement graphique...
- ▶ Appel à **A. Bertillon** en tant qu'inventeur de l'anthropométrie criminelle, sans aucune compétence en graphologie ou statistique

Les conclusions de A. Bertillon

Bertillon n'est pas plus affirmatif que Gobert mais il cède à la pression militaire et affirme que Dreyfus s'est autocopié. Il développe sa théorie de l'autoforgerie :

Si l'on écarte l'hypothèse d'un document forgé avec le plus grand soin, il appert manifestement pour nous que c'est la même personne qui a écrit les pièces communiquées et le document incriminé.

Les conclusions de A. Bertillon

1. Utilisation d'un papier presque transparent \implies Volonté de s'en servir comme calque
2. Mots ou syllabes répétés dans le texte quasi superposables \implies superposition à un recul de $1.25mm$ ou avec un multiple de cette valeur

A l'aide d'un procédé millimétrique d'une complexité toute germanique, [l'officier avait] écrit le bordereau en imitant imparfaitement sa propre écriture et en la mélangeant à celle de son frère.

Les nouveaux experts

Le 7 avril 1903, Jean Jaurès, après avoir été réélu, relance l'affaire. Il nomme de nouveaux experts.

- ▶ H. Poincaré mathématicien, physicien et philosophe
- ▶ G. Darboux secrétaire perpétuel de l'Académie des Sciences
- ▶ P. Appell doyen de la faculté des sciences

Probabilité des effets

La leçon de probabilité de Poincaré à Bertillon

Une urne contient 100 boules dont 10 sont noires et 90 sont blanches.

La probabilité de tirer une boule noire vaut évidemment $1/10$.

Les problèmes de probabilité des causes sont beaucoup plus compliqués, mais beaucoup plus intéressants.

Probabilité des causes

URNE 1

90 boules blanches
10 boules noires

URNE 2

10 boules blanches
90 boules noires

On extrait une boule blanche d'une des urnes, sans savoir laquelle.

L'**effet** est connu : une boule blanche.

La **cause** est inconnue : URNE 1 ou URNE 2 ?

Application au bordereau

Le problème du bordereau est de la même nature.

L'effet est connu : la coïncidence notée sur le bordereau.

La cause est inconnue : forgerie ou écriture naturelle ?

Ce sont les formules de probabilités des causes qu'il convient d'appliquer.

Probabilité des causes

Dans l'exemple des urnes, la réponse est $9/10$ parce que nous supposons **a priori** qu'il n'y a aucune raison d'être tombé sur l'URNE 1 plutôt que sur l'URNE 2. *Mais les choses auraient été différentes si nous avions eu 11 urnes dont 10 composées comme la première et une seulement comme la seconde.*

Pour calculer la probabilité d'une cause, il faut

- ▶ connaître **a priori**, avant l'événement, la probabilité de cette cause
- ▶ savoir, pour chaque cause possible, la probabilité de l'événement constaté

Les probabilités en question

Or cette probabilité a priori, dans des questions comme celle qui nous occupe, est uniquement formée d'éléments moraux qui échappent absolument au calcul, et si, comme nous venons de le voir, nous ne pouvons rien calculer sans la connaître, tout calcul devient impossible.

...l'application du calcul des probabilités aux sciences morales est, comme l'a dit Auguste Comte, le scandale des mathématiques, parce que Laplace et Condorcet, qui calculaient très bien, eux sont arrivés à des résultats dénués de sens commun !

Conclusion

Contraint de répondre à l'injonction de la cour, Poincaré se livre tout de même à différents calculs de probabilité en restreignant, artificiellement, le problème à deux causes :

- ▶ le hasard : composition naturelle de l'écriture
- ▶ le mode particulier de forgerie imaginé par Bertillon

Nous admettrons toujours, dans les calculs qui suivront, l'hypothèse la plus favorable au système de Bertillon.

Conclusion

Les premiers experts ont raisonné mal sur des documents faux.

1. L'application du calcul des probabilités à ces matières n'est pas légitime.
2. Les règles de probabilités n'ont pas été correctement appliquées.
3. La reconstitution du bordereau, par des techniques photographiques, est fausse.

Conclusion

Les premiers experts ont raisonné mal sur des documents faux.

1. L'application du calcul des probabilités à ces matières n'est pas légitime.
2. Les règles de probabilités n'ont pas été correctement appliquées.
3. La reconstitution du bordereau, par des techniques photographiques, est fausse.

Introduction

- ▶ L'analyse ADN n'est qu'un des outils utilisés par le système policier et judiciaire.
- ▶ Leur mission est de répondre aux questions : Qui a fait quoi ? A quel moment ? Dans quelles circonstances ?

Deux exemples présentés :

- une trace relevée sur la scène d'un crime
- deux traces relevées sur la scène d'un crime.

Situation et hypothèses

Situation

Une trace est relevée sur les lieux d'un crime. Elle présente un profil ADN ayant une fréquence de 1 sur 1 million.

Arrestation d'un suspect

Lorsqu'un suspect est soupçonné d'être la source de la trace, la correspondance entre le profil du suspect et la trace est une observation qui ne peut servir qu'à modifier une **probabilité préexistante**.

Hypothèses

H_P : le suspect est à l'origine de la trace.

H_D : un autre individu parmi ceux de la population suspectable est la source de la trace.

Rapport de vraisemblance

Si E est l'événement lié à la preuve, le **rapport de vraisemblance** est défini par :

$$RV = \frac{P(E/H_P)}{P(E/H_D)}$$

- ▶ $RV < 1$: la situation est favorable à la défense
- ▶ $RV > 1$: la situation est favorable à l'accusation.

Probabilité préexistante

- En France, seul le juge d'instruction possède les informations nécessaires à la modification de la probabilité existante à travers les éléments de l'instruction.
- Aux Etats-Unis d'Amérique, l'accusation et la défense peuvent faire des propositions.
 - ▶ proposition **obligatoire** pour l'accusation
 - ▶ proposition **facultative** pour la défenseRemarque : s'il n'y a pas de proposition, on pose l'hypothèse contraire à l'accusation

Avant analyse ADN

- ▶ Crime commis dans l'agglomération parisienne : 10 millions d'habitants
- ▶ Fréquence du profil ADN trouvé : 1 sur 1 million dans l'agglomération parisienne

$$P(H_P) = \frac{1}{10\,10^6} \text{ et } P(H_D) = 1 - P(H_P)$$

Après analyse ADN

$$P(E/H_P) = 1 \text{ et } P(E/H_D) = \frac{1}{10^6}$$

$$RV = \frac{P(E/H_P)}{P(E/H_D)} = 10^6$$

Il est un million de fois plus probable d'observer le profil ADN trouvé sur la scène de crime si le suspect est la source de la trace plutôt qu'un individu quelconque de l'agglomération parisienne.

Théorème de Bayes

$$\frac{P(H_P/E)}{P(H_D/E)} = RV \times \frac{P(H_P)}{P(H_D)}$$

$$\text{a posteriori} = RV \times \text{a priori}$$

$$\frac{P(H_P/E)}{P(H_D/E)} = 1/10$$

Il y a environ une chance sur 10 pour que le suspect soit la source de la trace.

N'oublions pas que le juge d'instruction a des éléments d'enquête en main avant l'analyse ADN. La probabilité liée à H_P est plus faible que celle exposée dans l'exemple.

Situation et hypothèses

Situation

Les traces récoltées sur la scène de crime sont un mélange de matériel biologique de deux personnes (ou plus).

Problème induit

L'analyse met en évidence les allèles de plus d'une personne. Il est difficile alors de déterminer quels allèles proviennent de la même personne. Cela élargit le cercle des personnes pouvant être des contributeurs aux mélanges.

Hypothèses

H_P : la trace contient l'ADN du suspect et d'une autre personne inconnue.

H_D : la trace contient l'ADN de deux personnes inconnues.

Exemple de mélanges

Résultats d'analyse d'une série d'échantillons pour un marqueur

	St	T1	T2	1	2	3	St	4	5	6	7	St
16	■						■					■
15	■	■	■	■			■			■		■
14	■						■					■
13	■	■	■		■	■	■	■		■		■
12	■						■					■
11	■						■					■
10	■						■					■
9	■						■					■
8	■						■					■
7	■	■	■			■	■		■		■	■
6	■						■					■
5	■						■					■
4	■	■	■	■	■		■		■			■
3	■						■					■
2	■						■					■
1	■						■					■

St = étalon contenant tous les allèles connus dans la population

T1 et T2 : les traces constituées d'un mélange de deux ADN :

allèles 4, 7, 13 et 15

De 1 à 7, on a 7 suspects.

Exemple de mélanges

Hypothèse de l'accusation

Il faut que le deuxième contributeur fournisse les allèles 7 et 13 :

$$P(E/H_P) = 2p_7p_{13} \text{ (hétérozygote 7 et 13)}$$

Hypothèse de la défense

Il faut considérer toutes les combinaisons de deux individus hétérozygotes rassemblant les 4 allèles cad les paires 4/7 et 13/15, les paires 4/13 et 7/15, les paires 4/15 et 7/13 ainsi que les trois paires inverses. En additionnant le tout, on obtient :

$$P(E/H_D) = 24p_4p_7p_{13}p_{15}$$

Le rapport de vraisemblance vaut :

$$RV = \frac{1}{12p_4p_{15}}$$

Conclusion

- La situation se complexifie de plus en plus
- si le mélange est de plus de deux individus,
 - si la défense introduit des liens de parenté : ce n'est pas lui mais son frère
 - si la population étudiée à des profils génétiques particuliers.

La preuve ADN n'est JAMAIS utilisée seule.

Deux citations

Pour entreprendre un calcul quelconque de probabilité, et même pour que ce calcul est un sens, il faut admettre comme point de départ une hypothèse ou une convention qui comporte toujours un certain degré d'arbitraire. [La science et l'hypothèse - H. Poincaré]

...Si l'on fait porter à l'expert le poids de la décision (ce que les personnes chargées de cette décision ont souvent tendance à faire pour s'exonérer de leurs propres responsabilités), on charge ses épaules d'une façon déraisonnable. [Entre savoir et décision, l'expertise scientifique - P. Roqueplo]

Deux définitions de l'expertise graphologique

forgerie

fait de fabriquer un faux en écriture en utilisant des parties authentiques existantes, auxquels des parties forgées sont ajoutées habilement de façon à faire croire que l'ensemble serait authentique.

partie forgée

partie rapportée d'un document authentique étranger au document authentique considérée mais du même auteur.