

Fonctionnement du microscope à balayage

Le microscope électronique est une enceinte sous vide secondaire (10^{-6} à 10^{-11} bars) où un canon à électrons va balayer le matériau avec un faisceau afin de réaliser des images à fort grossissement, tout en couplant une microanalyse à l'imagerie.

I Instrumentation

A. Canon à électrons

Le canon à électrons doit générer un faisceau d'électrons monocinétiques (idéalement). On le caractérise par sa **brillance** qui donne le nombre d'électrons envoyés par unité de temps et de surface.

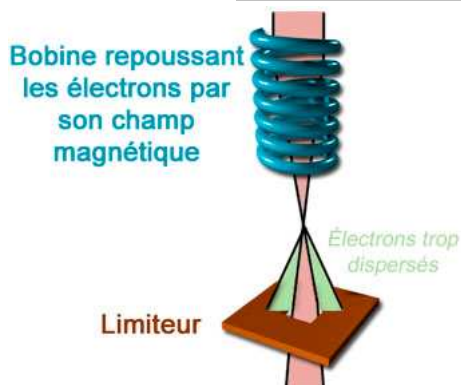
Plus la source est brillante, plus il y aura d'électrons envoyés sur un point de la cible. On pourra donc réduire la taille du faisceau tout en obtenant un signal observable, ce qui signifie un zoom plus poussé.

Il existe trois types de sources, par brillance croissante : à **filament de tungstène**, à **filament de B_6La** et à **effet de champ** (avec un cristal de tungstène). Plus la source est brillante, meilleure elle est pour la microscopie et plus elle est chère.

La source à filament de tungstène a la forme d'un **wehnelt**. Ce dispositif produit des électrons à partir d'un *fil de tungstène chauffé au rouge* par effet Joule. Ses électrons sont arrachés et accélérés par une **anode**. Pour que le faisceau ne se disperse pas, une **cathode** est placée entre les deux.

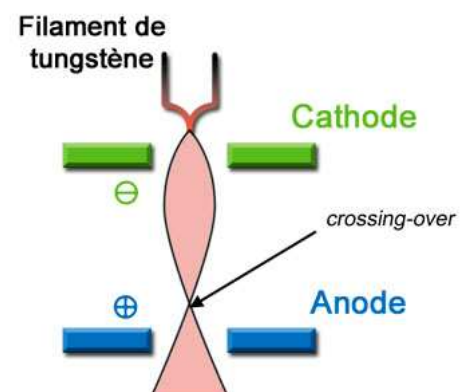
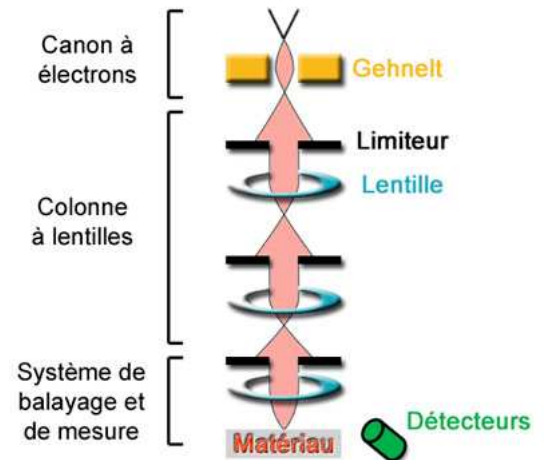
Le faisceau produit se croise au niveau d'un point appelé **cross-over**, d'un diamètre de 100 à 150 μm . De la qualité de ce cross-over dépend la précision de la sonde. Celui-ci doit être le plus petit, le plus rond et le plus homogène possible.

B. Optique électronique



Les lentilles électroniques sont en fait des bobines, le plus souvent en fer doux. C'est un acier mou enrichi en fer, qui a une odeur de vomit. Il a la propriété de créer des champs magnétiques importants dans une bobine.

Les bobines créent un champ magnétique qui repousse les électrons vers le centre, de la même manière qu'une lentille optique. Comme précédemment, plus la taille du faisceau est petite, meilleure sera la résolution.



Ces lentilles présentent certaines anomalies :

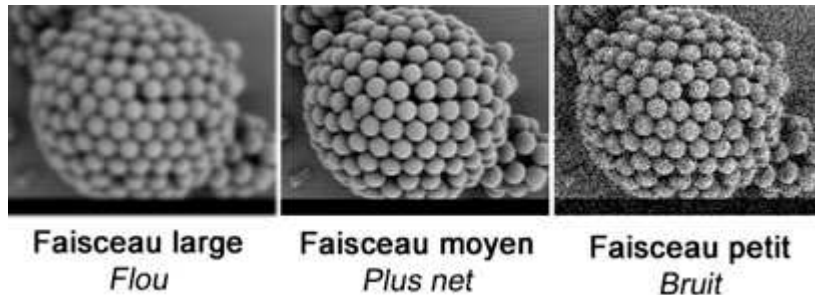
- ➔ **Aberrations de sphéricité** : les électrons très près de la bobine ne convergent pas au même point, ils sont plus déviés. Cette aberration est évitée grâce à un **limiteur**.
- ➔ **Aberration chromatique** : les électrons n'ont en réalité pas tous la même énergie. Ils subissent donc les accélérations plus ou moins fortement et ne convergent pas exactement en un point précis. Ce sont de faibles écarts, dus à la technologie utilisée.
- ➔ **Astigmatisme axial** : la bobine n'est jamais parfaite, elle possède certaines imperfections qui modifient la qualité de son champ magnétique. Cette anomalie est la plus difficile à corriger. Elle est à l'origine d'un flou et d'une déformation de l'image.

II Réglages de la sonde

A. Dimension et intensité de la sonde

En modifiant l'intensité du courant circulant dans les lentilles, on modifie leur force et donc on change la taille du faisceau des électrons (avec perte de brillance).

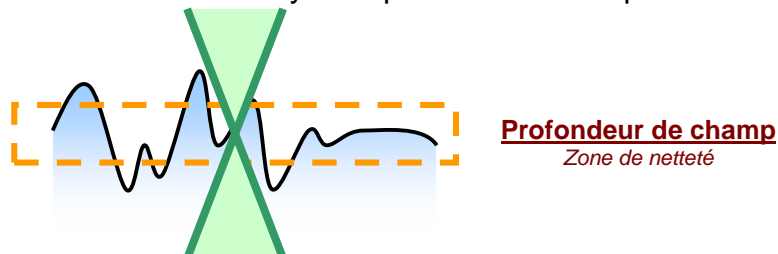
Plus ce faisceau est petit, plus on pourra avoir une résolution plus précise. Cependant, on diminue l'intensité du signal mesuré. Au bout d'un moment ce signal se confond avec le bruit, et on observe des parasites sur l'image.



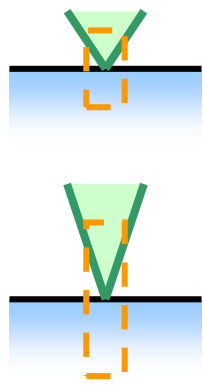
C'est l'**effet taille de spot**. Il faut donc trouver un compromis entre résolution et bruit. Il est possible de retirer le bruit en ralentissant le balayage. La sonde passant plus de temps au dessus de l'échantillon, le signal reçu est plus important.

B. Profondeur de champ

Selon la **distance de travail** (distance entre le matériau et l'arrivée du faisceau), la taille du faisceau balayé est plus ou moins importante.



Plus le faisceau est petit, plus l'image a une bonne résolution ; cela signifie que les faces se trouvent en avant ou en arrière-plan apparaissent floues. La zone où les objets apparaissent nets s'appelle la **profondeur de champ**.



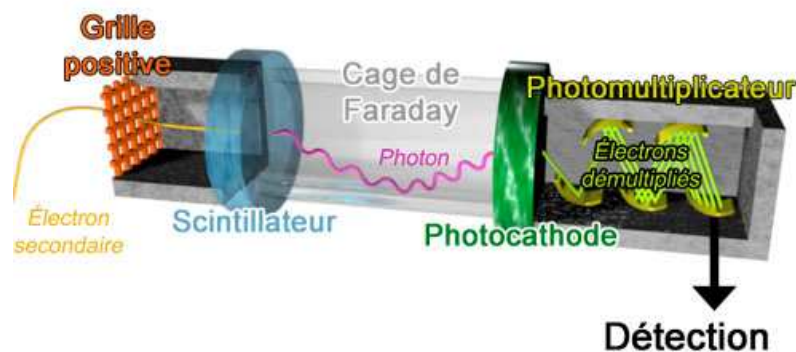
On peut augmenter la profondeur de champ en augmentant la distance de travail, mais la résolution sera moins bonne car les électrons devront traverser un espace plus grand, et y subiront des dispersions dues au vide non parfait.

III Détection des signaux

Les détecteurs sont placés dans la chambre de l'échantillon, au-dessus et/ou à côté.

A. Électrons secondaires

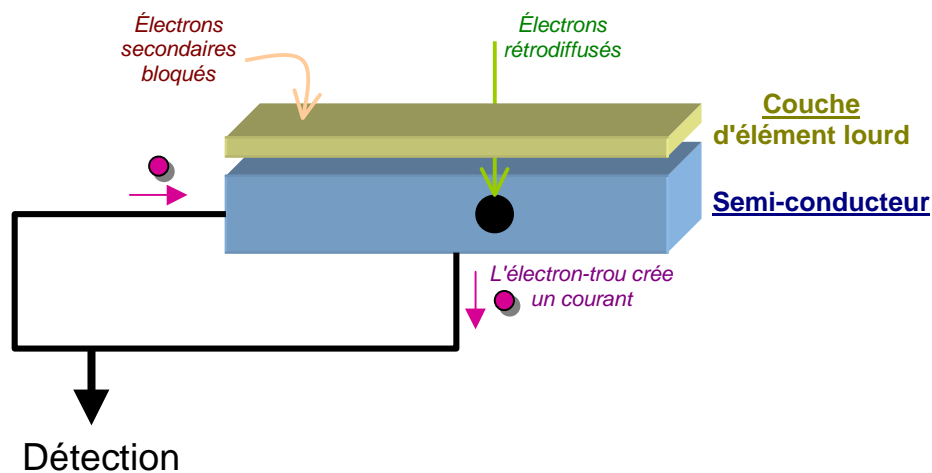
Les électrons secondaires ont une énergie beaucoup plus faible que les électrons incidents et rétrodiffusés. Ceux-ci peuvent être déviés de leur trajectoire, sans toucher à celle des autres électrons.



Une *grille chargée positivement* attire les électrons secondaires. Ils se cognent ensuite sur un **scintillateur** qui convertit l'électron en rayonnement électromagnétique. La lumière est guidée, grâce à une *cage de Faraday*, vers une *photocathode* liée à un **photomultiplicateur**. Celle-ci va convertir la lumière en signal électronique intensifié.

B. Électrons rétrodiffusés

Le détecteur pour les électrons rétrodiffusés est très petit, on le place donc directement au dessus de l'échantillon, près du faisceau de balayage afin d'en capter le plus possible.



Les électrons sont détectés grâce à un *matériau semi-conducteur*. Le choc d'un électron crée une **paire électron-trou**, soit le délogement d'un électron qui

devient conducteur. Une *fine couche d'un élément lourd* (souvent de l'or) le recouvre pour bloquer les électrons secondaires.

C. Rayons X

Le détecteur des photons X est le **spectromètre à dispersion d'énergie**. La détection se fait de la même manière que pour les électrons rétrodiffusés, mais avec un *semi-conducteur adapté* (ici du Lithium), et une *fenêtre ne laissant passer que les photons X*.

Le spectre s'obtient rapidement et donne une analyse qualitative et semi-quantitative du matériau directement placé sous la sonde.