

# La microscopie électronique à balayage, un outil d'identification et de caractérisation des résidus de tir

Sébastien Charles

## Résumé

Lors d'un tir par arme à feu, des particules provenant de la munition (projectile, poudre, amorce et étui) sont expulsées par la bouche du canon et par les différents autres orifices de l'arme, contaminant l'environnement immédiat du tireur. Ces particules sont dénommées « résidus de tir ». Effectuer une recherche et une caractérisation de ces particules sur des pièces à conviction va permettre de confondre un individu suspecté d'être l'auteur d'un ou plusieurs tirs. Jusqu'à présent, la méthode de choix pour l'identification des résidus de tir est la microscopie électronique à balayage couplée à la microanalyse X (MEB/EDX). Comme la persistance des résidus de tir est faible (surtout sur les mains), les prélèvements doivent être réalisés le plus rapidement possible, à l'aide de kits spéciaux mis à la disposition des forces de police. En fonction du contexte, il peut être difficile d'interpréter certains résultats. Dès lors, une approche au cas par cas nécessitant l'examen de références balistiques est privilégiée par rapport à un traitement routinier, peut-être plus rapide mais moins fiable.

## Mots-clés

**Résidus de tir, armes à feu, MEB/EDX, prélèvements, criminalistique.**

## Abstract

**Scanning electron microscopy, a valuable tool to identify and characterize gunshot residues**

During discharge from a firearm, primer and gunpowder residues as well as metal particles from the projectile and the cartridge case are expelled from the muzzle and other openings of the fire-arm, contaminating the vicinity of the shooter. These residues are referred as gunshot residues. Performing gunshot residue analysis on exhibits from an individual suspected to be the shooter will help the Court in dealing with the case. Up to now, the method of choice for detecting gunshot residues is the scanning electron microscopy coupled to energy-dispersive X-ray microanalysis (SEM/EDX). As the persistence of gunshot residues (especially on hands) is low, sampling has to be performed as quickly as possible. This is done by using special sampling kits provided to the police forces. Depending on the context of the case, the interpretation of the results can be challenging. Therefore a case-by-case approach is highly recommended instead of a routine analysis.

## Keywords

**Gunshot residues, fire-arms, SEM/EDX, sampling, forensic science.**

Lors d'un tir par arme à feu, des résidus sont produits et se répandent aux alentours de l'arme et on en retrouve sur tout objet et personne présents dans l'environnement immédiat du tir. C'est ainsi que des résidus de tir sont notamment retrouvés sur les mains et les vêtements du tireur. Ces particules, invisibles à l'œil nu car leur taille varie de quelques dixièmes à quelques dizaines de microns, ont une morphologie de type globulaire et se caractérisent par une composition riche en métaux lourds. Depuis une trentaine d'années, la microscopie électronique à balayage couplée à la microanalyse X (MEB/EDX) est la technique qui, de loin, est la plus utilisée pour l'identification et la caractérisation des résidus de tir, offrant un appui incontestable aux enquêtes judiciaires concernées par l'utilisation d'armes à feu.

## Les résidus de tir

### Formation

Pour comprendre l'origine et la composition des résidus de tir, il convient de détailler les éléments constitutifs d'une munition (*figure 1*) : on y retrouve un projectile (la balle ou la

charge de plomb dans le cas d'une munition de chasse), serti dans un étui (ou douille), lui-même rempli de poudre propulsive ; une capsule d'amorce est également logée dans le culot de l'étui.

Lors du choc occasionné par le percuteur, l'amorce produit une étincelle qui va enflammer la poudre propulsive, avec comme résultat une augmentation brutale de la pression et de la température à l'intérieur de l'étui ; ces conditions extrêmes vont permettre au projectile d'être extrait de l'étui et du canon de l'arme.

Après le coup de feu, les gaz chauds vont très rapidement se refroidir et se condenser sous forme de petites particules, pour la plupart d'aspect globulaire (*figure 2*) ; celles-ci vont s'échapper de l'arme par les différents orifices et se déposer dans l'environnement immédiat du tireur. Ce sont de tels résidus qui peuvent permettre de désigner un suspect et de le confondre.

### Composition et caractéristiques

Les résidus de tir sont constitués d'une composante organique (provenant essentiellement d'imbrûlés de la poudre propulsive) et d'une composante inorganique. C'est cette

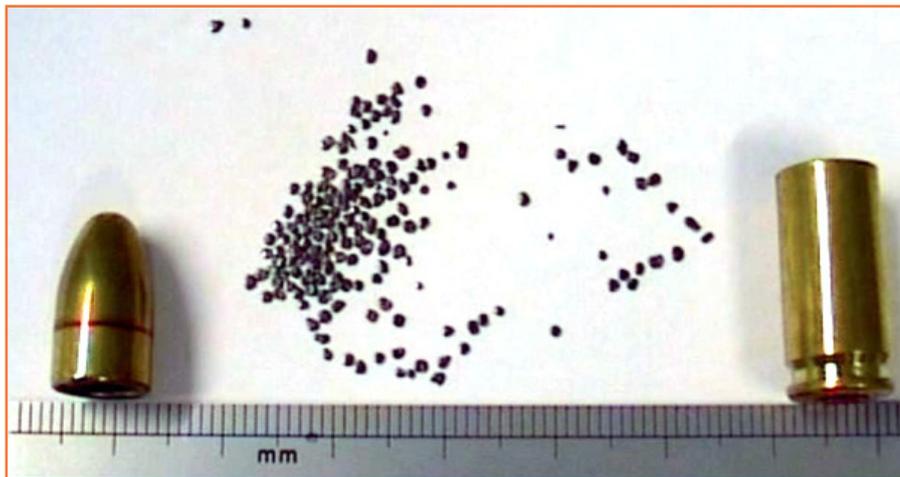


Figure 1 - Éléments constitutifs d'une munition.

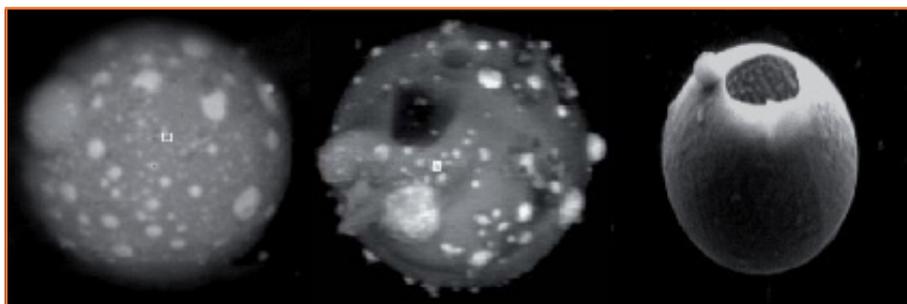


Figure 2 - Quelques exemples de particules de résidus de tir.

dernière qui est principalement le reflet de la composition du projectile (souvent en plomb), de l'étui (principalement du laiton) et de l'amorce. Les amorces des munitions que l'on trouve classiquement sur le marché sont généralement constituées d'un mélange de sels de plomb, baryum et antimoine.

Si la majorité des résidus de tir sort par la bouche du canon, une fraction s'échappe également par les orifices périphériques que présente l'arme, contaminant ainsi le tireur. Le nombre de particules qui vont se déposer sur les mains de ce dernier varie de quelques dizaines à plusieurs milliers et est fonction du type d'arme utilisé. En effet, un revolver et un pistolet semi-automatique vont libérer beaucoup de résidus de tir, par suite de la présence d'une fenêtre d'éjection (dans le cas du pistolet) ou d'un barillet (dans le cas d'un revolver), laissant latéralement de larges orifices par où des résidus peuvent s'échapper. Par contre, dans le cas des carabines et des fusils de chasse, pour lesquels l'étui reste positionné dans la chambre après le tir, l'enceinte est généralement plus confinée et la quantité de résidus libérés par les côtés est nettement plus faible.

### Recherche de résidus de tir sur un suspect

L'expertise consiste à rechercher la présence de résidus de tir sur les pièces à conviction associées à un individu suspecté d'avoir tiré ou simplement manipulé une arme à feu. Le lien éventuel entre un incident de tir et un suspect peut être renforcé en comparant la composition des éventuelles particules d'intérêt retrouvées sur plusieurs pièces à conviction.

### Persistence des résidus

La persistence des résidus de tir sur les mains d'un tireur ne dépasse généralement pas quelques heures. En effet, il a été montré, dans des conditions expérimentales contrôlées, que le nombre de résidus de tir initialement déposés sur les mains décroissait de manière quasi exponentielle. Ainsi, de plusieurs centaines, voire milliers de résidus de tir déposés sur les mains au moment du tir, ce nombre peut ne plus être que d'une dizaine, voire moins, après quatre heures. Au fait que les particules déposées adhèrent mal à la peau, s'ajoute celui que les mains touchent de nombreux objets et que ces contacts occasionnent à chaque fois des pertes importantes.

Cette persistence limitée entraîne le fait qu'au-delà d'un certain délai (six heures par exemple), il peut être décidé que l'analyse des prélèvements effectués sur les mains ne soit pas effectuée. Une autre stratégie consiste à examiner la demande au cas par cas ; en effet, il est parfois possible que le délai entre les faits et les prélèvements soit long mais que des résidus de tir soient tout de même identifiés sur les prélèvements, les activités du tireur n'ayant pas eu pour conséquence une perte trop importante de résidus de tir. Par ailleurs, même si le délai entre le tir et les prélèvements est important, le dernier contact du

tireur avec l'arme est parfois beaucoup plus proche dans le temps, d'où une persistence plus élevée qu'attendue.

La persistence des résidus de tir sur les objets, et en particulier sur les vêtements, est généralement meilleure, de par la nature de la surface sur laquelle les résidus de tir se déposent. Il n'est pas rare de retrouver des résidus de tir sur des prélèvements relatifs à des vêtements en coton ou en laine plusieurs jours après les faits.

### Prélèvements

Dans le cadre de l'expertise en résidus de tir, lorsqu'un suspect est appréhendé, des prélèvements sur ses mains sont généralement effectués au moyen d'un kit constitué de plusieurs tamponnoirs munis de faces collantes. Ces faces collantes vont être appliquées sur les mains du suspect afin d'y récolter un maximum de particules. Chaque tamponnoir est ensuite conditionné de façon hermétique dans un emballage scellé, pour éviter d'éventuelles pertes de particules et se prémunir de contaminations fortuites. Comme les particules sont très labiles, le délai entre les faits et les prélèvements doit être le plus court possible, impliquant qu'ils soient effectués le plus vite possible par les techniciens en scène de crime appelés sur place (figure 3).

Généralement, les vêtements sont également saisis pour prélèvements et analyses ultérieures. Les prélèvements ont plutôt lieu au sein du laboratoire chargé d'effectuer les analyses qui dispose de locaux adéquats et contrôlés pour éviter tout problème de contamination (figure 4).

Les prélèvements ne se limitent pas uniquement aux mains de suspects et à leurs vêtements : tout objet susceptible



Figure 3 - Camionnette d'intervention de l'INCC.

d'avoir été en contact de manière directe (transfert primaire) ou indirecte (transfert secondaire) avec un environnement de tir ou d'arme à feu peut faire l'objet d'un prélèvement, comme par exemple du mobilier présent sur une scène de crime ou un véhicule utilisé lors d'un fait.

### Analyse des prélèvements

Les techniques actuelles n'étant pas suffisamment sensibles à l'analyse de la fraction organique des résidus de tir, l'analyse se focalise pour le moment sur la fraction inorganique. Cette recherche s'effectue à l'aide de microscopes électroniques à balayage, seuls instruments capables de visualiser des microparticules (de l'ordre du micron) tout en permettant de déterminer leur composition élémentaire.

Le principe est le suivant : un faisceau d'électrons va balayer le tamponnoir, interagissant avec la matière en surface sur une profondeur de quelques microns au maximum. Lorsque la matière irradiée est composée d'éléments lourds, le faisceau aura tendance à être rétrodiffusé. Un détecteur judicieusement placé dans le microscope va alors capter ce faisceau rétrodiffusé, permettant d'identifier les zones riches en éléments lourds. En sachant que les résidus de tir – du moins leur fraction inorganique – sont dans leur grande majorité composés d'éléments lourds, ce détecteur permettra de les distinguer de la matière moins dense.

Par ailleurs, en interagissant avec l'échantillon, les électrons induisent une excitation de la matière irradiée donnant lieu à l'émission de rayons X. Ce rayonnement va être caractéristique des atomes irradiés et va donc permettre de les identifier, donnant ainsi une information non ambiguë sur la composition élémentaire de la matière, en l'occurrence les résidus de tir.

Le travail de recherche peut s'apparenter, toutes proportions gardées, à la recherche de confettis éparpillés aléatoirement sur un terrain de football. Ainsi le développement de cette technique de recherche et d'analyse n'a pu se faire qu'au prix d'une automatisation quasi complète du processus. Le travail du microscopiste consiste donc à lancer la recherche automatique et une fois l'analyse terminée, à contrôler les résultats obtenus afin de s'assurer des attributions et du classement corrects des différentes particules

identifiées par l'analyse automatique. C'est ainsi que chaque particule d'intérêt est contrôlée individuellement par le microscopiste. Dès lors, même si l'automatisation apporte un gain de temps indéniable, l'étape de vérification demeure souvent longue et fastidieuse.

### Rapport d'expertise

La littérature scientifique rapporte que les particules contenant à la fois du plomb, du baryum et de l'antimoine, constituants de l'amorce des munitions classiques, ne peuvent provenir que d'un incident de tir...

Le rapport d'expertise reprendra donc le nombre de particules d'intérêt retrouvées (association des trois éléments ciblés), ainsi qu'une interprétation de ces résultats en fonction du contexte et des conditions de prélèvement. Comme la persistance des résidus de tir peut être faible, l'interprétation des résultats devra tenir compte du délai entre les faits et les prélèvements et de l'activité supposée du suspect. Néanmoins, et malgré les éventuelles difficultés d'interprétation, les résultats obtenus sont généralement exploitables.

### Évolution de l'expertise en résidus de tir

Ce domaine d'expertise connaît à l'heure actuelle une évolution importante, notamment par suite de la commercialisation de munitions dites « vertes », ainsi désignées car elles ne libèrent pas de particules riches en plomb. De nouveaux critères techniques sont en effet pris en compte dans le choix de la composition des amorces, afin d'éviter une pollution intempestive de l'atmosphère par des particules riches en plomb (on pense notamment aux stands de tir). La stratégie analytique de l'expert doit donc être revue en conséquence puisqu'il ne trouvera pas la combinaison caractéristique plomb-baryum-antimoine qu'il avait l'habitude de chercher...

Pour compliquer encore l'interprétation, des effets mémoires de l'arme litigieuse peuvent intervenir dans la mesure où des résidus provenant de tirs antérieurs peuvent être libérés lors d'un coup de feu.

Dès lors, la caractérisation du type de particules produit lors d'un tir se fait idéalement en effectuant des tirs de référence avec l'arme et les munitions litigieuses. Des prélèvements effectués sur les mains du tireur de référence sont alors effectués et analysés, pour établir les types de résidus de tir à rechercher sur les prélèvements relatifs à un suspect. Néanmoins, dans de nombreux cas, l'arme et les munitions litigieuses font défaut. Si des étuis sont retrouvés sur le lieu des faits, leur analyse permettra – du moins partiellement – d'établir les types de résidus de tir produits. Enfin, en l'absence de toute référence balistique, il reste possible d'avoir une idée du type de résidus de tir en analysant par exemple les vêtements de la victime. À défaut, la recherche se focalisera uniquement sur les particules riches à la fois en plomb, baryum

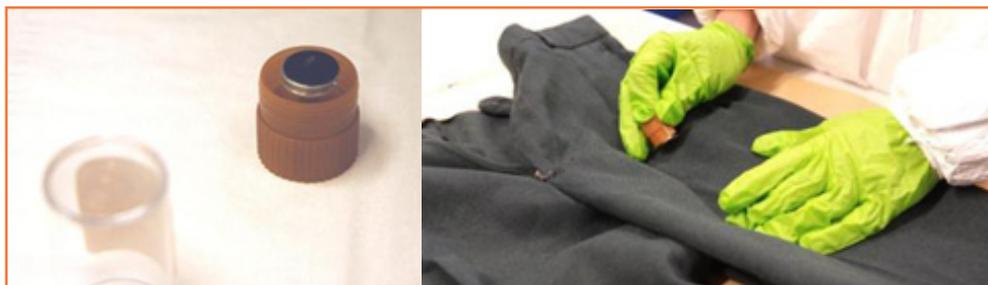


Figure 4 - Tamponnoir et prélèvement d'échantillons de résidus.

et antimoine, seules particules considérées comme caractéristiques de résidus de tir.

Ainsi, d'un processus *a priori* simple basé sur l'identification des particules caractéristiques plomb-baryum-antimoine, le travail de l'expert a évolué vers une analyse au cas par cas où chaque élément balistique, environnemental et contextuel doit être pris en considération afin d'interpréter au mieux les résultats ; ces résultats permettent alors par rapport à un *modus operandi* de soutenir une hypothèse plutôt qu'une autre, fournissant ainsi des éléments de réponse aux questions que se posent les magistrats et enquêteurs dans le cadre de leurs dossiers.



### Sébastien Charles

est expert en résidus de tir, chef de travaux à l'Institut National de Criminalistique et Criminologie (INCC)\*.

\* INCC, Chaussée de Vilvorde 100, B-1120 Bruxelles (Belgique).  
Courriel : [sebastien.charles@just.fgov.be](mailto:sebastien.charles@just.fgov.be)  
[www.incc.fgov.be](http://www.incc.fgov.be)

**HORIBA**  
Scientific



## L'innovation en mouvement, 8 nouveautés pour votre laboratoire



- ✓ Affinité et cinétique d'interaction
- ✓ Analyse élémentaire par Fluorescence X
- ✓ Compteur de particules
- ✓ Contrôle Qualité
- ✓ Fluorescence et absorption combinées
- ✓ Interactions moléculaires sans marquage
- ✓ Micro-ondes
- ✓ Potentiel zêta
- ✓ Préparation d'échantillon pour ICP&AA
- ✓ Raman
- ✓ Spectroscopie moléculaire
- ✓ Taille de particules

[www.horiba.com/scientific](http://www.horiba.com/scientific)

[ad.sci@horiba.com](mailto:ad.sci@horiba.com)

Explore the future

Automotive Test Systems | Process & Environmental | Medical | Semiconductor | Scientific

**HORIBA**