

Atelier scientifique MPS – L’analyse physique – Partie 1
 Diffraction par un cheveu – Séance 4

1 Le LASER dans le quotidien

Saviez-vous que si vous regardez des DVD, naviguez sur le web, scannez les codes barre et si certains peuvent suite à une opération se passer de leurs lunettes, c’est grâce à l’invention du LASER, il y a 50 ans !

Intéressons-nous aux lecteurs CD et DVD qui ont envahi notre quotidien. La nouvelle génération de lecteurs comporte un laser bleu (le Blu-Ray) dont la technologie utilise une diode laser fonctionnant à une longueur d’onde $\lambda_B = 405 \text{ nm}$ d’une couleur bleue (en fait violacée) pour lire et écrire les données. Les CD et les DVD conven-

tionnels utilisent respectivement des lasers infrarouges et rouges. Les disques Blu-Ray fonctionnent d’une manière similaire à celle des CD et des DVD.

Le laser d’un lecteur Blu-Ray émet une lumière de longueur d’onde différente de celles des systèmes CD ou DVD, ce qui permet de stocker plus de données sur un disque de même taille (12 cm de diamètre), la taille minimale du point sur lequel le laser grave l’information étant limitée par la diffraction.

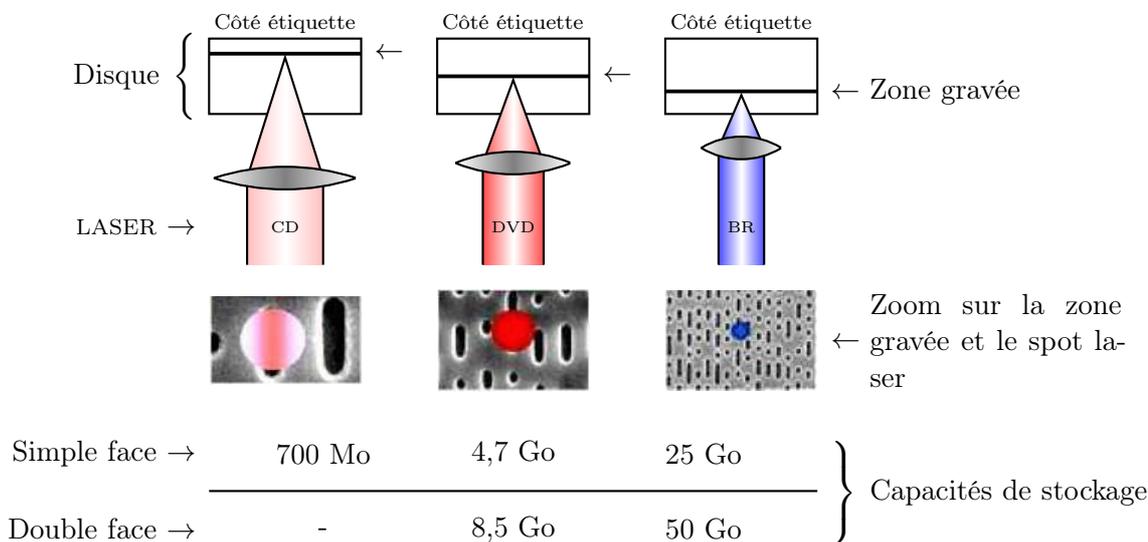


Figure 1 – Caractéristiques des disques CD, DVD et Blu-ray.

Dans le cas d’un disque Blu-Ray, des cavités de largeur $a = 130 \text{ nm}$ et de profondeur p sont creusées à la surface réfléchissante du disque, produisant des variations binaires de l’intensité lumineuse réfléchie, enregistrée par une photodiode.

La figure 2 représente le système de lecture du disque.

- ① Diode laser
- ② Prisme
- ③ Lentille convergente
- ④ Disque Blu-Ray
- ⑤ Photodiode

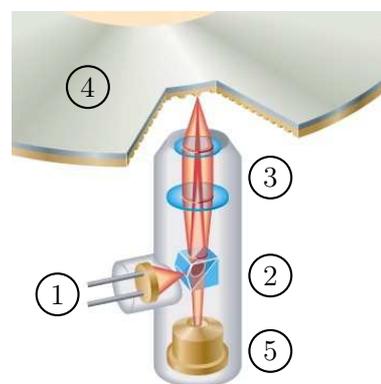


Figure 2 – Système de lecture optique d’un Blu-Ray.

Source : Bac S Centres Étrangers 2011 et Bac S Asie 2013.

Les questions sur les documents sont regroupées en page 5.

2 Les indices qui signent

Une scène de crime recèle une multitude de traces. Aussi infimes soient-elles, leur analyse par des techniques spécifiques peut s'avérer déterminante lors d'une enquête.

Certaines traces, comme les empreintes digitales ou l'ADN, permettent d'établir un lien individualisé entre des faits et un auteur. Sur une scène d'infraction, il existe aussi de nombreuses traces dont le relevé et l'exploitation constituent un ensemble corroboratif (un faisceau d'indices) qui, selon le principe d'échange de LOCARD, signera la présence d'un individu et les actions réalisées.

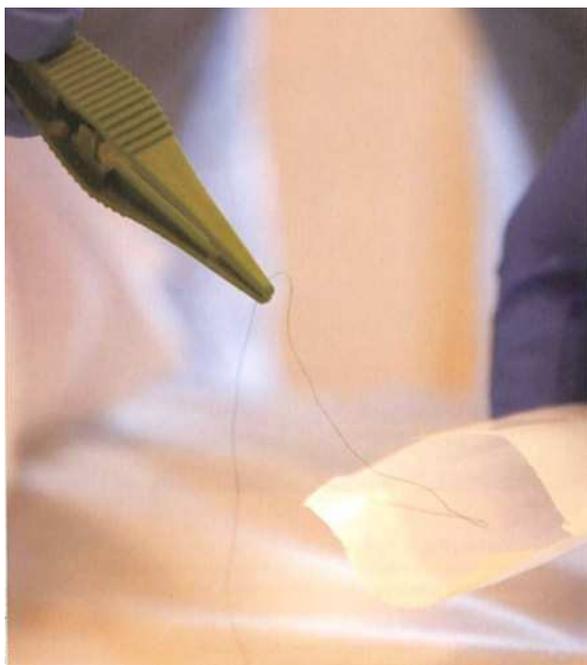


Figure 3 – Prélèvement d'un cheveu sur une couverture.

Nous nous proposons d'expliciter cette conception au travers du scénario suivant : une victime toxicomane, tuée par arme à feu, a été retrouvée à proximité de son véhicule incendié. Elle est identifiée et, lorsque les enquêteurs arrivent à son domicile, la porte d'entrée est fractionnée. Les premiers éléments issus de l'enquête de voisinage ciblent rapidement un suspect habitant dans la même rue. Les enquêteurs se rendent immédiatement chez lui et découvrent une arme ainsi qu'une mallette à outils grande ouverte. Le suspect est interpellé et ses vêtements immédiatement saisis.

L'analyse des microprélèvements, ou microanalyse, permet de mettre en évidence des résidus de tir invisibles à l'œil nu, mais aussi de comparer des traces manufacturées comme

celles laissées par un outil ou encore les traces de transfert, sols, fibres, verre... Considérer qu'une trace de toute petite taille ne peut apporter qu'une faible information est une erreur. La révélation et l'exploitation des « microtraces » présentes sur la scène de crime, mais aussi sur les auteurs, les objets utilisés ou déplacés et les victimes peuvent se montrer particulièrement déterminantes pour l'enquête.

Omniprésents dans la vie courante, les textiles perdent des fibres, naturellement, ou suite à un contact. La mise en évidence de ces fibres s'avère donc cruciale, car elle permet de signer sans ambiguïté le contact physique entre la victime et son agresseur. Dans notre affaire, les vêtements du suspect et de la victime ont été immédiatement saisis. Ils sont ensuite minutieusement inspectés dans le but de retrouver des fibres étrangères. La nature de ces fibres (origine naturelle ou chimique) et leur classe générique (coton, laine, soie, etc.) sont déterminées par observation optique et analyse par spectrométrie. Enfin, les fibres étrangères au textile sont comparées avec celles composant le vêtement d'origine. L'expert se prononce ensuite sur leur provenance possible ou probable (vêtements du suspect ou pas). Les conclusions exprimées sont affinées grâce à une connaissance approfondie des statistiques prenant en compte la « valeur indiciaire » (la capacité à être un indice probant) de chaque type de fibre dont l'usage est plus ou moins répandu.

[En conclusion,] analysés et exploités par les experts, [les indices] permettent d'aboutir à un faisceau d'éléments et à des inférences(*) pouvant être suffisamment probantes pour confondre un auteur. Mais surtout, par la possibilité qu'ils offrent d'établir la chronologie et la matérialité des faits, ces indices signent la réalité ou non de l'intention criminelle et sont déterminants au moment du procès pénal. Aucune discipline n'est en mesure de détenir à elle seule la clé d'une énigme criminelle. À l'inverse, nul acteur ne doit être sous-estimé, car on ne peut pas évaluer a priori la force probante d'un indice, aussi infime soit-il.

(*) L'inférence est un mouvement de la pensée allant des principes à la conclusion. C'est une opération qui permet de passer d'une ou plusieurs assertions, des énoncés ou propositions affirmés comme vrais, appelés prémisses, à une nouvelle assertion qui en est la conclusion.

Source de la définition : Wikipédia.

Source : TDC n° 1070 du 15 février 2014, Scérén Éditeur. G. Cognon, T. Dodier, M. Petit, O. Roussel de la division criminalistique physique-chimie de l'IRCGN.

3 Fibre ou poil ?

Édmond LOCARD, médecin légiste français, a fondé en 1910 le premier laboratoire de police technique à Lyon. Son traité de criminalistique jette les bases de la recherche scientifique d'empreintes et de traces au service de la justice. Il est l'auteur d'un « principe d'échange » universel, non remis en cause à ce jour qui stipule que « nul ne peut agir avec l'intensité que suppose l'action criminelle sans laisser de marques multiples de son passage. Tantôt le malfaiteur a laissé sur les lieux les 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 ».



Figure 4 – Poil de chat.

Ce principe s'applique à toutes sortes de traces, telles que les empreintes digitales, les traces biologiques, les particules de résidus de tirs ou les fibres. Il est d'autant plus évident lorsque les contacts entre le criminel et la victime sont violents.



Figure 5 – Cheveu humain.

Les poils et les autres fibres sont considérés comme des éléments insignifiants, mais très résistants, ils se retrouvent souvent sur les lieux d'un crime. Leurs prélèvements

peuvent donc fournir à la police des informations importantes lors d'une enquête.

3.1 Distinguer un poil d'une autre fibre

Une fibre est une formation végétale ou animale, mais ce terme est également utilisé par extension pour désigner divers matériaux minéraux ou synthétiques ayant le même aspect.

Il est aisé de différencier les fibres des poils récoltés sur une scène de crime. Ces derniers sont caractéristiques : ils sont constitués d'un bulbe, c'est-à-dire d'une racine renflée, surmonté par une tige libre, flexible et effilée à l'extrémité ; ils ont une structure cellulaire concentrique, avec la moelle (canal médullaire) au centre, le cortex (substance corticale) et enfin des écailles superposées formant la cuticule. La couleur d'un poil est due aux pigments présents dans le cortex. Les autres fibres, elles, n'ont ni cet aspect ni cette structure.

3.2 L'analyse d'un poil

Les premières études de poils ont été réalisées dès la fin du 19^e siècle. En 1910, Victor BALTHAZARD et Marcelle LAMBERT publient *Le poil de l'homme et des animaux*, la première étude exhaustive de cheveux dans un ouvrage incluant de nombreuses études microscopiques.

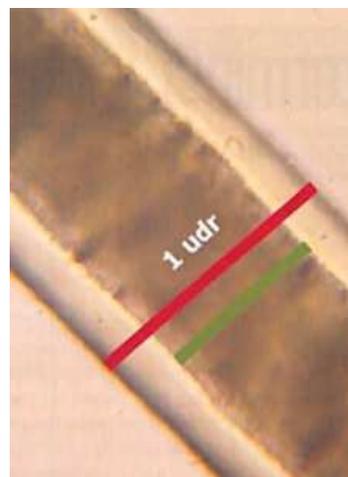


Figure 6 – Calcul d'indice médullaire.

Pour déterminer si un poil est d'origine humaine ou non, l'expert le prélève avec une pince fine, le place entre lame et lamelle et l'observe à l'aide d'un microscope optique, ce qui lui permet de mesurer le diamètre du canal médullaire et celui du poil entier. Il lui suffit alors de faire le rapport de ces deux diamètres pour obtenir l'indice médullaire(*). Si cet indice est inférieur à 0,38, le poil est humain ; s'il est supérieur à 0,50, il provient d'un animal.

(*) Une médullaire en anatomie désigne généralement, au sein d'un organe, la partie centrale.

4 Modélisation au laboratoire

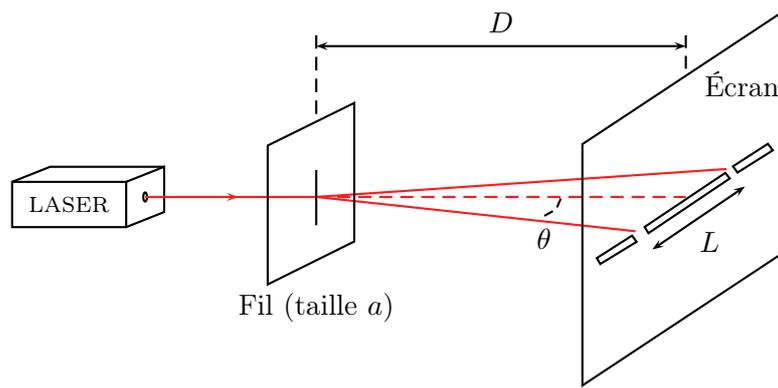


Figure 7 – Diffraction de la lumière par un fil.

On modélise la lecture d'un disque par un laser projeté sur fil de diamètre a , tel que montré sur la figure 7. Le fil est l'équivalent d'un trou du disque, CD, DVD ou Blu-Ray de même largeur a .

On dispose de six fils de tailles a connues. Le fil sera *in fine* remplacé par un cheveu de taille a inconnue afin de déterminer l'indice médullaire dont il est question précédemment.

L'écran est placé à une distance D la plus grande possible, distance qui doit rester fixe. Justifier ce point clef de l'expérience :

.....

.....

Mesurer soigneusement la distance D choisie.

$$D = \text{.....}$$

Pour chacun des six fils connus, noter a , et mesurer la largeur L de la première tache de diffraction (tache lumineuse centrale). Noter cette grandeur avec le plus de précision possible, éventuellement en mesurant la largeur pour plusieurs franges. Compléter le tableau suivant.

a (μm)	L (cm)

Disposer un cheveu de taille a inconnue dans une diapositive vide, et mesurer la largeur L de la première tache de diffraction.

$$L = \text{.....}$$

Tracer L en fonction de $1/a$. Tracer une droite d'interpolation moyenne (passant par le maximum de points). Utiliser la droite d'étalonnage précédente pour trouver, par lecture graphique, la taille a de l'objet diffractant de taille inconnue.

$$a = \text{.....}$$

5 Analyse des documents & des expériences

a. Document 1 – Expliquez pourquoi un Blu-ray peut contenir plus de données qu'un DVD ou qu'un CD.

.....

.....

.....

b. Document 2 – Dressez la liste des microprélèvements utiles dans le cas du scénario présenté.

.....

.....

.....

c. Document 2 – Pour chaque microprélèvement, proposez une ou plusieurs méthodes d'analyse physique ou chimique.

.....

.....

.....

d. Document 3 – Donnez l'énoncé du principe d'échange d'Édmond LOCARD.

.....

.....

.....

e. Document 3 – Expliquez la différence entre une fibre et un poil, et détaillez comment on peut les différencier en pratique.

.....

.....

.....

f. Document 4 – On dispose au laboratoire de différents types de cheveux et de poils de divers animaux (crin de cheval, poil du chat, etc.). Expliquez comment l'expérience réalisée permet de distinguer ces prélèvements entre eux.

.....

.....

.....