

Le microscope électronique à balayage en criminalistique

RESUME

Dans cet article, nous décrivons d'abord le **principe de fonctionnement** d'un **microscope électronique à balayage** puis nous donnons quelques **applications** de cet instrument au service des enquêteurs pour résoudre des affaires criminelles.

INTRODUCTION

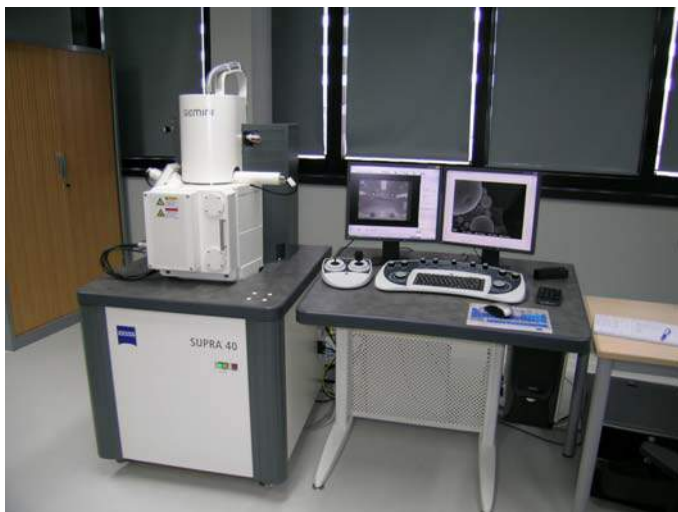


Figure 1. MEB utilisé par l'auteur. Les réglages du microscope se font à partir du clavier visible sous les écrans de contrôle. Le joystick sert à balayer la sonde électronique sur l'échantillon.

Un **microscope électronique à balayage** (*MEB* ou *SEM* pour *scanning electron microscope*) est un **instrument polyvalent**, dont les premiers modèles ont été commercialisés vers le milieu des années 60 (voir figure 1), qui permet d'observer toute sorte d'échantillons avec un fort grossissement et une grande profondeur de champ (« effet relief »). Contrairement aux microscopes optiques (appelés aussi *microscopes*

photoniques), qui utilisent des **photons** pour observer la matière avec des grossissements de quelques unités à mille fois (permettant

d'apprécier des détails de l'ordre du micromètre), les microscopes électroniques à balayage utilisent un faisceau très fin **d'électrons** permettant d'atteindre des grossissements encore plus importants pouvant atteindre un million de fois (permettant d'apprécier des détails mille fois plus petits de l'ordre du nanomètre).

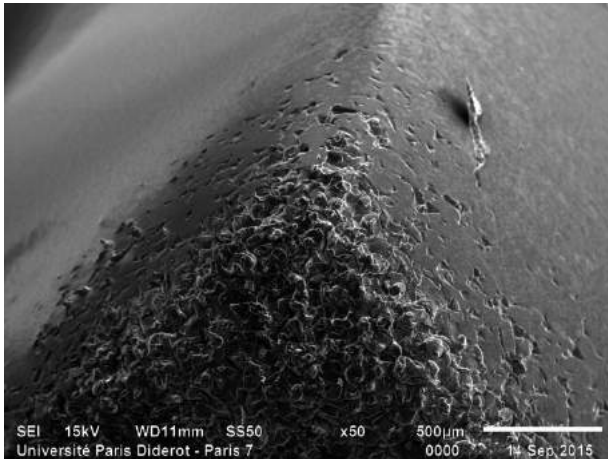


Figure 2. Image MEB en électrons secondaires de la surface d'un rouge à lèvres (copyright. G. Boudarham)

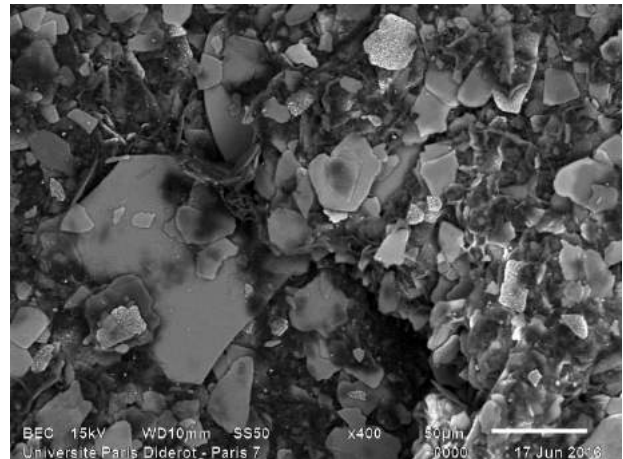


Figure 3. Image MEB en électrons rétrodiffusés d'une poudre cosmétique montrant une structure lamellaire des particules la composant (copyright. G. Boudarham).

Principe de fonctionnement

Le faisceau d'électrons incidents est **balayé** à la surface de l'échantillon à l'aide de bobines magnétiques parcourues par un courant électrique variable. L'interaction entre ces électrons et l'échantillon va émettre de **nouveaux électrons** (électrons secondaires, électrons rétrodiffusés et électrons Auger) et des **rayons X**, qui vont être captés par des détecteurs spécifiques disposés autour de l'échantillon :

- les **électrons secondaires** proviennent des couches superficielles de l'échantillon et permettent d'obtenir des **images caractéristiques de sa surface** (contour, morphologie, etc.) (voir figures 2 et 4) ;
- les **électrons rétrodiffusés**, qui sont sensibles à la nature des atomes qui constituent l'échantillon, permettent de distinguer sur les images des zones de **composition chimique** différente (voir figures 3 et 5) ;
- les **électrons Auger** permettent de faire une **analyse quantitative** de la composition chimique de la **surface** de l'échantillon ;
- les **rayons X** (ou photons X) permettent de faire une **analyse quantitative** de la composition chimique élémentaire de l'échantillon (**microanalyse X**).

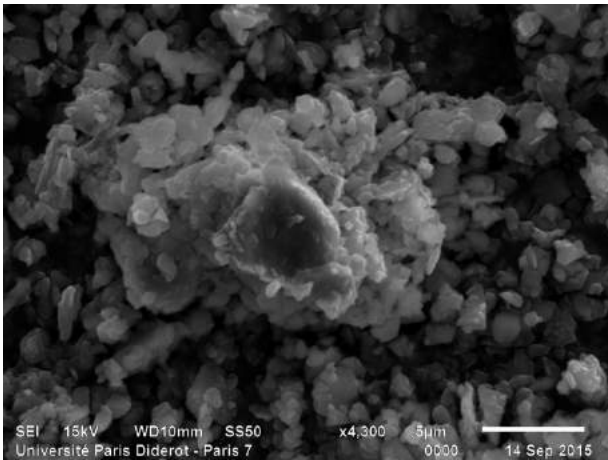


Figure 4. Image MEB en électrons secondaires d'une poudre cosmétique (copyright. G. Boudarham).

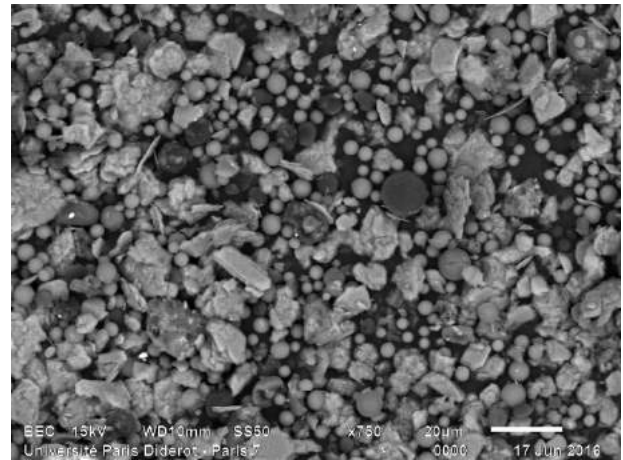


Figure 5. Image MEB en électrons rétrodiffusés d'une poudre cosmétique montrant la diversité des particules la composant (copyright. G. Boudarham).

Ainsi, le microscope électronique à balayage peut être utilisé à la fois pour faire une image de la **topographie de l'échantillon** avec un grossissement pouvant atteindre plusieurs millions de fois (caractérisation morphologique) et pour déterminer la nature des **atomes constituant l'échantillon** (caractérisation chimique).

En pratique, l'échantillon étudié doit être conducteur électrique, ou rendu conducteur par dépôt d'une couche mince de métal ou de graphite (métallisation sous vide), afin d'éviter l'accumulation de charges électriques à sa surface et la présence gênante de zones « lumineuses » sur l'image. Selon la nature du (ou des) échantillon(s) étudié(s), la procédure complète (préparation de l'échantillon / introduction de l'échantillon dans le sas du microscope / réglages du microscope / acquisition des images et des spectres X) peut durer entre quelques heures et plusieurs jours.

Le microscope électronique pour résoudre des affaires criminelles

Cet instrument **polyvalent** peut être utilisé dans les affaires criminelles pour analyser divers types d'objets ou de composés prélevés sur les lieux d'un crime, d'un délit, d'un sinistre ou d'un accident :

- **Résidus de tir** d'armes à feu (balistique) : ce sont des **particules microscopiques** issues de la combustion de la **poudre** et de **l'amorce** contenues dans une munition, des fragments arrachés aux étuis et aux armes ou des particules issues d'un précédent tir situées dans le canon. Dans le cas de munitions avec **métaux lourds**, on cherchera alors à identifier des **particules caractéristiques sphériques** composées de **plomb (Pb)**, **baryum (Ba)** et **antimoine (Sb)**, par

exemple sur les mains d'un suspect et/ou de la victime (après prélèvement à l'aide d'un « tamponnoir MEB ») afin de confirmer ou pas la présence de résidus de tir. Dans le cas de résidus provenant de munitions « **non toxiques ou sans plomb** », on cherchera à identifier des particules caractéristiques composées de **gadolinium (Gd)- titane (Ti)-zinc (Zn)** ou de **gallium (Ga)-cuivre (Cu)-étain (Sn)**. D'autres particules **compatibles** avec des résidus de tir (mais non caractéristiques) peuvent aussi être recherchées. En pratique, un logiciel de **comptage automatique** est utilisé pour réaliser un histogramme des tailles des particules identifiées sur le tamponnoir. **Après interprétation des résultats et confrontation aux données de l'enquête, ils pourront être exploités pour vérifier la compatibilité d'un témoignage avec les faits (suicide par arme à feu vs homicide), estimer une distance de tir, identifier un orifice de projectile, etc.**

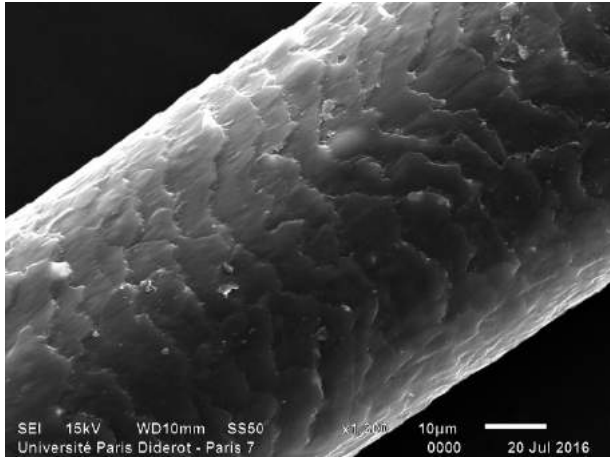


Figure 6. Image MEB d'un cheveu prélevé sur un peigne. Les écailles sont visibles en surface (copyright. G. Boudarham).

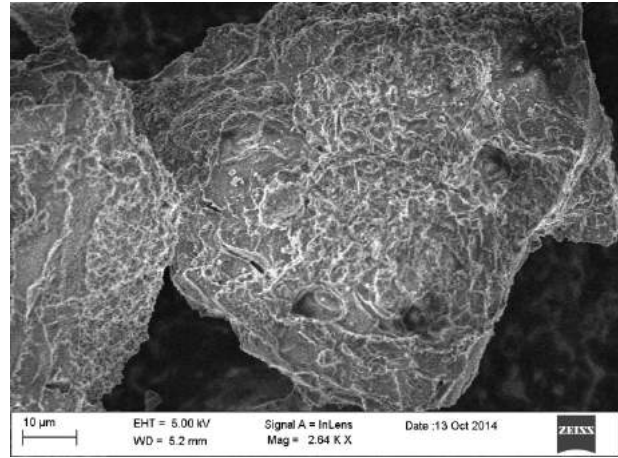


Figure 7. Image MEB d'une fraction de poudre prélevée sur les lieux d'une explosion après un attentat terroriste. D'autres analyses (FX et DRX) ont montré qu'il s'agissait d'argile (copyright. G. Boudarham).

- **Pollens** (palynologie légale) : ce sont des grains de forme ovoïde ou sphérique de quelques dizaines de micromètres de diamètre provenant de végétaux et qui constituent des **gamétophytes mâles** (structures donnant des cellules reproductrices ou gamètes mâles). De morphologie complexe, ils possèdent des caractéristiques spécifiques : une espèce végétale produit un type particulier de **pollens** ou de **spores**, très résistants à la destruction biologique et généralement produits en grande quantité. L'observation de ces grains de pollen au microscope électronique à balayage permet de caractériser leur **forme**, leur **structure**, leur **origine**, etc. **Dans une affaire criminelle, leur examen permettra de caractériser un milieu, d'établir un lien entre un objet ou une personne avec un milieu ou un site particulier, d'estimer une période (mois, saison) de commission des faits, etc.**

- **Filament de lampe à incandescence** (accidentologie) : l'observation au microscope électronique à balayage du **faciès de rupture** du filament d'une lampe à incandescence provenant des optiques d'un véhicule impliqué dans un accident de la circulation peut être déterminante, notamment dans le cas d'un **délit de fuite** pour vérifier la compatibilité d'un témoignage. **En effet, la présence d'une perle de verre en fusion provenant du lobe protecteur de l'ampoule signifie que l'ampoule était allumée au moment du choc, confirmant ou pas les témoignages recueillis.**

La microscopie électronique à balayage couplée à la microanalyse X peut servir également, en complément d'autres techniques analytiques (spectroscopies Raman, infrarouge, *etc.*), à caractériser d'autres types de composés pouvant être recueillis par les enquêteurs sur une scène de crime (voir figures 6 et 7) : **fibres, cheveux, argiles, céramiques, peintures, produits cosmétiques, poudres inconnues, etc.**

CONCLUSION

Le microscope électronique à balayage est un **instrument polyvalent** que l'on peut prendre en main rapidement et qui est largement utilisé dans les laboratoires de recherche et industriels : médecine, biologie, métallurgie, physique, *etc.* pour caractériser divers matériaux. Dans les laboratoires de police scientifique, ils sont utilisés, souvent en complément d'autres techniques analytiques, pour **étudier** et/ou **comparer** la forme, la structure et la composition chimique d'objets ou composés prélevés par les enquêteurs sur le terrain. **Les résultats obtenus et leur interprétation dans le contexte de l'affaire pourront ainsi apporter de nouvelles preuves au juge et contribuer dans les cas favorables à la résolution de l'enquête.**

AUTEUR

Docteur Guillaume BOUDARHAM
Laboratoire Pluridisciplinaire de Criminalistique
20, bis rue Louis Philippe
92 200 Neuilly-sur-Seine (France)
Port : 06 88 61 52 00
Mail : guillaume.bouardham@lpc-expert.fr
Site web : www.lpc-expert.fr
Crossmatch Technologie

BIBLIOGRAPHIE

C. Colliex, La microscopie électronique, Que sais-je ? , 1998

ASTM E1588-16a, Standard Practice for Gunshot Residue Analysis by Scanning Electron Microscopy/Energy Dispersive X-Ray Spectrometry, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016

ASTM E2228-10, Standard Guide for Microscopic Examination of Textile Fibers, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010



Laboratoire
Pluridisciplinaire de
Criminalistique
Les Sciences Physiques et Chimiques
au Service de la Justice