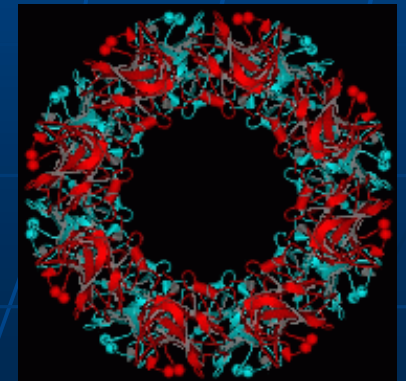
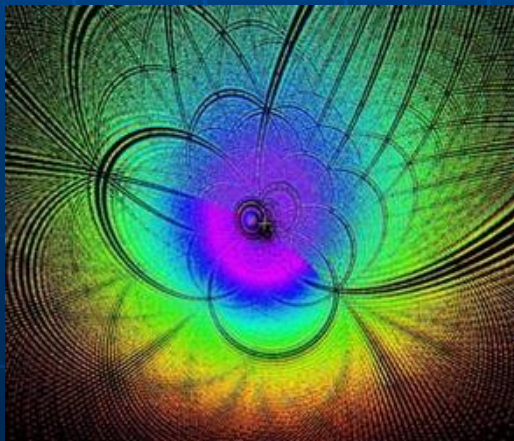


UE-OMR

Enseignement expérimental L3-Physique et applications



- Enseignements expérimentaux : 4 thèmes

- ✓ Rayons X
- ✓ RMN
- ✓ HF-Guides d'ondes
- ✓ Optique-Polarisation

- Evaluations :

- Comptes rendus (1 semaine après les deux séances de chaque thème)
 - Examen écrit final de 3 heures (45 min pour chaque thème)
- Cet examen porte sur les notions vues pendant les séances de TP.

- Enseignants RX et RMN :

- M. ZEGHAL

- F. BERT

- P. WZIETEK

- Evaluation des acquis:

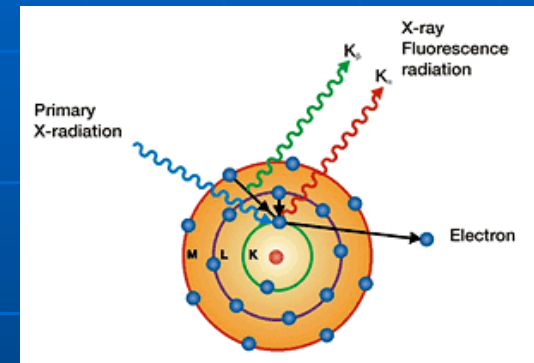
- Un compte-rendus une semaine après les deux séances pour les 4 Thèmes.

- Travail pendant les séances

- Examen écrit sur les 4 Thèmes (durée 3h)

Organisation des Travaux Pratiques

- Physique des RX (2 séances de 4h):
 - Production des RX
 - Interaction RX-matière

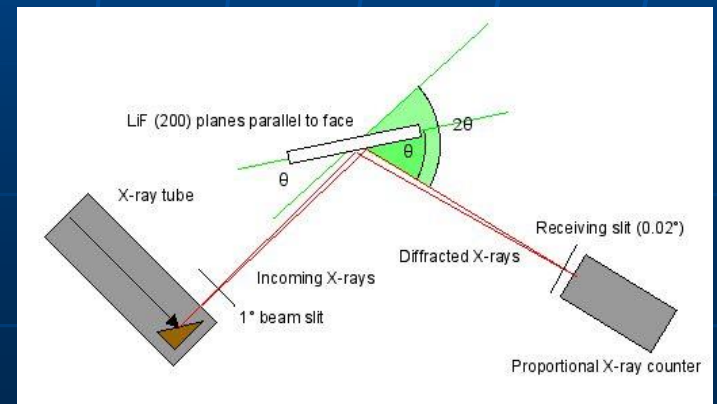


Rédaction des rapports

- Répondre aux questions posées dans l'ordre.
- Plan :
 1. Introduction
 2. Concepts et méthodes (physique et techniques)
 3. Spectre du tube sans et avec filtre
 4. Interaction Rx-matière
 5. Conclusion

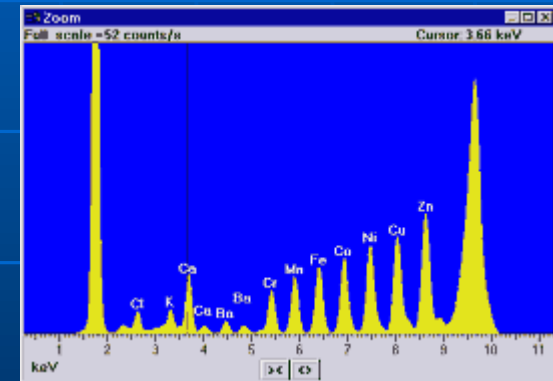
Production des Rayons X

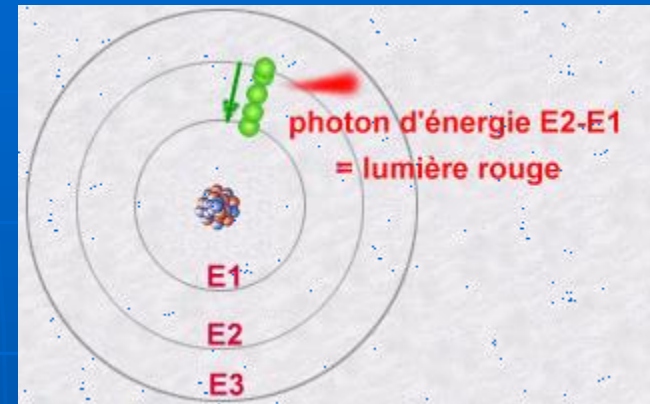
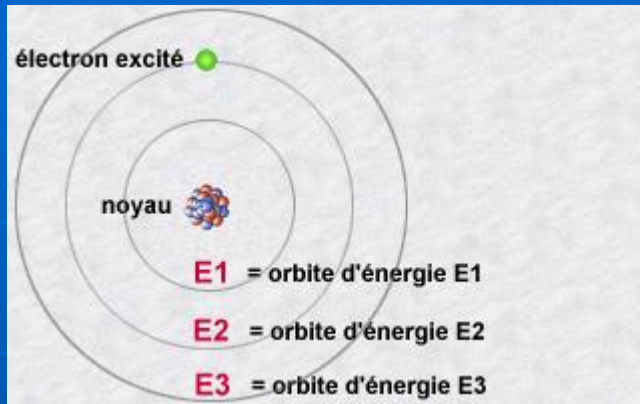
- Fonctionnement d'un générateur de RX
- Analyse du spectre d'émission
- Monochromatisation des RX



Interaction Rayonnement-Matière

- Fluorescence X (Analyse chimique des matériaux)

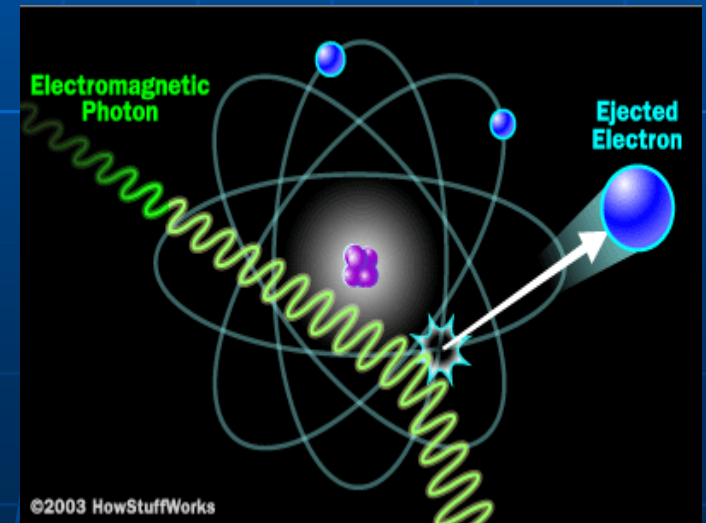




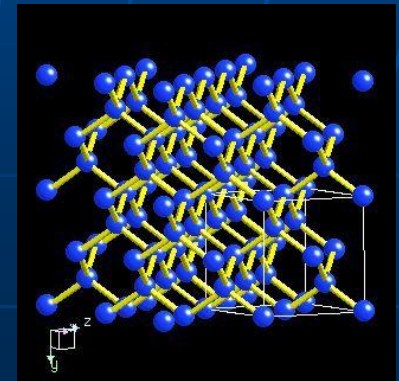
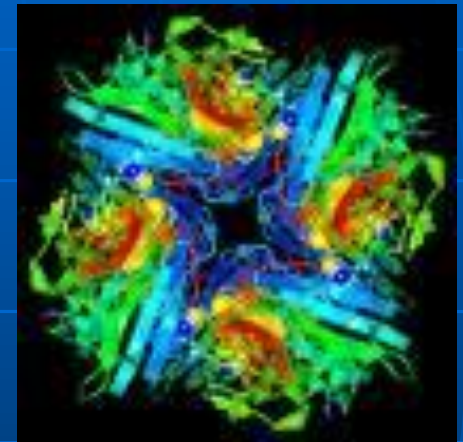
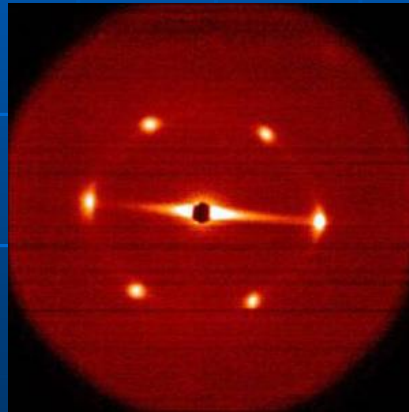
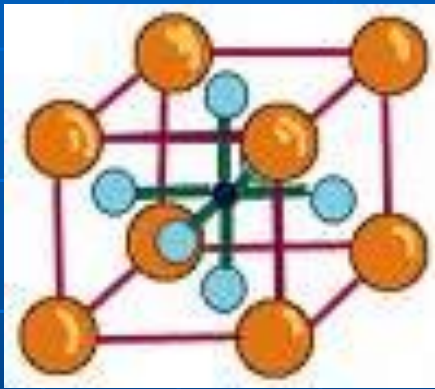
■ Phénomènes de diffusion:

- élastique (Thomson)
- inélastique (Compton)

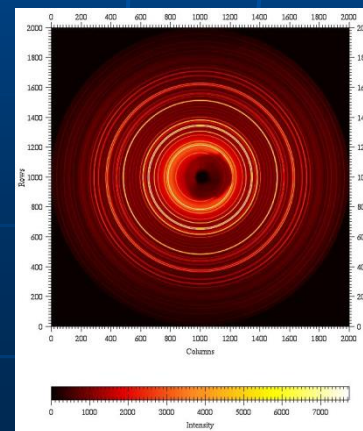
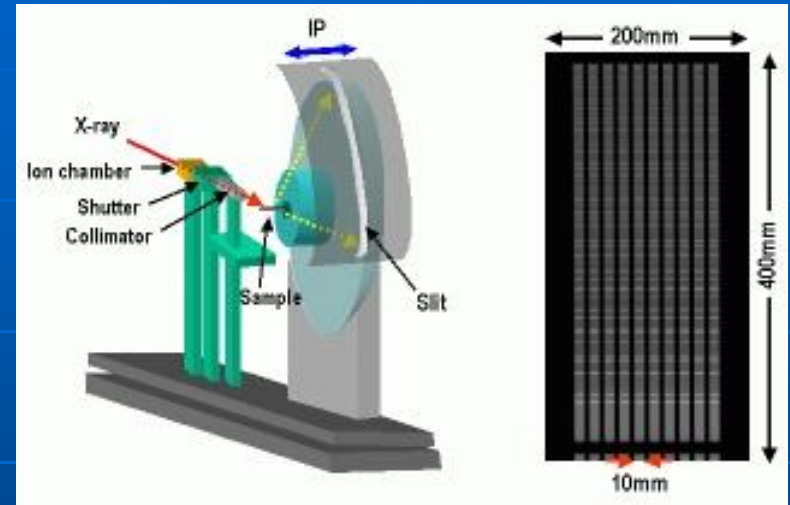
■ Absorption des RX



Etude de la structure des matériaux par diffraction des RX

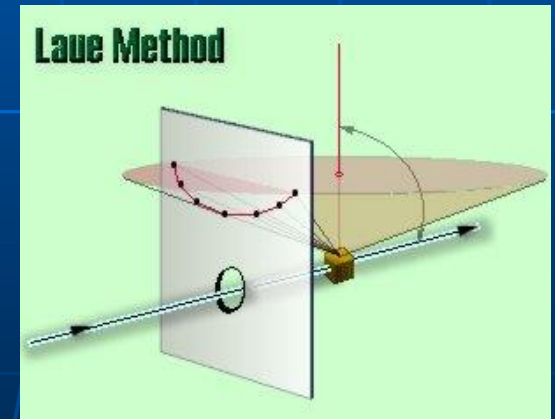
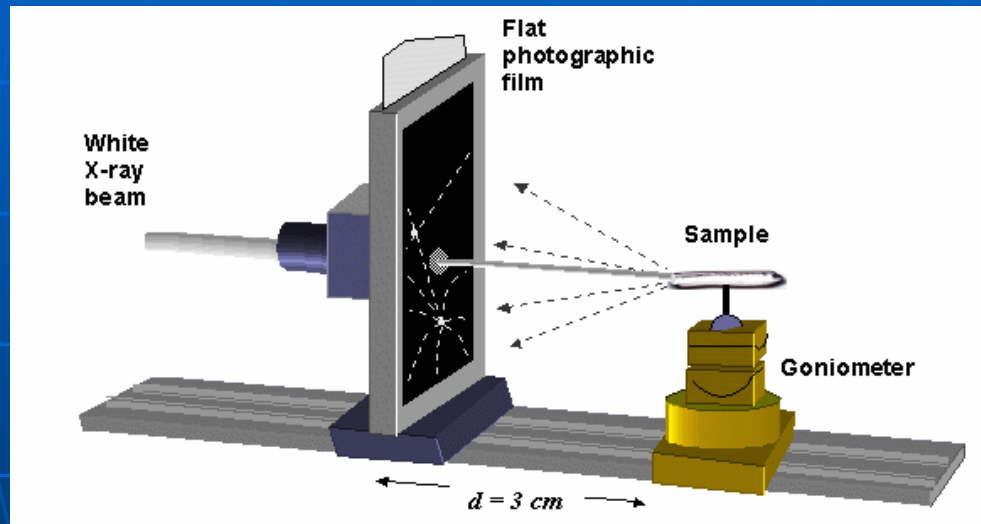


Méthode des poudres



Etude de monocristaux

■ Méthode de Laue



■ Méthode du cristal tournant

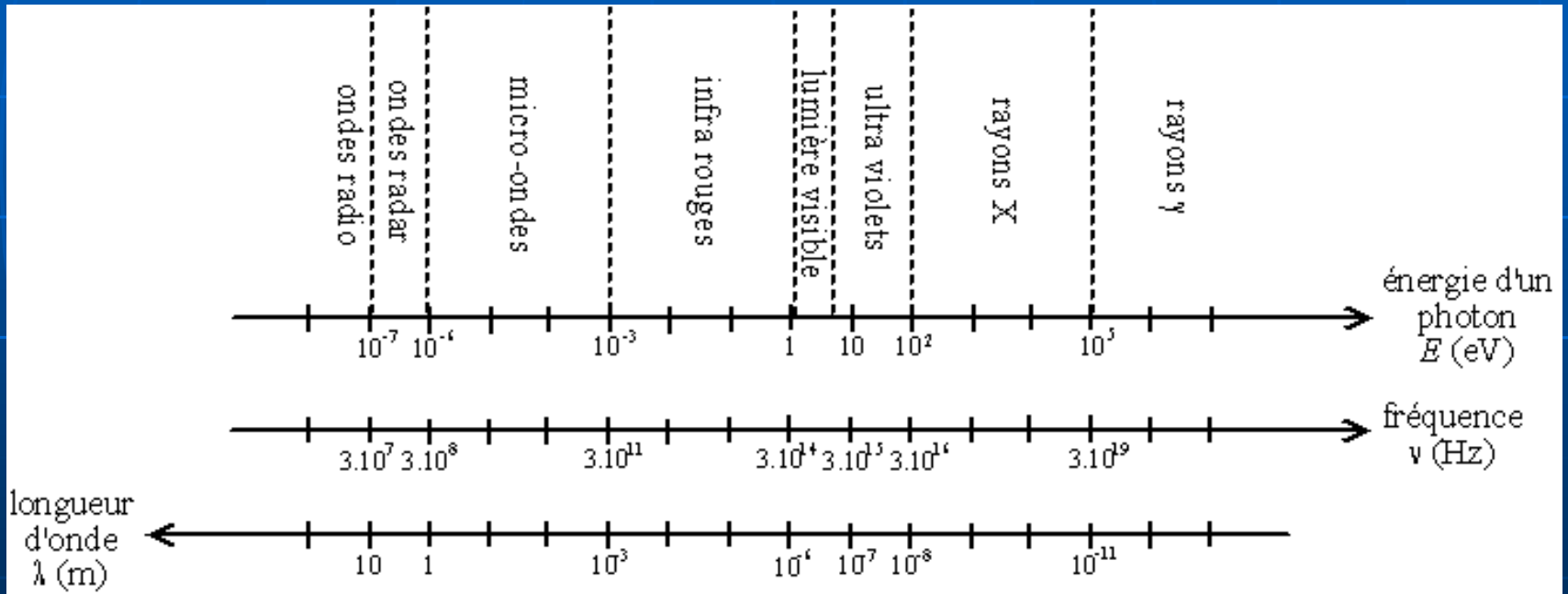
Rayonnement synchrotron



- Sciences des Matériaux (metallurgie, polymères, céramiques....)
- Biotechnologies, industrie pharmaceutique, biomédical...
- Micro-électronique, micro-mécanique
- Chimie, pétrochimie
- Géophysique
- Environnement, patrimoine...

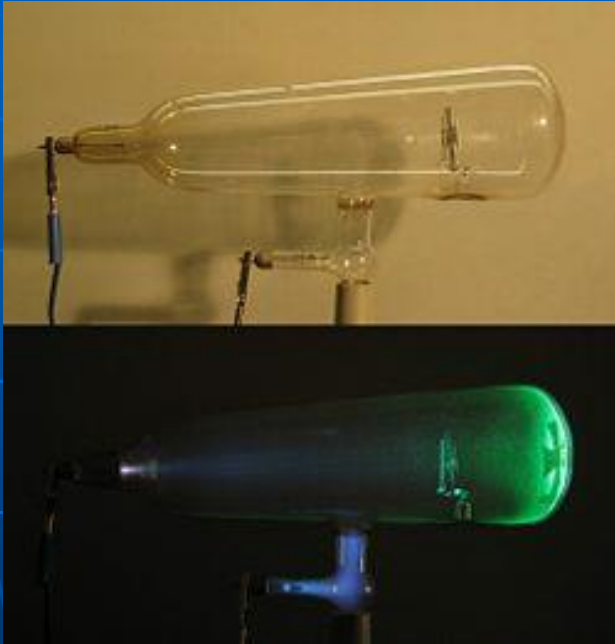
I-Introduction

1- Domaine des RX dans le spectre électromagnétique



2- Histoire des Rayons X

1895 : W. Röntgen, physicien allemand (prix Nobel 1901) , découvre les Rayons X



Phénomène de fluorescence sur un tube de Crookes

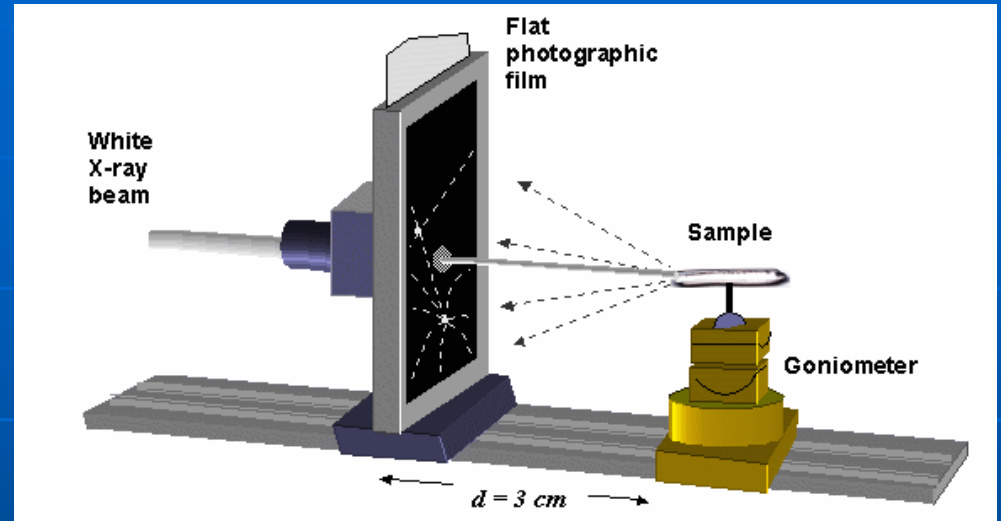


Première radiographie effectuée sur la main de Mme Röntgen

1912 : Mx Von Laüe, physicien allemand (prix Nobel 1914) , découvre le phénomène de diffraction des Rayons X par un cristal (nature ondulatoire des RX)

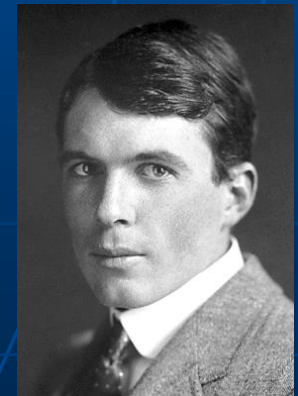


Max Von Laue



Diffraction par un monocristal d'un rayonnement X polychromatique (méthode de Laue)

1912 : William Laurence Bragg , physicien australien (prix Nobel 1915 à l'age de 25 ans) , énonce la Loi de Bragg qui permet de caractériser les cristaux.

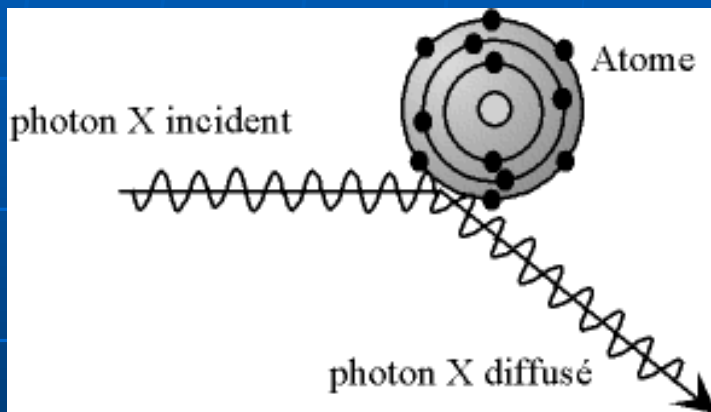


W.L. Bragg

II- Interactions Rayons X-matière

1- Processus de diffusion des RX par les électrons

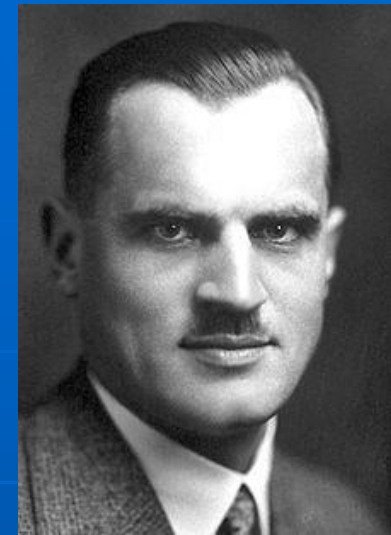
a- Diffusion élastique ou diffusion Thomson



$$\lambda' = \lambda$$

Le photon diffusé a la même énergie et longueur d'onde que le photon incident. Ce phénomène peut être décrit en faisant appel à la nature ondulatoire des RX (modèle de l'électron élastiquement lié) . C'est l'équivalent de la diffusion Rayleigh dans le domaine visible.

b- Diffusion inélastique ou diffusion Compton



Arthur H. Compton
Prix Nobel 1927

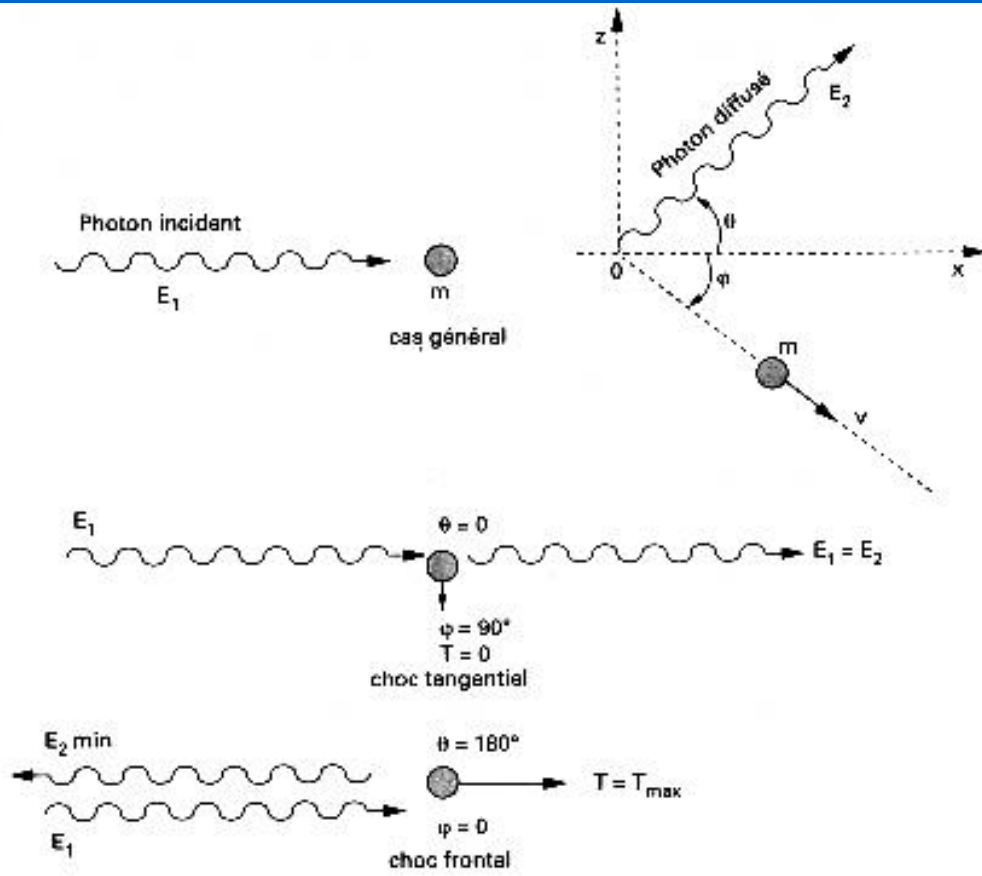


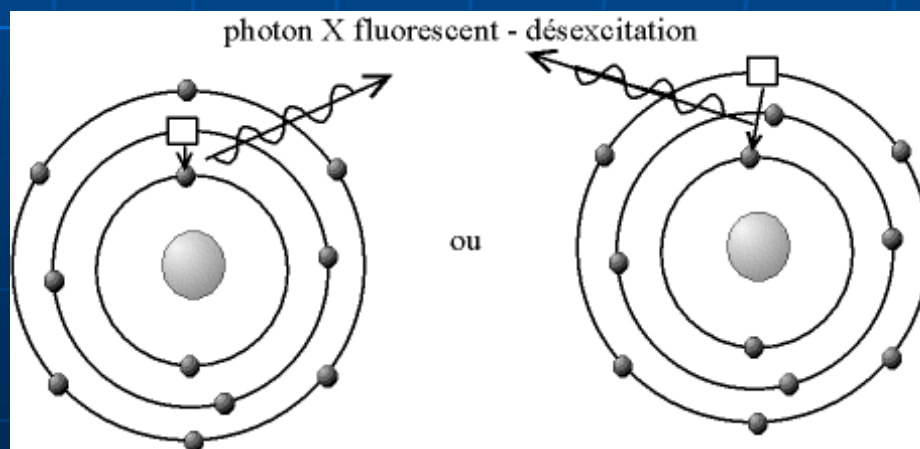
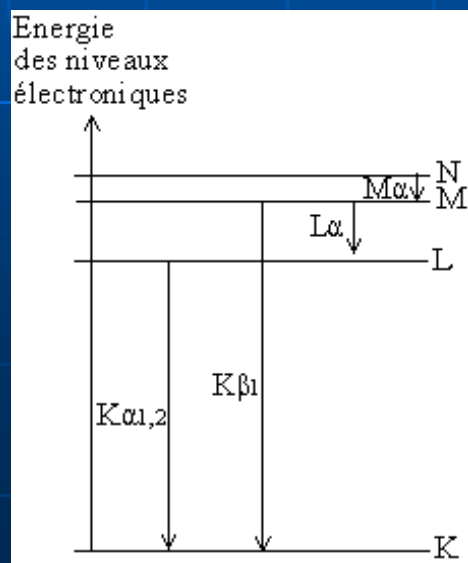
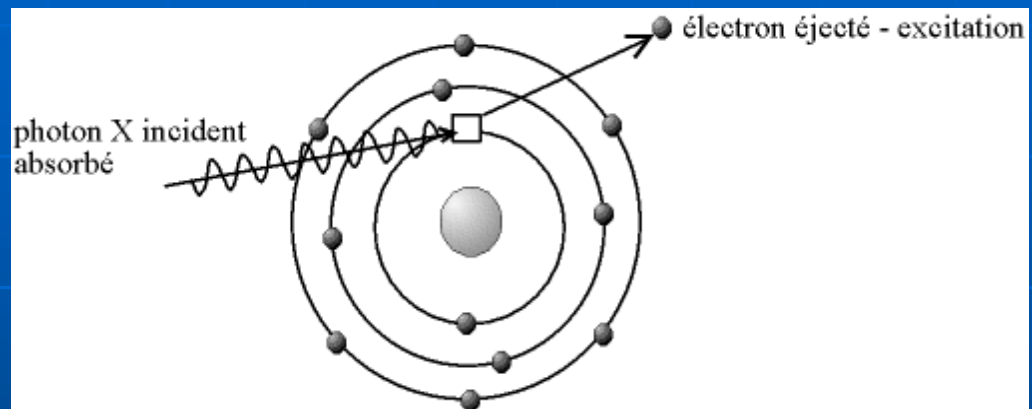
Figure 12 – Effet Compton : cas général et cas extrêmes

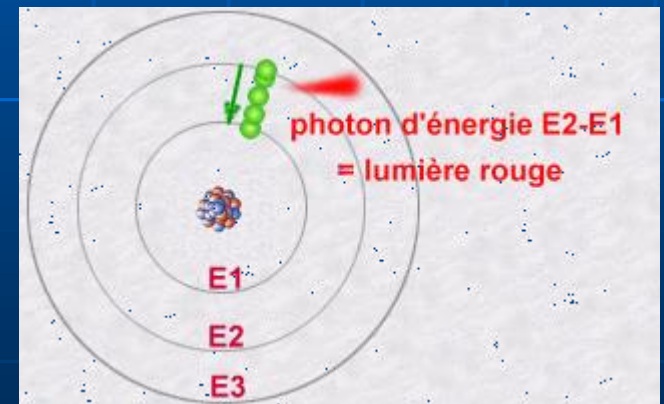
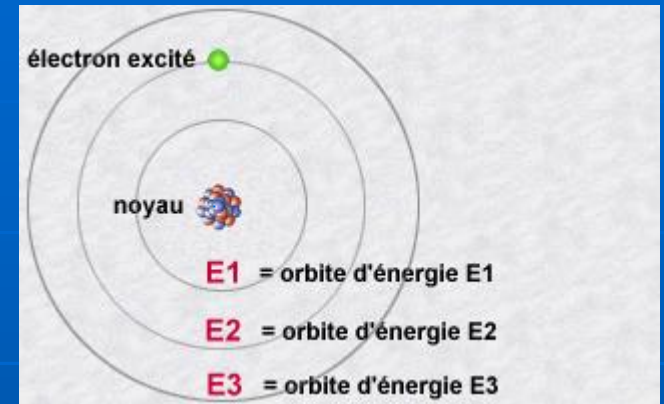
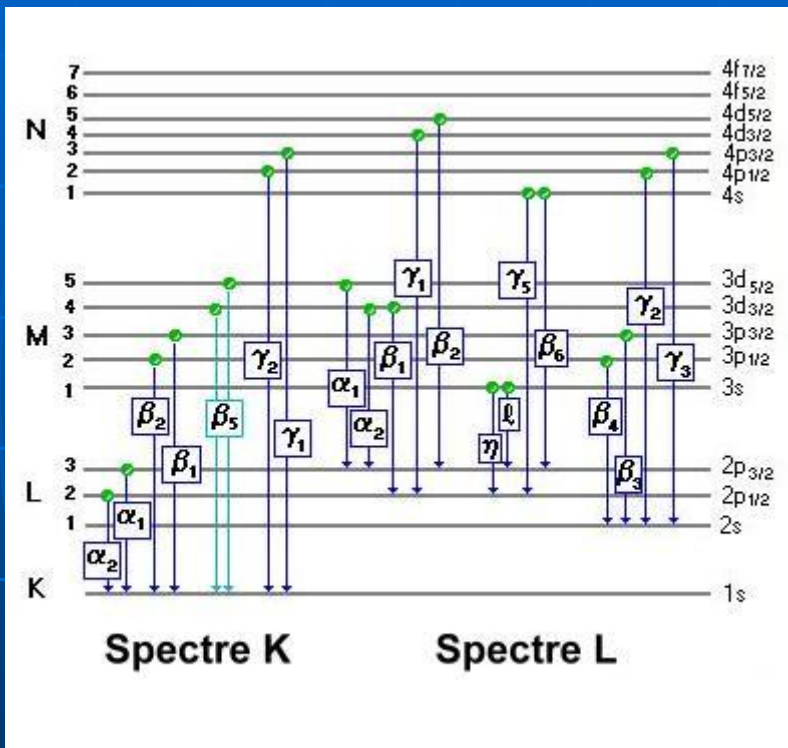
Le photon diffusé a une énergie (longueur d'onde) plus faible (plus élevée) que celle du photon incident. La différence d'énergie est transmise à l'électron éjecté. L'interprétation de ce phénomène est classique ou quantique et la relation ci-dessus peut être facilement démontrée en faisant appel à la nature corpusculaire des RX (photons)

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \left(\frac{h}{m_e c}\right)(1 - \cos\theta)$$

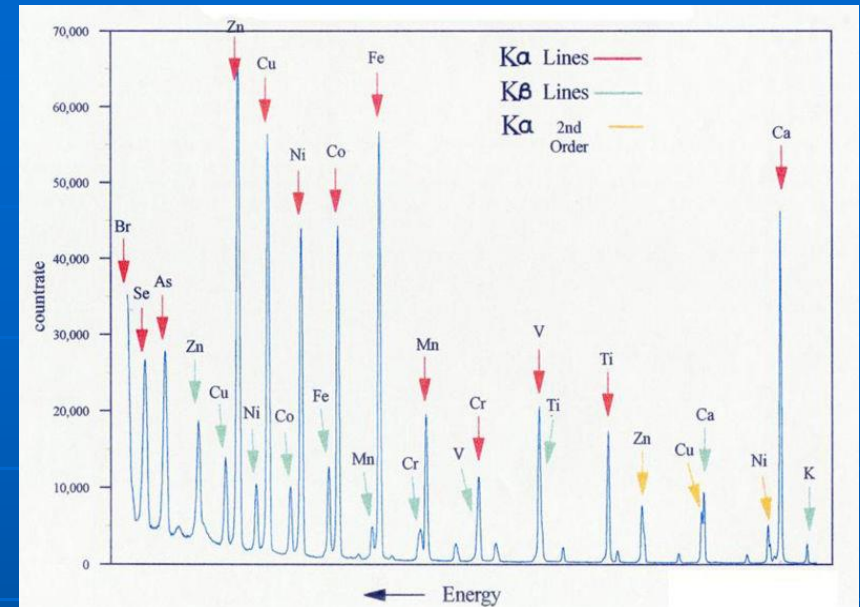
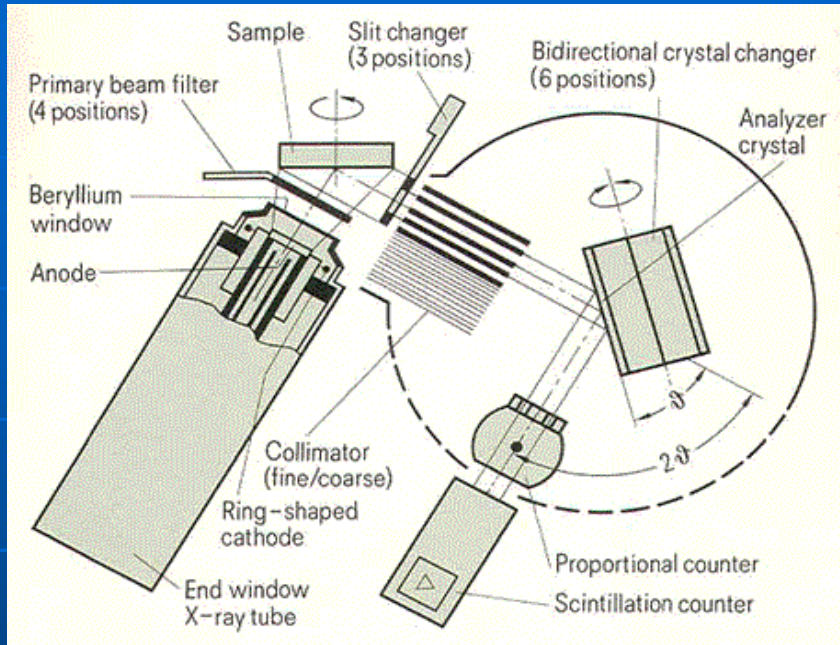
2- La Fluorescence

a-Principe





b-Applications



Analyse par fluorescence de matériaux.
-Détermination des éléments constitutifs
-Dosage



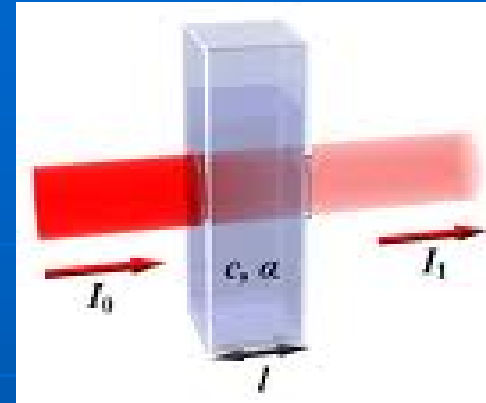
Appareil industriel utilisé dans
une cimenterie

3- Absorption des RX

a- Loi de Beer-Lambert

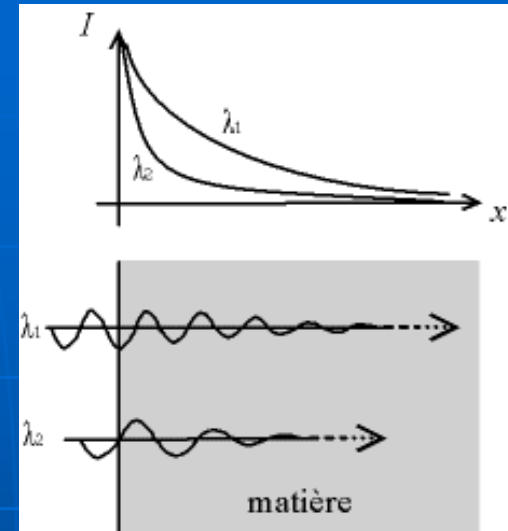
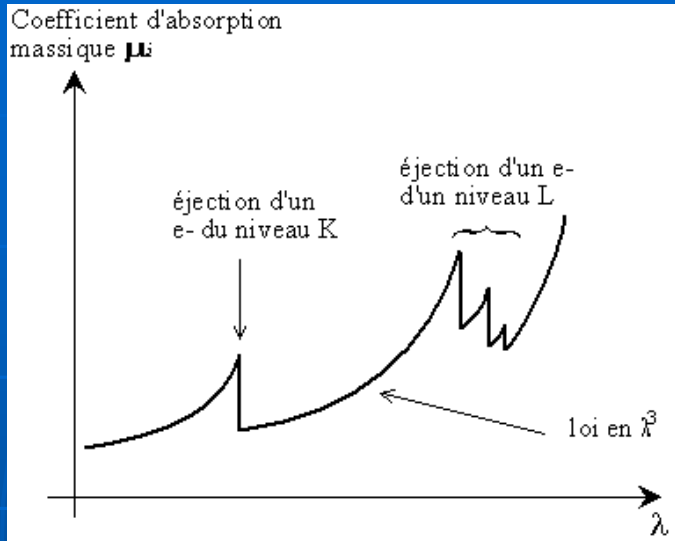
$$I_1 = I_0 \cdot e^{-\mu(\lambda) \rho \ell}$$

- $\mu(\lambda)$: coefficient d'absorption massique (cm^2/g)
- ρ : densité (g/cm^3)
- ℓ : épaisseur traversée (cm)



b - Influence de la longueur d'onde :

$$\lambda_1 < \lambda_2$$



La profondeur de pénétration augmente avec l'énergie des RX

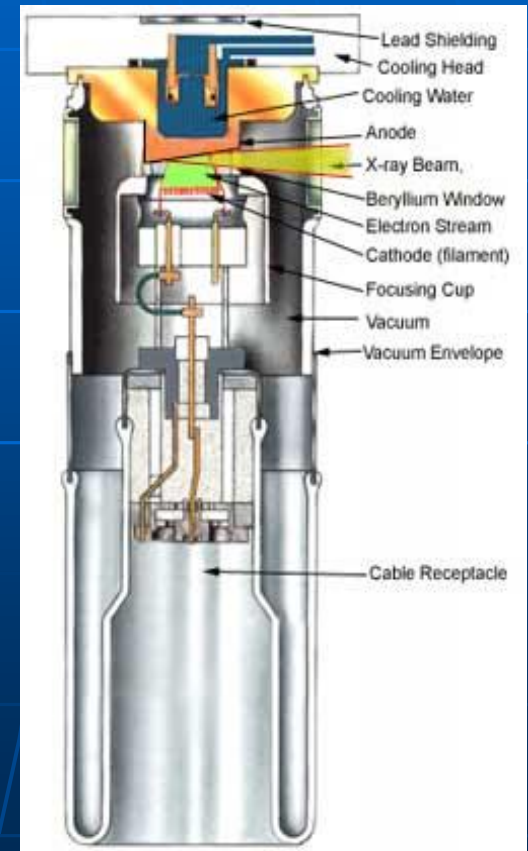
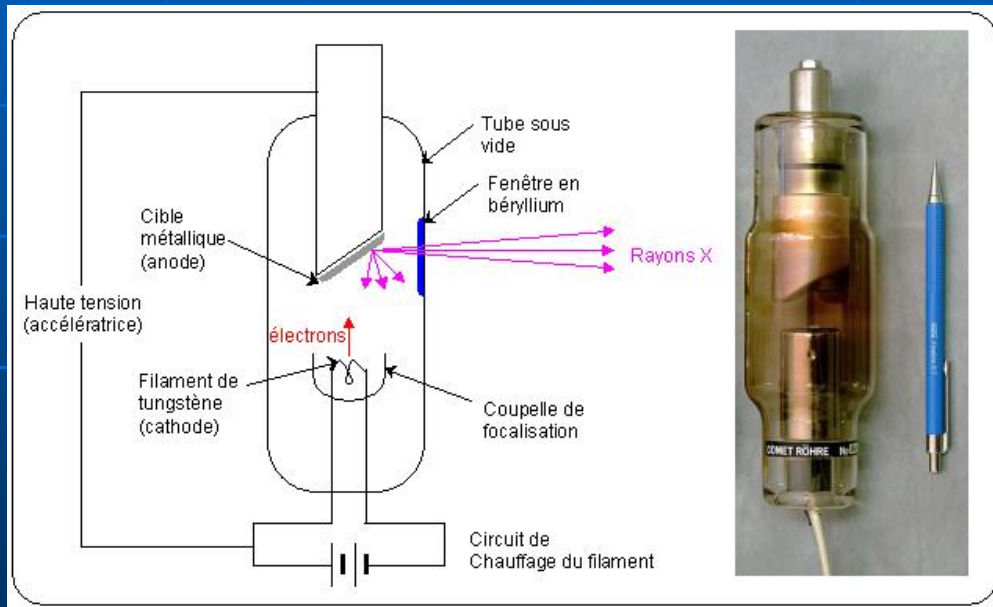
Le coefficient d'absorption massique μ augmente avec la longueur d'onde λ et augmente avec Z .

Le coefficient d'absorption massique μ présente des discontinuités dues à la présence des différents seuils d'ionisation $\lambda_s(K,L,M)$.

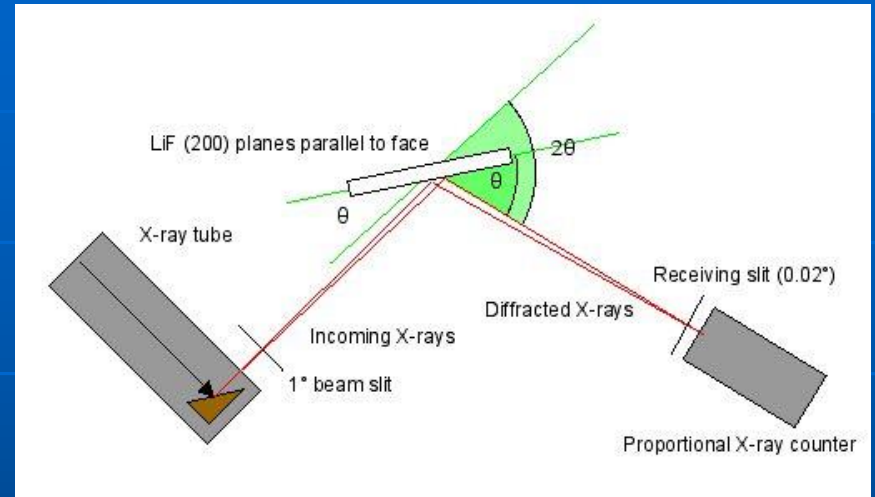
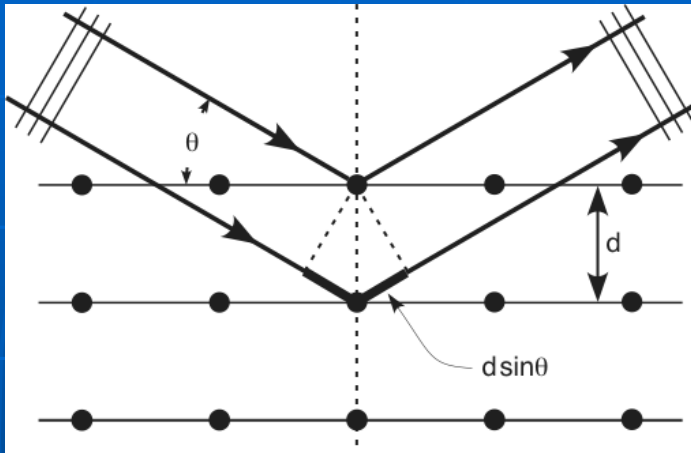
Applications : radiographie (médecine , sécurité aéroportuaire...)

III- Production des RX

1- Schéma et principe de fonctionnement d'un tube de RX



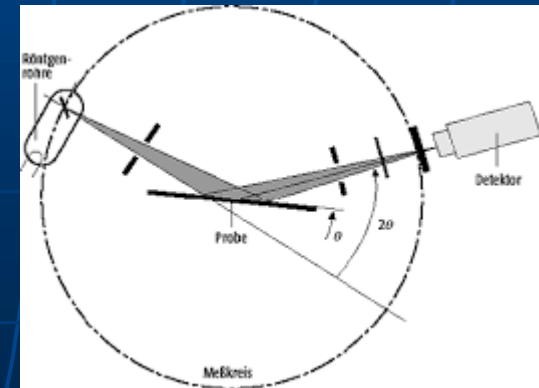
2 - Analyse du spectre d'émission



$$2 d \sin \theta = n \lambda$$

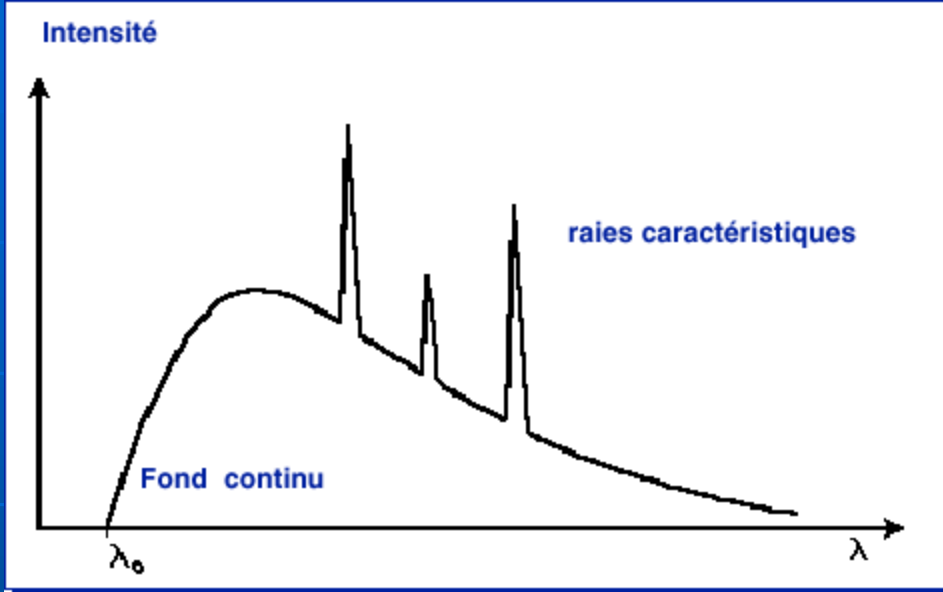
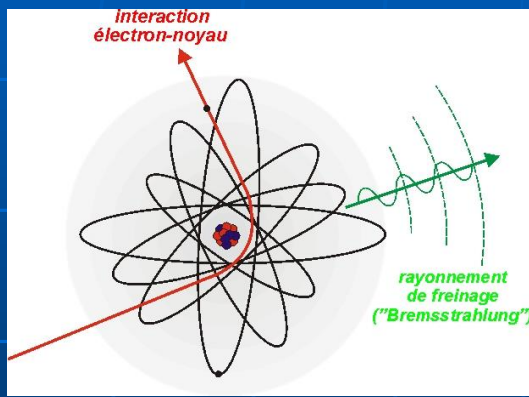
Loi de Bragg

Montage expérimental



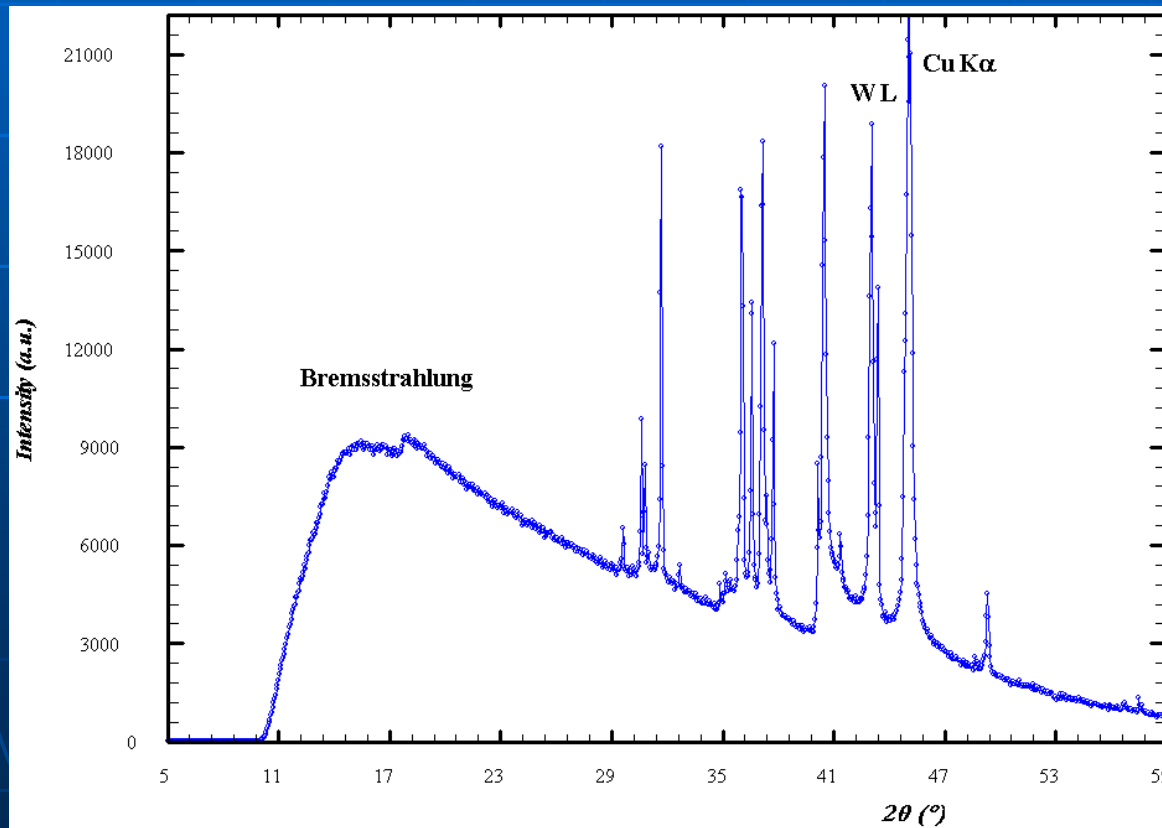
- **Fond Continu** :

Rayonnement de freinage. Il est dû à la déviation de la trajectoire des e^- à l'approche des noyaux atomiques. C'est un rayonnement blanc (polychromatique)



- **Les raies caractéristiques** : Elles sont dues à l'excitation des atomes de l'anode par les photons du fond continu (RF) et par le faisceau d' e^- incidents. Le retour à l'équilibre des atomes se traduit par l'émission de photons de longueur d'onde bien définie (phénomène de fluorescence) . Ce sont les raies caractéristiques du tube

- **Les discontinuités** : Elles sont dues à l'excitation des atomes de l'anticathode (ou autres) par les photons du fond continu (RF). Les photons ayant l'énergie suffisante pour ioniser (exciter) ces atomes sont partiellement absorbés. Cela se traduit par l'existence de discontinuités d'absorption.

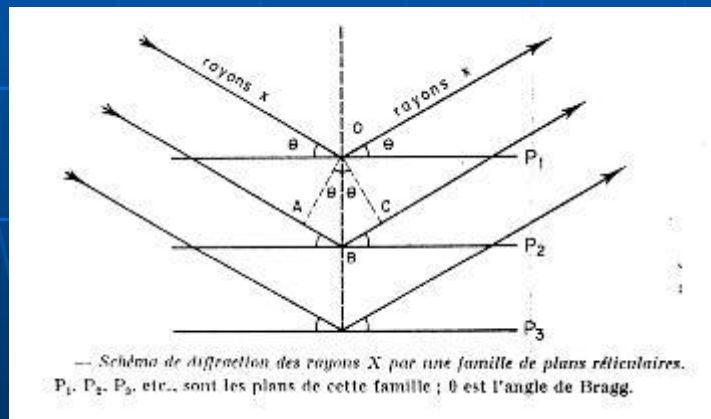


3 - Monochromatisation des Rayons X

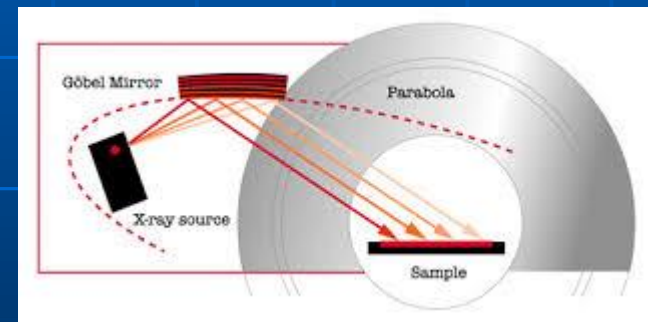
- Indice n du milieu pour les RX

$n \approx 1$ quel que soit le milieu utilisé. Pas de dispersion possible

- Utilisation d'un monochromateur

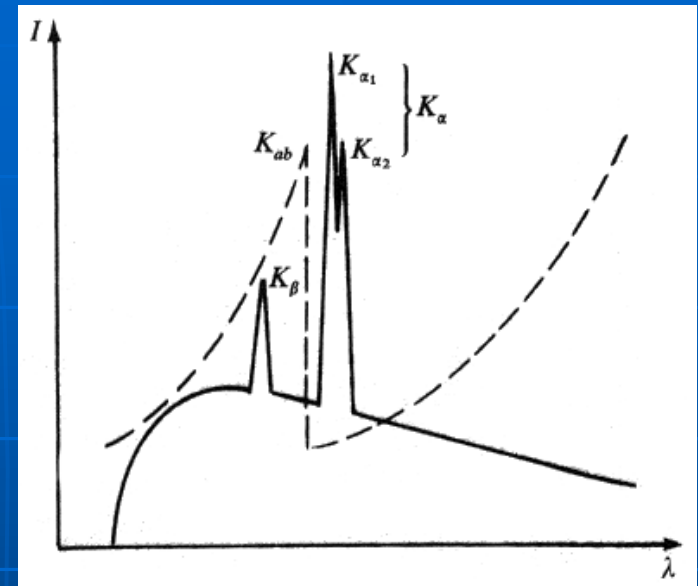
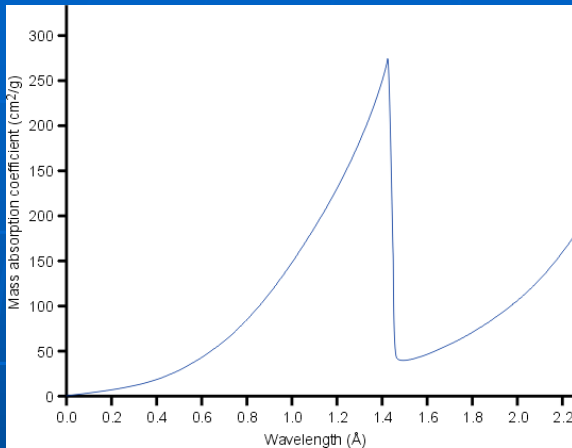


Principe : loi de Bragg



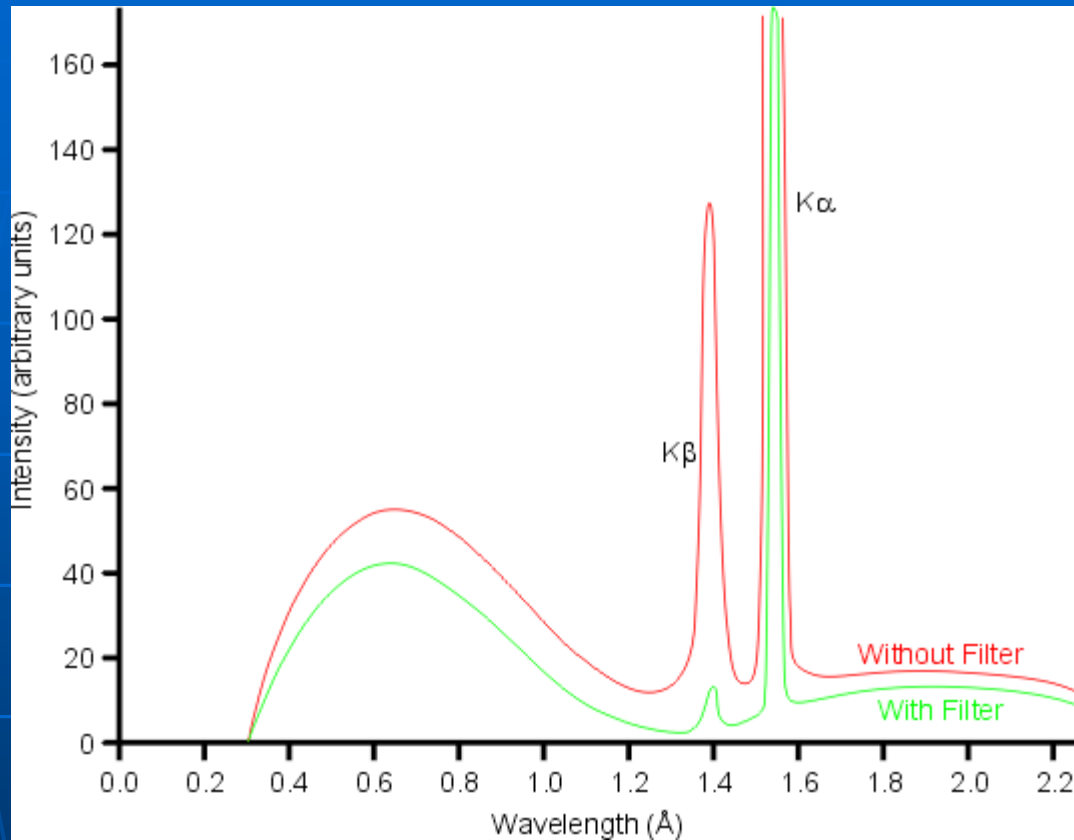
Géométrie de Goebel :
loi de faisceau parallèle

■ Filtre β



- Pour supprimer la raie K_{β} , il suffit de placer une plaque fine (0,1 mm) d'un matériau qui absorbe fortement la raie K_{β} et faiblement la raie K_{α} .
- Il suffit d'utiliser un élément dont un seuil d'ionisation se situe entre les deux transitions K_{α} et K_{β} .
- Les photons de la transition K_{β} ont l'énergie nécessaire pour ioniser le niveau K de l'élément constituant du filtre. Ils sont fortement absorbés.
- L'énergie des photons de la raie K_{α} ont une énergie trop basse pour ioniser l'élément du filtre. Ils sont faiblement absorbés.

■ Spectres avec et sans filtre β



Moyen peu couteux d'obtenir un rayonnement quasi-monochromatique.

■ Questions:

1. Démontrer la loi de Bragg
2. Démontrer la relation de Compton pour la diffusion inélastique

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = \left(\frac{h}{m_e c}\right)(1 - \cos\theta)$$

3. Déterminer la résolution spectrale $\Delta\theta/\theta$ en fonction de $\Delta\lambda/\lambda$.
4. Quelles sont les règles de sélection pour les transitions des couches L et M vers la couche K ?
5. Démontrer la loi d'absorption des RX (loi de Beer Lambert)