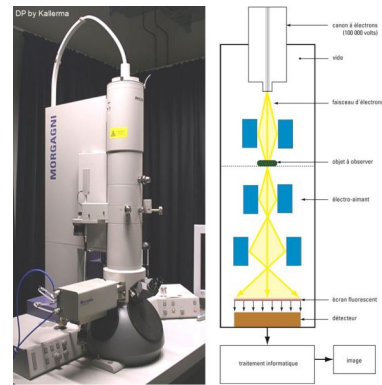


# Chapitre I : Microscope électronique à transmission

*Appareillages et techniques de caractérisation*



Dr. Lezzar

# Table des matières



<b>I - Principe du microscope électronique à transmission</b>	<b>3</b>
<b>II - Processus se produisant lors de l'interaction du faisceau</b>	<b>4</b>
<b>III - Constitution du microscope électronique à transmission</b>	<b>6</b>
<b>IV - Préparation de l'échantillon</b>	<b>7</b>
<b>V - Formation de l'image</b>	<b>8</b>
1. Électrons transmis par l'échantillon (image champ claire) .....	8
2. Électrons diffusés élastiquement par l'échantillon (image champ sombre) .....	8
3. Électron diffusé inélastiquement par l'échantillon (étude cristallographique) .....	9
<b>VI - Points forts et limites</b>	<b>10</b>
<b>VII - Comparaison entre les microscopes</b>	<b>11</b>

# Principe du microscope électronique à transmission



C'est la technique la plus performante en terme de résolution.

Le microscope électronique en transmission fonctionne de manière analogue à un microscope optique en lumière directe.

## *Fondamental*

---

Un échantillon très mince est placé dans le parcours des électrons

## *Méthode*

---

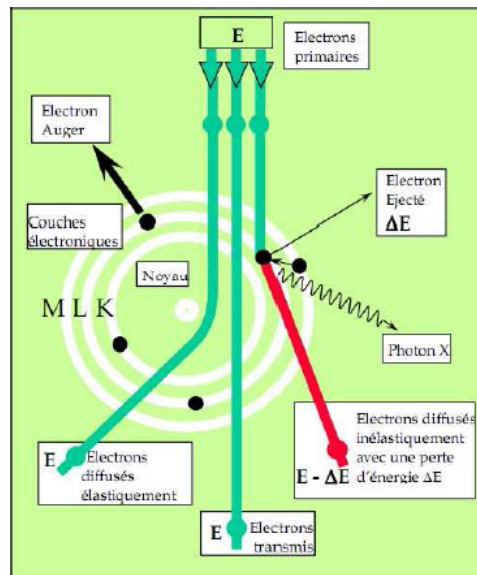
Le faisceau traverse l'échantillon qui le modifie selon sa forme et sa nature et imprime ainsi son image derrière la préparation sur un écran fluorescent similaire à ceux qui équipent les téléviseurs noirs et blanc.

La formation du contraste (=image) est cependant principalement lié aux effets de diffusion des e<sup>-</sup>.

# Processus se produisant lors de l'interaction du faisceau

## II

- Interaction inélastique (analyse par perte d'énergie)
- Interaction élastique (analyse sans perte d'énergie)
  - Diffusé (image champ sombre)
  - Transmis (image champ clair)



### Interaction élastique

Les électrons sont déviés. Leur intensité suivant un angle solide donné est proportionnelle à l'épaisseur de l'échantillon et à son numéro atomique.

### Méthode

Pour produire un contraste, on place un écran qui arrête les électrons diffusés et l'image sera moins intense pour des zones où l'interaction élastique est la plus importante. Ils constituent la contribution majeure à la formation du contraste des images.

### *Interaction inélastique*

Pour un échantillon d'épaisseur  $\sim 60$  nm environ une interaction inélastique a lieu avec environ 10-20 eV de perte.

Les électrons qui subissent cette interaction inélastique seront peu déviés ( $10^{-4}$  rad) et passeront tous par l'objectif.

Cette perte d'énergie va entraîner une augmentation de longueur d'onde des électrons ayant subi une interaction inélastique. elle est utilisée pour analyser la matière.

### *Méthode*

---

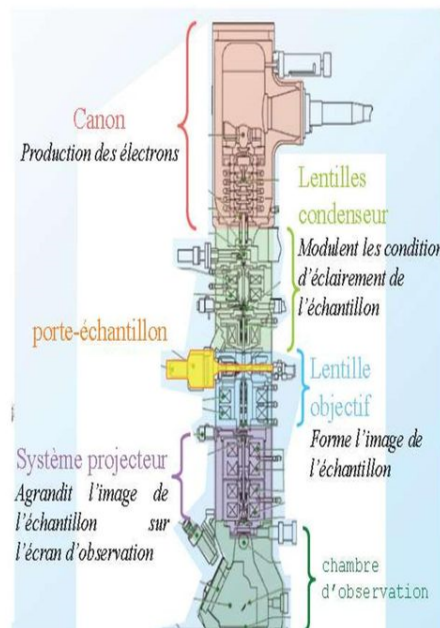
Après l'objectif, les électrons n'ayant pas subi une interaction inélastique et ceux qui en ont subi une se combinent pour former une onde résultante qui forme un contraste de phase.

# Constitution du microscope électronique à transmission

III

La colonne du microscope :

- Le canon à électron
- L'écran fluorescent
- Le porte échantillon : il est placé sur une grille, il est orientable pour pouvoir voir les différents orientations cristallines du matériau



## Complément

Le groupe de pompage : le vide au niveau du canon à électron il est environ  $10^{-5}$  mbar, au niveau de l'échantillon il est de  $10^{-6}$  mbar et au niveau de l'écran et de la caméra il est de  $10^{-5}$

L'électronique de commande

Le ou les spectromètre de microscopie

# Préparation de l'échantillon

## IV

En raison des pertes d'énergie des électrons dans l'objet, ce dernier doit être très mince (~quelques nm) pour permettre la transmission des e<sup>-</sup>.

Objets résistants au faisceau d'électrons et au vide poussé.

### Amincissement – Polissage mécanique

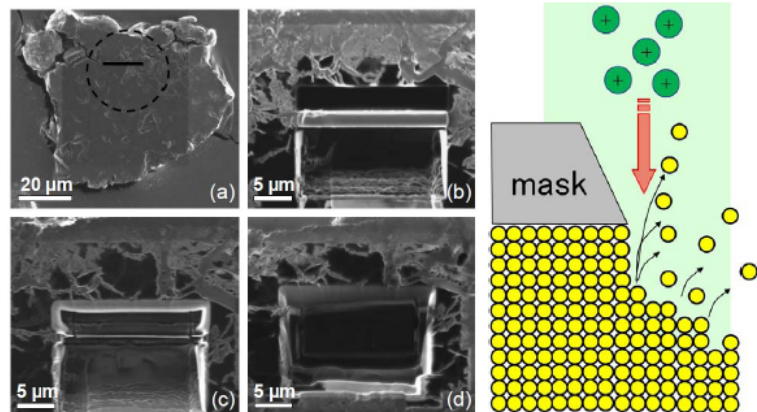
Microtome (diamant)



Tripod

### Amincissement ionique

Focus Ion Beam technique



# Formation de l'image

V

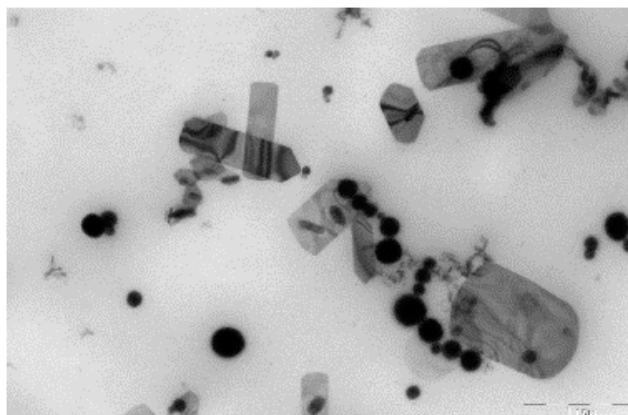
## 1. Électrons transmis par l'échantillon (image champ claire)

### X *Méthode*

---

L'écran est placé dans le plan image. Un diaphragme d'objectif est placé dans le plan focal de manière à sélectionner uniquement le faisceau transmis en ligne droite par l'échantillon.

Ce sont donc uniquement les électrons non diffractés qui formeront l'image sur l'écran. Les zones de l'échantillon diffractant fortement le faisceau apparaissent donc les plus sombres. En l'absence d'échantillon, 100% du faisceau est transmis et l'image apparaît claire



## 2. Électrons diffusés élastiquement par l'échantillon (image champ sombre)

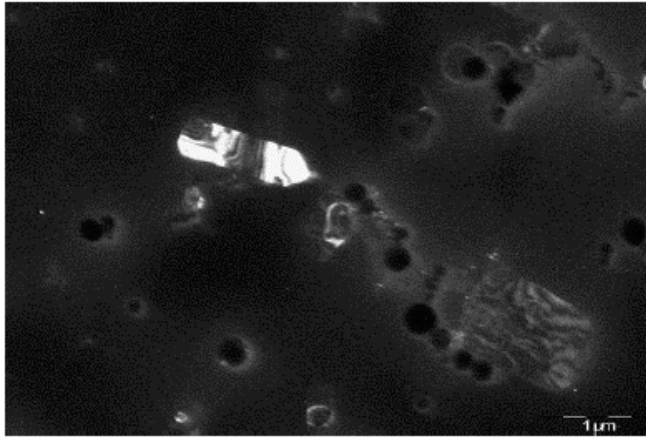
### X *Méthode*

---

En plaçant un diaphragme dans le plan focal, on peut sélectionner un faisceau diffracté particulier pour former l'image.

L'image est donc formée uniquement par les électrons diffractés à un angle particulier. Les zones de l'image qui diffractent à des angles différents apparaissent sombres. De même, en l'absence d'échantillon, tout le faisceau est transmis, il n'y a pas de diffraction et l'image est sombre





### 3. Électron diffusé inélastiquement par l'échantillon (étude cristallographique)

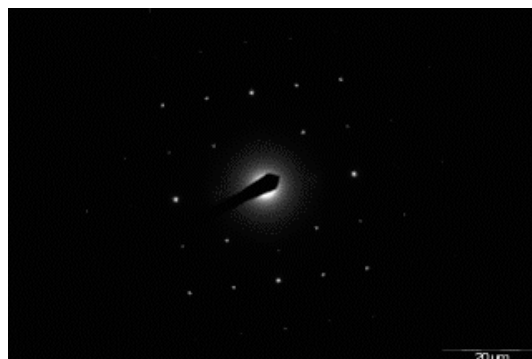
Au lieu de s'intéresser à l'image formée, on peut s'intéresser à la diffraction des électrons.

#### *Méthode*

---

En se plaçant dans le plan focal du faisceau et non plus dans le plan image (simplement en changeant la tension dans les lentilles magnétiques)

On obtient la figure de diffraction, semblable aux clichés obtenus en diffraction de rayons X. On peut ainsi visualiser les directions dans lesquelles vont les électrons et ainsi caractériser les cristaux (organisation des atomes, orientation...).



# Points forts et limites



## *Points forts*

La résolution ultime de la cartographie élémentaire d'une technique analytique

Résolution des images sous 0.2nm (2Å)

Informations cristallographiques sur de petites zones

## *Limites*

Temps de préparation important des échantillons

Certains matériaux manquent de stabilité sous le faisceau d'électrons

# Comparaison entre les microscopes

VII

Contrairement au MET et au microscope optique, l'image du MEB n'est pas formée par une lentille objectif. L'image est formée de manière séquentielle en balayant la surface de l'échantillon par un faisceau d'électrons.

