

Principe de fonctionnement du MEB

Etudiants de l'IUT Mesures-Physiques ayant participé au projet :

Pénélope Nicolas

Lise Febvre

Arthur Durand-Falcoz



I/ Présentation générale du MEB

Le MEB est aujourd'hui un outil indispensable pour la caractérisation des matériaux. Il permet d'obtenir des informations à la fois sur la topographie de l'échantillon et sa composition chimique élémentaire. La microscopie électronique à balayage est souvent utilisée après un premier examen de l'échantillon par microscopie optique et avant des études plus fines par microscopie électronique en transmission. C'est aussi une méthode couramment combinée avec d'autres techniques d'analyse, utilisant les rayons X par exemple (diffraction, fluorescence...). Il est possible de coupler le MEB à un système de microanalyse X pour obtenir des informations sur la composition chimique élémentaire de la cible. Cette microanalyse peut être qualitative, lorsque l'on détermine la nature de tous les éléments présents ou quantitative si l'on cherche à établir la concentration massique de ces éléments.

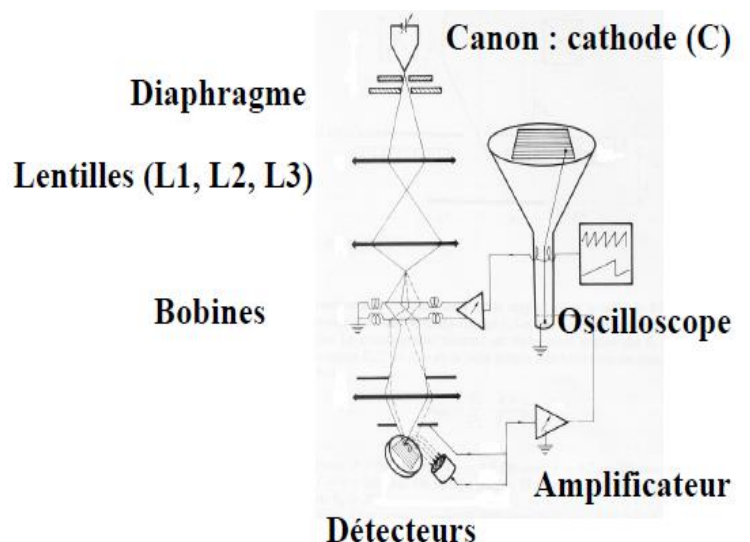
II/ Appareillage et principe de fonctionnement

L'ensemble du MEB est maintenu sous vide secondaire (pression à l'intérieur de l'enceinte généralement de l'ordre de $6.6.10^{-8}$ à $2.6.10^{-9}$ atm) à l'aide d'une pompe primaire (pompe à palette) et d'une pompe secondaire (pompe turbo moléculaire) montées en série. Ce système de vide permet d'augmenter le libre parcours moyen des électrons dans la colonne et d'assurer leur interaction avec l'échantillon.

Les électrons sont produits au niveau du canon à électrons qui comprend une cathode et une anode. Un très fin filament de tungstène, chauffé par effet Joule, émet spontanément des électrons. Ce filament est placé à l'intérieur d'une pièce polaire (appelée Wehnelt), chargée négativement, dont la sortie est limitée par un diaphragme. A la sortie du Wehnelt converge un faisceau appelé cross-over de 50 μm environ. Cet ensemble filament / Wehnelt est isolé dans une céramique et constitue la

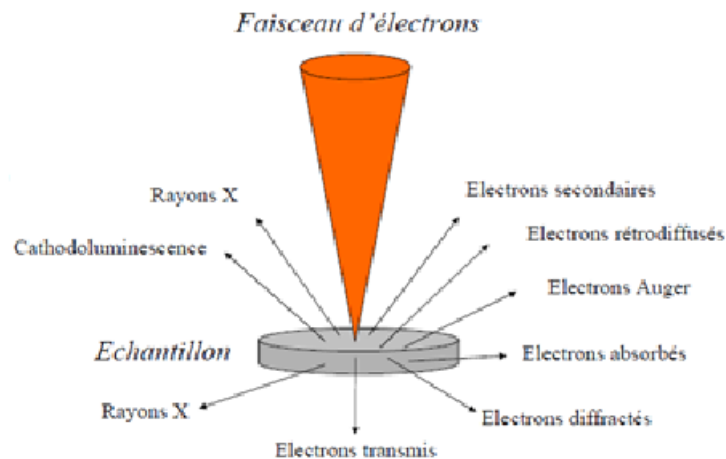
cathode du canon. Pour augmenter l'énergie des électrons incidents et les accélérer, une anode polarisée entre 1 et 25 kV est placée après la cathode.

Le faisceau d'électrons entre alors dans la colonne, à l'intérieur de laquelle il est condensé puis focalisé à l'aide de lentilles électromagnétiques. Les deux premières lentilles rencontrées par le faisceau sont appelées condenseur et ont pour but de réduire la taille de l'image du cross-over. La dernière lentille (lentille objectif) sert à focaliser le faisceau sur l'échantillon. Elle détermine donc la hauteur du point de focalisation du faisceau que l'on



appelle généralement distance de travail (Wd). Ces lentilles contribuent à former sur l'échantillon une image très réduite du cross-over (de l'ordre de quelques nanomètres).

III/ Interactions électrons-matière



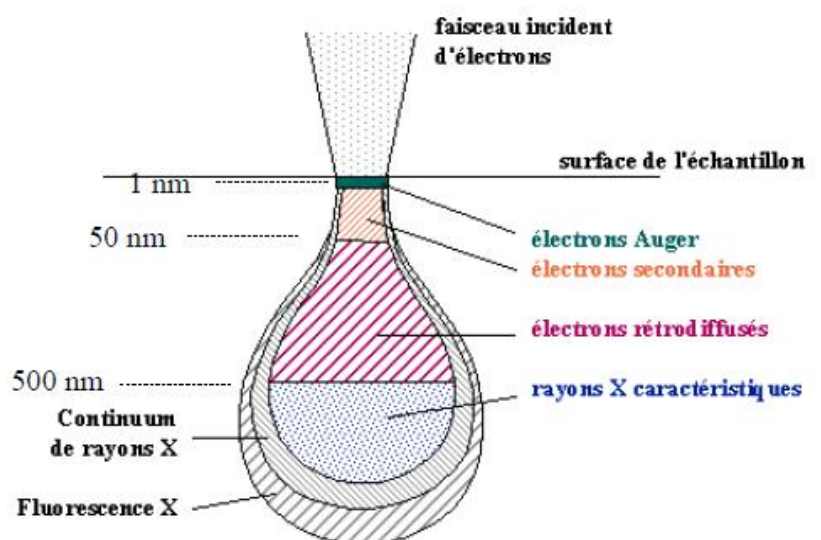
1) Les différentes interactions électrons-matière rencontrées dans un MEB

Lors de leur pénétration dans la matière, les électrons incidents interagissent de différentes manières avec les atomes de la cible. A proximité de la zone de contact avec la sonde, un certain volume de matière, en forme de poire est excité (voir Figure1). Au cours de deux événements principaux : les **interactions élastiques et inélastiques**, plusieurs sortes de radiations y prennent naissance, chacune porteuse d'information.

Figure 1. Zone de matière excitée par une sonde électronique et différentes radiations émergentes

a. Interactions inélastiques

Si un électron incident passe à une distance inférieure au rayon atomique du centre d'un atome, il peut se produire une collision électron/électron entraînant un transfert d'énergie de l'énergie incidente à l'atome. C'est ce que l'on appelle une collision



inélastique : un électron de l'atome est expulsé et l'atome ionisé est placé dans un état excité.

L'électron extrait, qui est animé d'une assez faible énergie amorce une trajectoire qui peut l'amener à émerger (s'il est assez superficiel pour qu'aucune autre collision n'absorbe son énergie), et il prend alors le nom **d'électron secondaire**. L'origine toujours superficielle de ces électrons en fait des témoins de la **topographie** de la surface qui les émet.

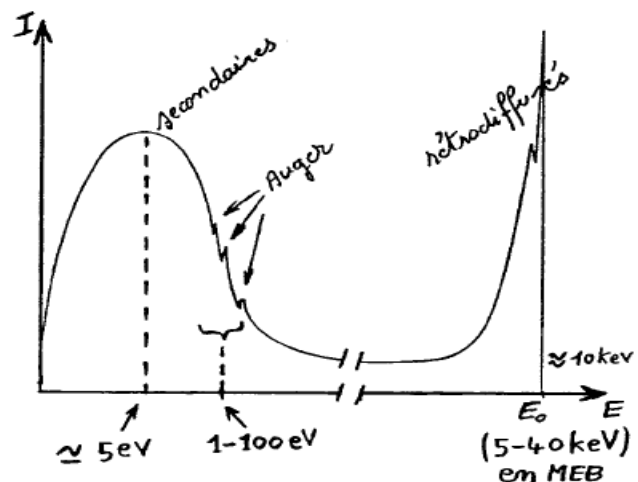
Pour occuper les états énergétiques laissés vacants, les autres électrons de l'atome excité sont soumis à un réarrangement au cours duquel chaque saut entre deux couches ou sous-couches électroniques est accompagné de l'émission de l'énergie correspondante, soit sous forme d'un photon X, soit sous forme d'électron Auger. Leur énergie permet aux rayons X de franchir aisément l'épaisseur de la matière excitée par les électrons incidents où ils ont pris naissance.

Dans l'interaction inélastique, l'électron incident est peu dévié. Il perd une énergie égale à celle transférée à l'atome.

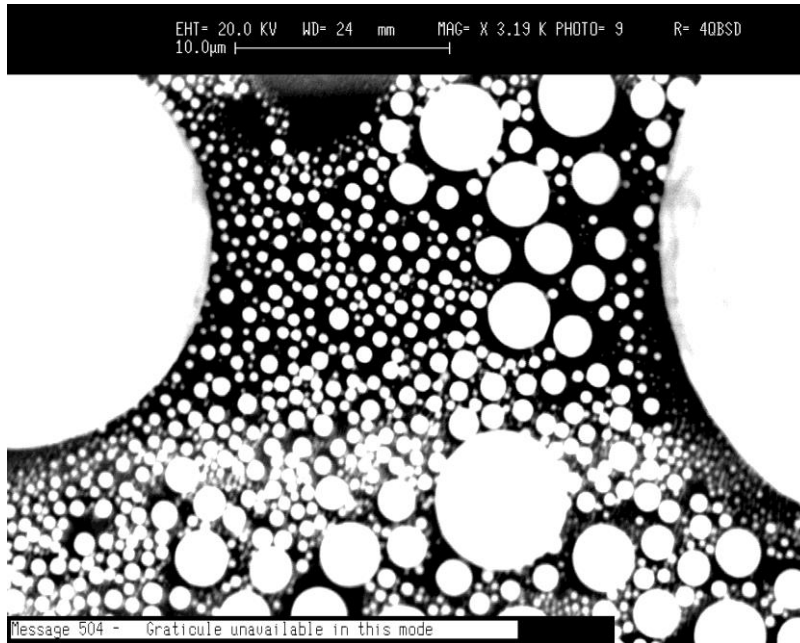
b. Interactions élastiques

Si un électron incident passe dans le voisinage d'un atome, à une distance de son centre légèrement supérieure au rayon atomique, il subit une forte déviation accompagnée seulement d'une faible perte d'énergie (voir *Figure 2*). On dit qu'il participe à une collision élastique. Dans la limite de 500 nm environ de profondeur (voir *Figure 1*), l'électron incident dévié peut émerger à nouveau et prend le nom **d'électron rétrodiffusé**. Au cours du bombardement par les électrons incidents, le nombre d'interactions élastiques, et donc le nombre d'électrons rétrodiffusés croît. L'émission rétrodiffusée à la surface de la cible est donc porteuse d'informations sur la **composition chimique** de l'échantillon bombardé.

Figure 2. Spectre d'énergie des électrons émis.



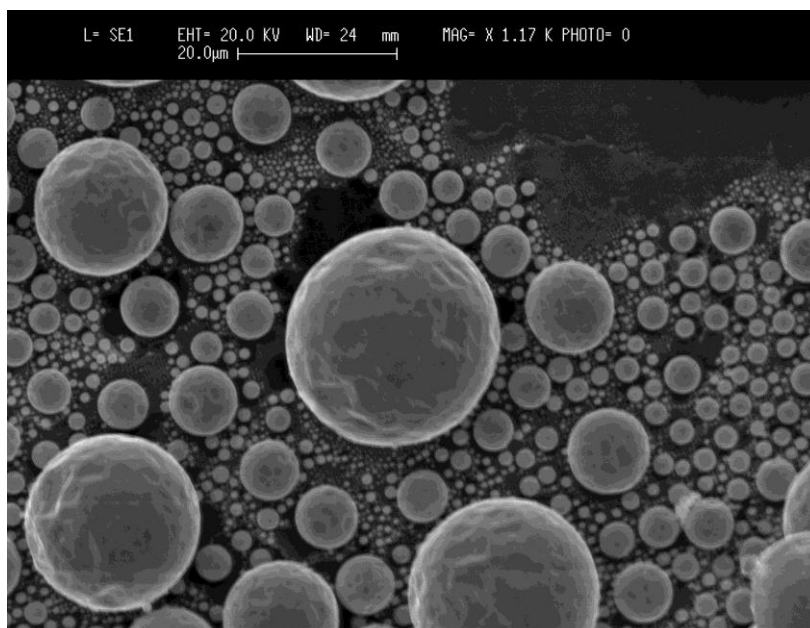
2) Images acquises lors de manipulations avec les deux modes d'imagerie par des étudiants du département Mesures-Physiques :



➤ Billes d'étain (Sn : Z=50) de divers diamètres sur une surface de carbone (C : Z=6) en **imagerie « électrons rétrodiffusés »**.

Selon le numéro atomique, l'élément ressort de l'échantillon avec un contraste différent. Les éléments ayant un numéro atomique élevé (Sn) ressortent en clair sur ce mode alors que ceux ayant un numéro atomique plus faible (C) sont en foncé. Ceci est dû au fait que plus le numéro atomique de l'élément est grand, plus il y a d'interactions élastiques avec les électrons bombardés. Enfin, plus le

nombre d'électrons rétrodiffusés est important, plus l'intensité émise et détectée augmente. On obtient ainsi des informations sur la **composition chimique** de l'échantillon.



➤ Même échantillon que précédemment

On observe cette fois-ci en **imagerie « électrons secondaires »**. On obtient des informations sur la **topographie** de l'échantillon (diamètre des billes, disposition, contraste de hauteur...)

IV/ Détection des différents signaux et les différents modes d'utilisation

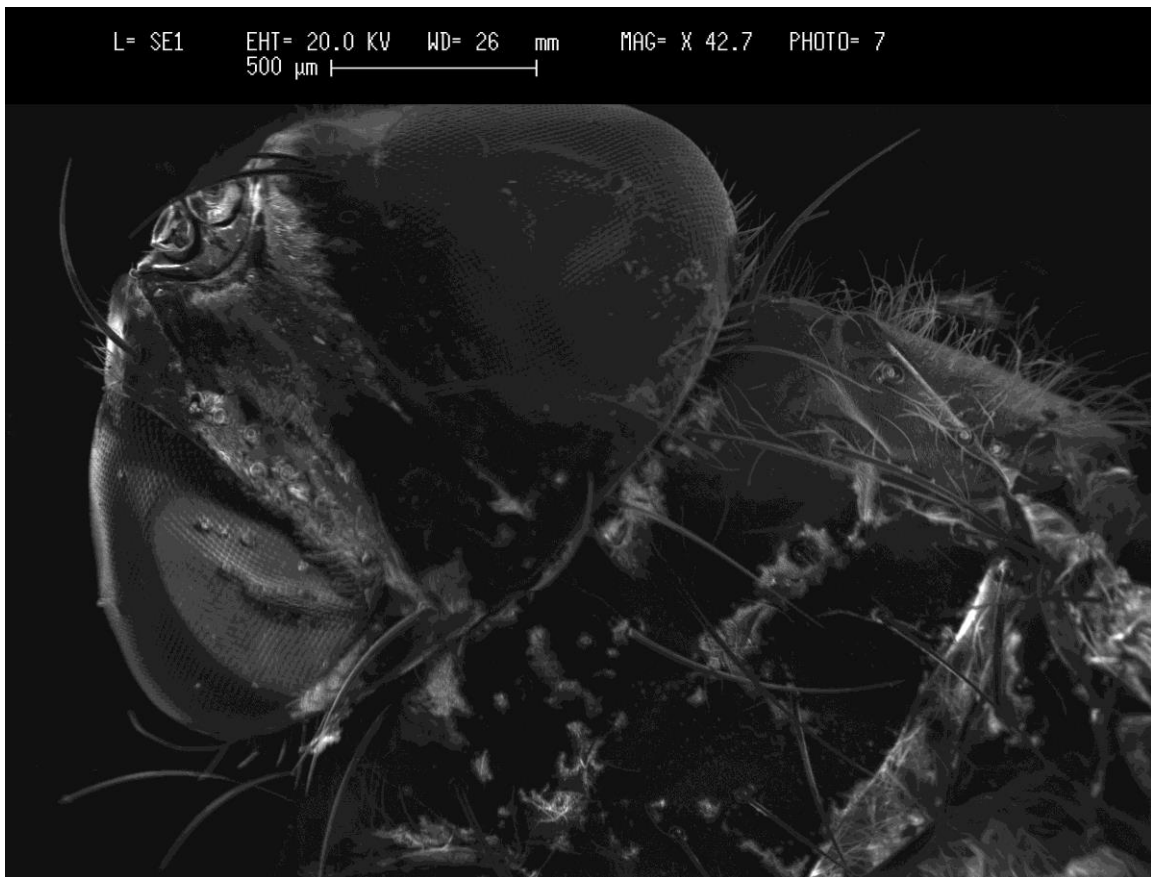
a. Imagerie en électrons secondaires

Pour récupérer ces électrons de faible énergie, on utilise un détecteur dit d'Everhart et Thornley. Son principe est le suivant : les électrons secondaires sont attirés par une grille polarisée à environ 200V. Ils sont ensuite accélérés et viennent frapper un scintillateur. Celui-ci émet un photon pour un électron reçu. Les photons ainsi créés traversent un guide de lumière jusqu'à un photomultiplicateur qui réémet alors 10^6 photons pour un photon arrivant sur la photocathode. On obtient donc en sortie du détecteur un courant proportionnel au nombre d'électrons émis par la surface et les images obtenues renseignent sur la topographie de l'échantillon. Ce détecteur qui joue le rôle d'« aspirateur » est placé sur le côté de la chambre.

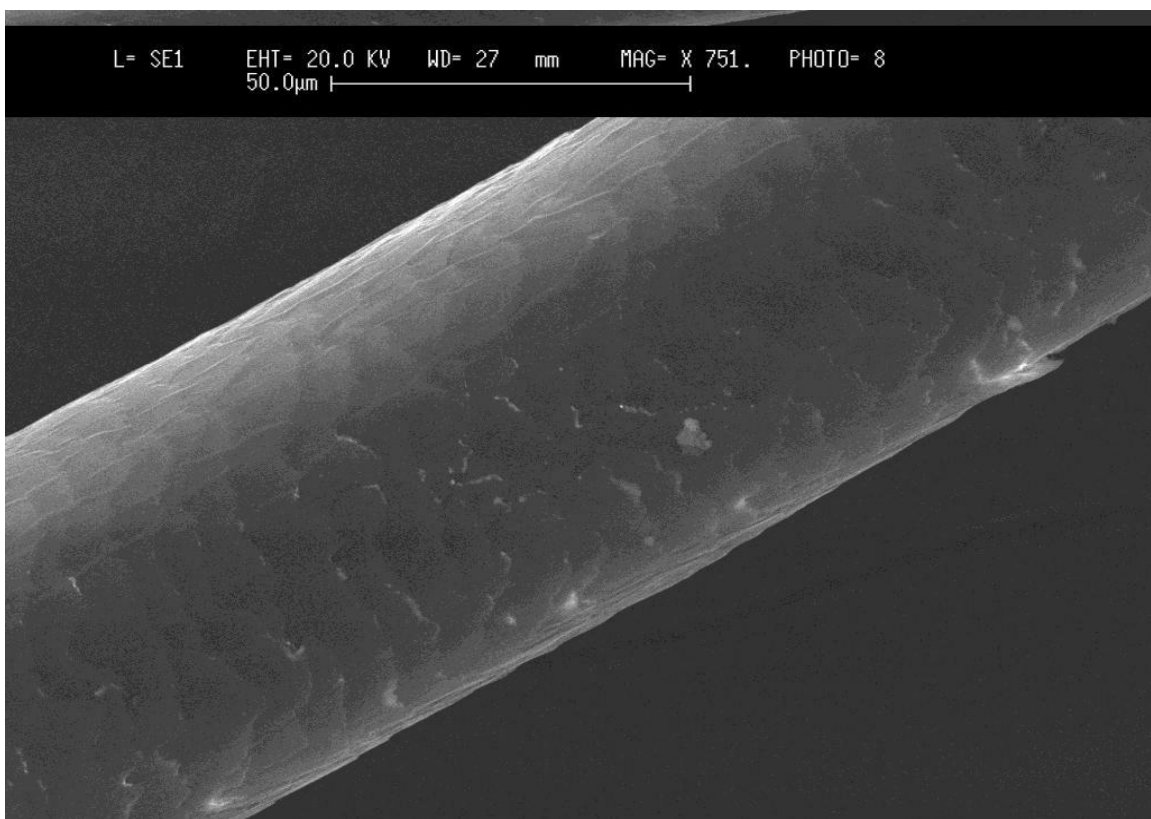
b. Imagerie en électrons rétrodiffusés

Pour observer ce signal, le même détecteur que précédemment peut être utilisé à condition de changer la polarisation de la grille (-50 à -100V). Un détecteur semi-conducteur de type diode, qui est placé juste au-dessus de l'échantillon est aussi utilisé. Lorsqu'un électron pénètre dans le semi-conducteur, il y a création d'une paire électron-trou. Si les faces opposées du semi-conducteur sont polarisées, les électrons ainsi formés sont attirés par la face positive et les trous par la face négative. Il y a donc apparition d'un courant proportionnel au nombre d'électrons rétrodiffusés. Dans notre cas, le détecteur est composé de 4 diodes et offre donc des possibilités supplémentaires. Les signaux issus des 4 segments peuvent en effet être soustraits ou sommés pour renforcer le contraste chimique de l'image ou introduire des informations d'ordre topographique.

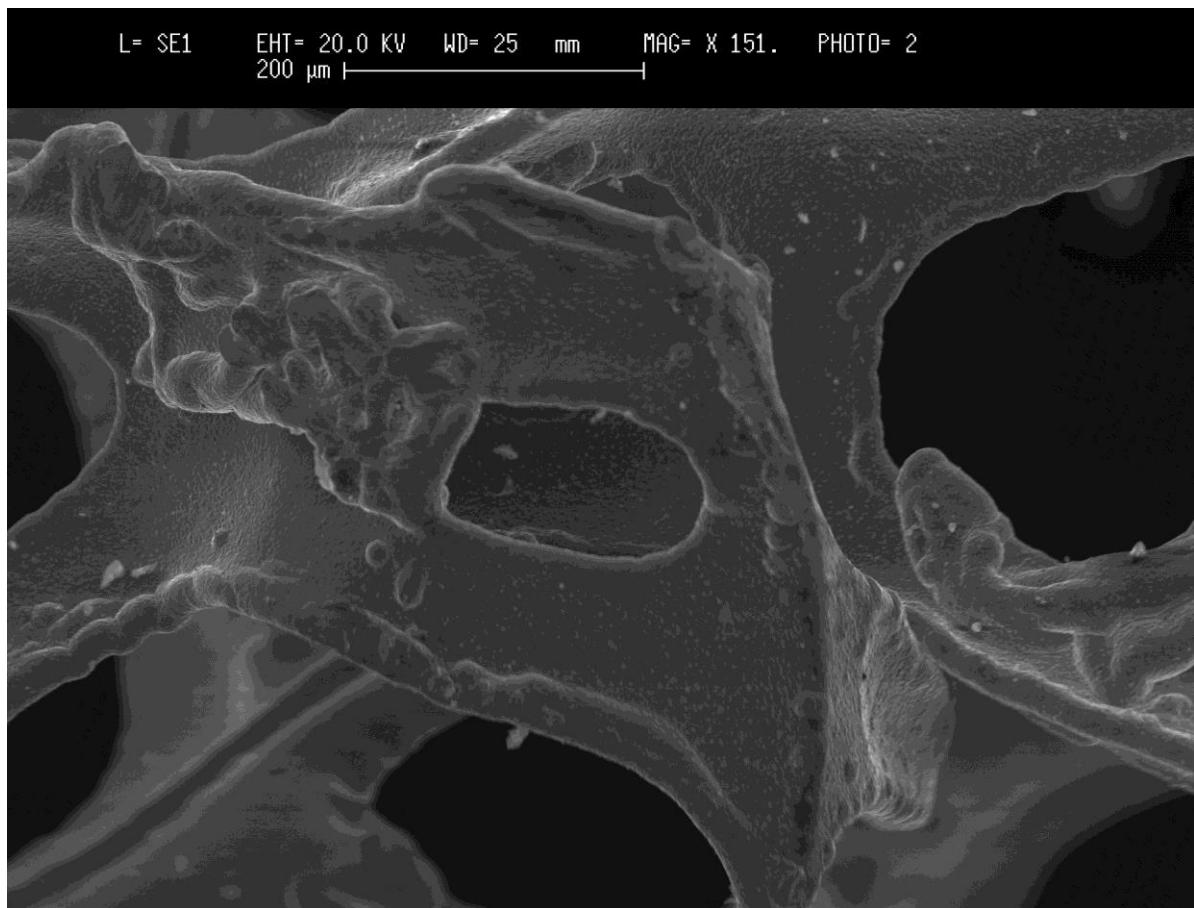
V/ Annexe : Autres images acquises à différentes échelles par les étudiants



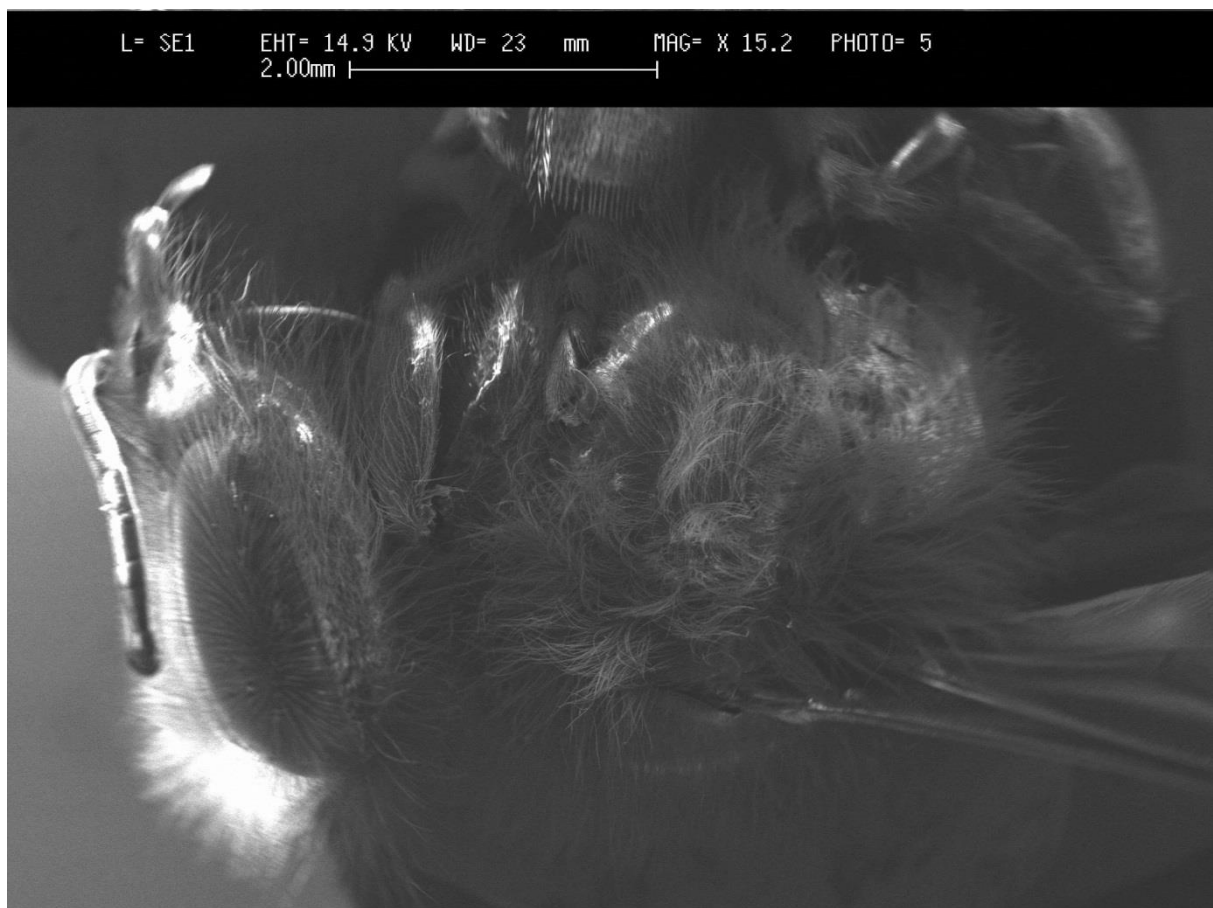
Tête d'une mouche



Cheveu d'une étudiante



Mousse de Nickel



Abeille