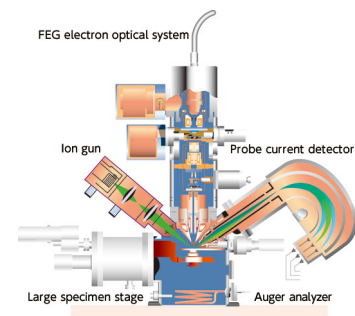


# Chapitre II : Spectroscopie d'électrons Auger (AES)

*Appareillages et techniques de caractérisation*



Dr. Lezzar

# Table des matières



<b>I - Présentation de la spectroscopie des électron Auger (AES)</b>	3
<b>II - Processus de création d'électron Auger</b>	4
<b>III - Principe de la spectroscopie d'électron Auger</b>	5
<b>IV - Analyseur d'énergie CMA</b>	7
<b>V - Détecteur channeltron</b>	8
<b>VI - Détermination du profil de concentration</b>	9
<b>VII - Point forts et limites</b>	10
<b>Conclusion</b>	11

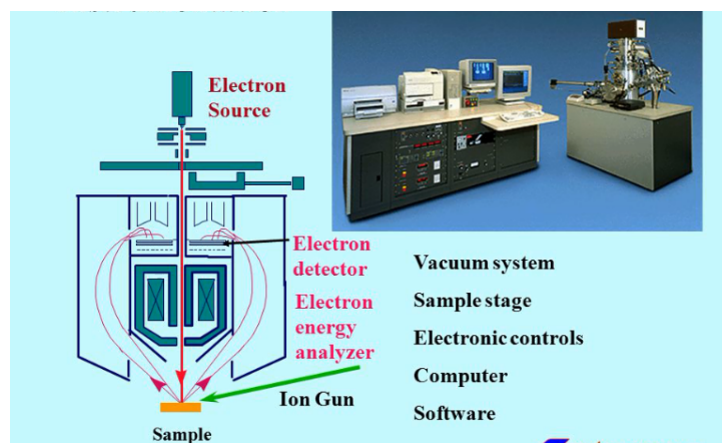
# Présentation de la spectroscopie des électrons Auger (AES)

I

La spectroscopie des électrons Auger (AES : « Auger electron spectroscopy ») induite par les électrons est une technique d'analyse des surfaces qui permet d'identifier les éléments (sauf H et He) constituant les toutes premières couches atomiques (quelques nanomètres) de la surface des solides. et le mode balayage permet de dresser une cartographie chimique de la surface de l'échantillon.

## Remarque

Sa mise en œuvre s'effectue dans un équipement analogue à celle du MEB, doté de l'ultra vide et équipé d'un analyseur d'électrons.



## Fondamental

Son principe repose sur le mécanisme de l'effet Auger avec l'émission d'électrons ayant des énergies cinétiques caractéristiques des éléments dont ils sont issus et indépendantes de l'énergie des particules excitatrices incidentes

## Complément

La position énergétique des raies Auger permet de déterminer la nature des éléments constitutants et la mesure de l'intensité des raies permet, elle, d'accéder à leur concentration (dosage ou quantification)

# Processus de création d'électron Auger

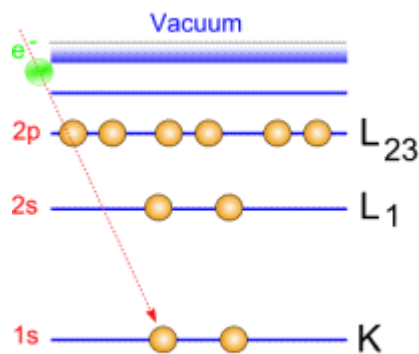
II

## Méthode

Un électron des couche internes d'un atome est éjecté sous l'effet de son bombardement par faisceau d'électron ou de photon RX énergétique, laissant derrière lui une place vide

Un électron de couche externes descend pour remplir la place de l'électron éjecté

Pour effectuer cette transition, il cède son énergie à un électron voisin, l'énergie gagnée par ce dernier permet a l'électron de sortir de son atome on l'appelle électron Auger.



## Complément

Des électron Auger peuvent également être produits par l'utilisation d'un rayonnement X d'énergie 1 à 2 Kev méthode (XAES).

*Le plus souvent on utilise des électron pour produire des e- Auger*

# Principe de la spectroscopie d'électron Auger

III

Un faisceau électronique créé par une source d'excitation bombarde la surface du matériau à analyser

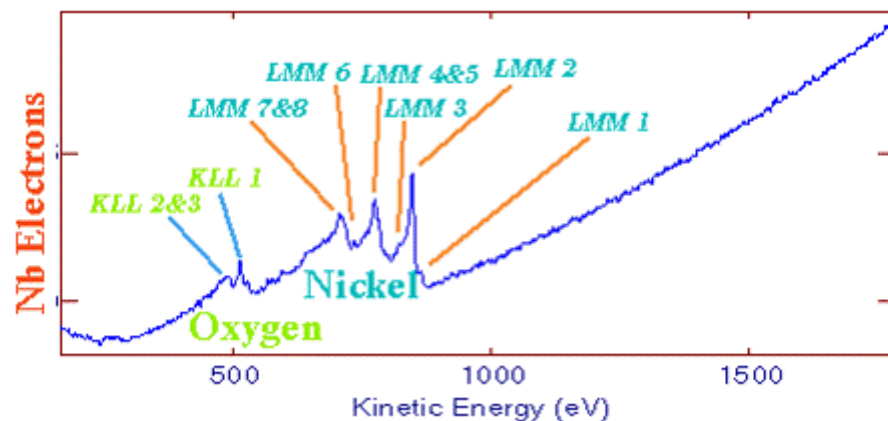
Des électrons Auger émis par les atomes de la surface du matériau sont mesurés grâce à un détecteur, ce sont les éléments légers qui ont un faible numéro atomique  $Z$  qui produisent le plus d'électrons Auger, les atomes lourds produisent surtout des photons X.

Un spectre d'énergie des électrons Auger est enregistré

Le spectre représente le nombre d'électrons émis d'une profondeur de quelques nanomètres en fonction de leur énergie cinétique.

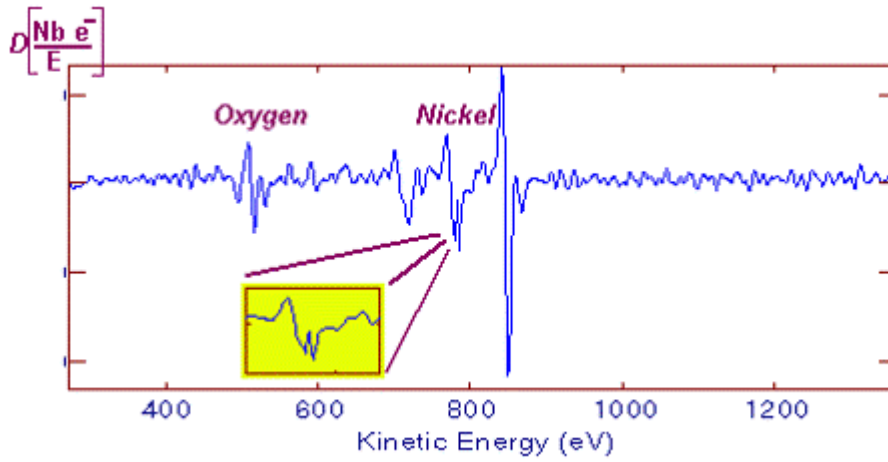
## Remarque

L'identification des pics se fait en ayant recours à une banque de données reportant toutes les caractéristiques des électrons Auger des différents matériaux.



## Conseil

L'indexation des raies peut être améliorée en prenant la dérivée première de ce signal. Cette dérivée permet de mettre en évidence les points d'inflexion (point où l'on observe un changement de pente). Il devient alors plus facile de séparer la transition LMM4 et LMM5. Cette zone est représentée en vert dans le spectre suivant.



**Complément**

On note que la courbe enregistrée en mode  $N(E)$  présente un avantage par rapport aux autres. Le pic est bien clair et prononcé alors qu'en dérivée il est déplacé et on sera amené pour le calcul de l'intensité de mesurer la hauteur pic-à-pic. Le seul avantage dans le mode dérivée est le fond qui disparaît contrairement au mode  $N(E)$  ou on est obligé de le supprimer par le calcul du rapport signal/fond

**Rappel**

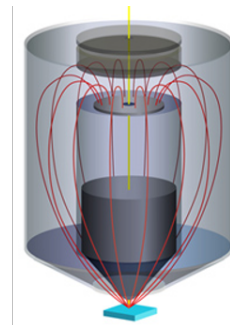
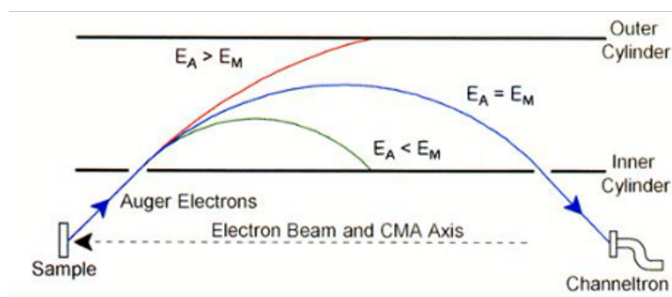
Rappelons que le fond continu est formé par l'émission des électrons produite par des processus d'interactions inélastiques multiples. Ce fond est très important pour les émissions Auger détectés à basses énergies.

# Analyseur d'énergie CMA

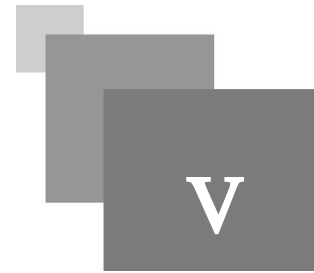
## IV

Cet analyseur appelé CMA (Cylindrical Mirror Analyser) ou analyseur à miroir cylindrique est constitué par un système de deux cylindres coaxiaux de rayon R1 et R2 comme le montre la Figure

Dans cet analyseur, les électrons primaires interagissent avec l'échantillon et les électrons émis pénètrent entre les deux cylindres. Ces derniers sont portés à un potentiel  $\Delta E$  permettant de sélectionner les électrons suivant leurs énergies et ne laissent passer que les électrons dont l'énergie est égale à  $\Delta E$ . Avec cet analyseur, le signal Auger est détecté en mode dérivé  $dN/dE$ .



# Détecteur channeltron



A la sortie de l'analyseur, les électrons sont en faible quantité donc un faible courant et par conséquent un faible signal Auger.

## Remarque

Pour obtenir un signal Auger détectable, on amplifie le signal ce qui revient à augmenter le nombre d'électrons à la sortie d'analyseur. Formé par un ensemble de dynodes qu'on les sépare les unes des autres.

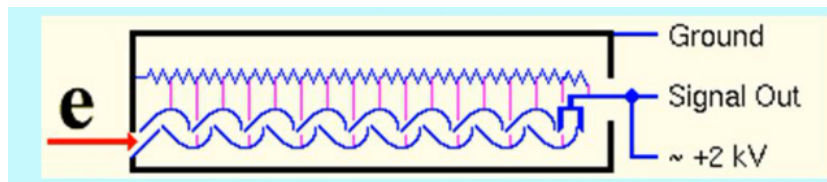
## Méthode

On place, à cet effet, un système d'amplificateur d'électrons. Il s'agit d'un système

Chaque dynode est faite d'un matériau spécial n'absorbant pas les électrons.

Chaque électron impactant la dynode produit d'autres électrons qui à leur tour se dirigent vers la dynode suivante et ainsi de suite.

A la sortie de la dernière dynode le nombre d'électrons produits est important ce qui augmente le courant des électrons, donc le signal Auger.

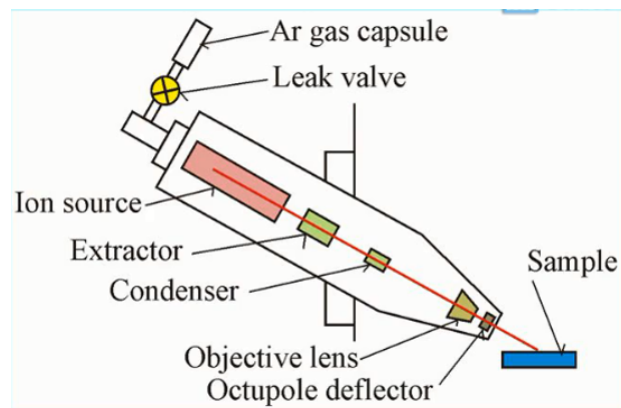




# Détermination du profil de concentration

VI

Lorsqu'on cherche à déterminer le profil de concentration en profondeur des éléments chimiques présents dans le matériau on fait un décapage in situ du matériau par bombardement avec des espèces ioniques fortement accélérées.



# Point forts et limites



## *Point forts*

- Excellente sensibilité à la surface (5-10nm de profondeur d'information)
- Bonne résolution en profondeur

## *Limites*

- Les isolants sont difficiles
- Les échantillons doivent être compatibles avec le vide
- Sensibilité de détection assez médiocre

## *Fondamental*

---

Signaux détectés : électrons d'Auger provenant d'atomes près de la surface

# Conclusion

- Les électrons Auger ont une énergie très faible (quelques eV) et sont par conséquent sensibles aux liaisons chimiques.
- L'étude de ce spectre d'électrons Auger permet de fournir des informations sur la chimie de la surface.
- La spectroscopie Auger est une analyse de surface qui permet de détecter tous les éléments chimiques sauf le H et He.