

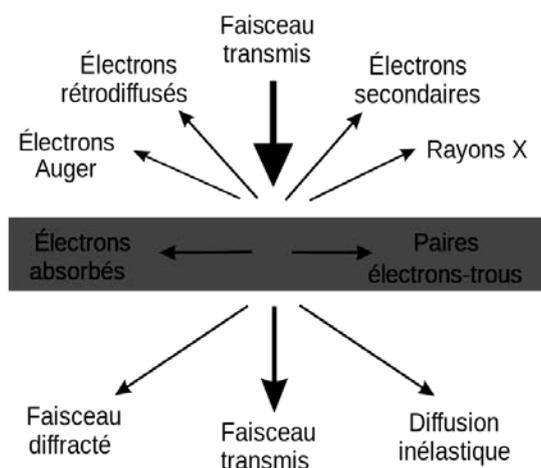
## CH IV Spectroscopie à électrons

### I. Définition :

Il s'agit de bombarder l'échantillon étudié par un faisceau d'électrons et d'analyser le rayonnement obtenu.

Le faisceau électronique traversant l'échantillon interagit avec les atomes constituant ce dernier, et produit différentes sortes de rayonnement. Les observations portent essentiellement sur le faisceau transmis, mais il est aussi possible d'étudier les rayonnements émis de type rayonnements X , électron secondaire, rétrodiffusé, Auger.

En ce qui concerne le faisceau transmis, il est le résultat de diffusions élastique et inélastique, Ces deux diffusions conservent la quantité de mouvement, mais la première conserve l'énergie cinétique et contribue en grande partie aux interactions tandis que la seconde conserve l'énergie totale.



### II. Microsonde à électrons

La microsonde à électrons ou microsonde de Castaing est une méthode d'analyse inventée en 1951 par Raimond Castaing. Elle consiste à bombarder un échantillon avec des électrons, et à analyser le spectre des rayons X émis par l'échantillon.

Lors du bombardement d'un échantillon, certains électrons cèdent une partie de leur énergie cinétique à l'atome, provoquant l'éjection d'un électron de cœur de l'atome ; l'atome se désexcite en émettant un photon X.

Une sonde électronique est formée par une source d'électrons par deux ou trois lentilles magnétiques. Les électrons frappent l'échantillon à analyser avec une énergie d'impact qui peut varier de quelques centaines d'eV jusqu'à 30 keV. Les photons X émis par l'échantillon sous l'impact des électrons sont analysés par les spectromètres à rayons X.

### III. Diffraction des électrons

La diffraction des électrons est une technique utilisée pour l'étude de la matière. Elle consiste à bombarder d'électrons un échantillon et à observer la figure de diffraction résultante. Ce phénomène se produit en raison de la dualité onde-particule, qui fait qu'une

particule matérielle (dans le cas de l'électron incident) peut être décrite comme une onde. Ainsi, un électron peut être considéré comme une onde.

La longueur d'onde d'un électron est donnée par l'équation de De Broglie :

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

Ici  $h$  est la constante de Planck et  $p$  la quantité de mouvement de l'électron. Les électrons sont accélérés dans un potentiel électrique jusqu'à atteindre la vitesse requise :

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m_0}}$$

Où  $m_0$  est la masse de l'électron, et  $e$  la charge élémentaire. La longueur d'onde de l'électron est alors donnée par :

$$\lambda = \frac{h}{m_0 v} = \frac{h}{\sqrt{2m_0 eU}}$$

On distingue trois types de diffraction à électrons :

1. La diffraction d'électrons lents (LEED : Low Energy Electron Diffraction) : c'est une technique qui permet d'étudier la structure et la symétrie des surfaces. L'analyse de surface peut être obtenue en utilisant des électrons de faible énergie cinétique ( $50 \text{ eV} < E < 100 \text{ eV}$ )

2. Diffraction des électrons très énergétiques ( $E > 1 \text{ keV}$ ), c'est le cas de la méthode RHEED (Reflexion High Energy Electron Diffraction). c'est un outil indispensable pour suivre l'évolution de la croissance de films minces en temps réel.

3. La diffraction d'électrons rétrodiffusés (en anglais electron backscatter diffraction ou EBSD) est une technique permettant de mesurer l'orientation cristallographique de nombreux matériaux.

#### IV Microscope électronique

Un microscope électronique (ME) est un type de microscope qui utilise un faisceau de particules d'électrons pour illuminer un échantillon et en créer une image très agrandie. Les microscopes électroniques ont un plus grand pouvoir de résolution que les microscopes optiques qui utilisent des rayonnements électromagnétiques. Ils peuvent obtenir des grossissements beaucoup plus élevés allant jusqu'à 5 millions de fois, alors que les meilleurs microscopes optiques sont limités à un grossissement de 2000 fois. La résolution et le grossissement plus grands du microscope électronique sont dus au fait que la longueur d'onde d'un électron (longueur d'onde de Broglie) est beaucoup plus petite que celle d'un photon de lumière visible.

Ainsi, dans un microscope électronique, le potentiel d'accélération est habituellement de plusieurs milliers de volts, permettant à l'électron d'atteindre une proportion appréciable de la vitesse de la lumière. À ces vitesses, les effets relativistes doivent être pris en compte. On peut démontrer que la longueur d'onde des électrons est modifiée selon :

$$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_0 eU}} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{eU}{2m_0 c^2}}}$$

Où  $c$  est la vitesse de la lumière. Le premier terme correspond au terme non relativiste comme décrit plus haut, le second correspond au facteur relativiste.

On distingue deux types de microscopes électroniques :

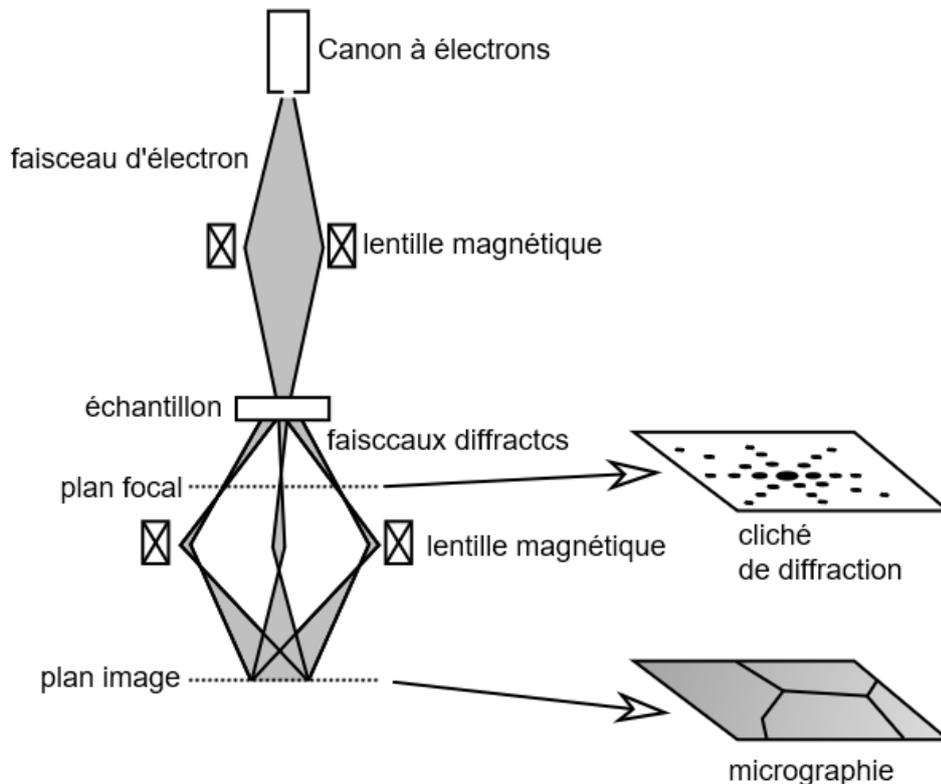
### 1. Microscope électronique en transmission

Le microscope électronique en transmission (MET) utilise un tungstène comme cathode source d'électrons. Le faisceau d'électrons est accéléré par une anode en général à 100 keV (40 à 400 keV) par rapport à la cathode, concentré par des lentilles magnétiques, et transmis sur la cible qui est en partie transparente pour les électrons et en partie les disperse. Quand il ressort de l'échantillon, le faisceau d'électrons comporte des informations sur la structure de l'échantillon qui sont amplifiées par le système de lentilles de l'objectif du microscope. L'image peut être enregistrée photographiquement par un ordinateur.

Un microscope électronique en transmission est composé des principaux éléments suivants :

- d'un canon à électrons, qui fournit le faisceau électronique ;
- de lentilles magnétiques ;
- d'un système de détecteurs d'électrons.

Une lentille magnétique consiste en une bobine parcourue par un courant. Le mouvement des électrons dans les lentilles est alors dévié lors de leur passage dans le champ magnétique.



### 2. Microscope électronique à balayage

À la différence du MET, où le faisceau d'électrons à haute tension porte l'image de l'échantillon, le faisceau d'électrons du microscope électronique à balayage (MEB) produit

des images par sondage de l'échantillon avec un faisceau d'électrons qui est analysé sur une zone rectangulaire de l'échantillon. Sur chaque point le faisceau d'électrons incident perd de l'énergie. Cette perte d'énergie est convertie en autres formes, comme la chaleur, l'émission d'électrons secondaires de basse énergie, l'émission de lumière ou l'émission de rayons X. L'afficheur du MEB représente l'intensité variable de l'un de ces signaux dans l'image.

La résolution de l'image d'un MEB est plus faible que celle d'un MET. Toutefois, parce que l'image du MEB repose sur les processus de surface plutôt que sur la transmission, il est en mesure de livrer des images en trois dimensions de la structure de l'échantillon.

