

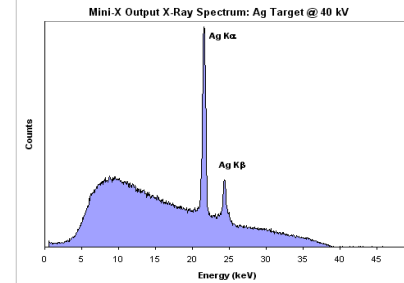
## Caractérisation structurale avancée : génération de rayons X

Sébastien Merkel  
Professeur, Département de Physique  
Laboratoire UMET (Unité Matériaux et Transformations)  
sebastien.merkel@univ-lille.fr

## Caractérisation structurale avancée

### Tube à rayons X

## Spectre d'émission



2 parties

- Un fond continu, le rayonnement « blanc »
- Des pics bien définis : les émissions caractéristiques

## Introduction

### Générateurs de rayons X

- Tubes à rayons X
- Synchrotrons

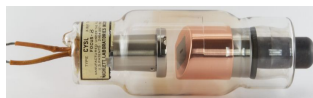
### Physique sous-jacente

- Rayonnement de freinage
- Effet photo-électrique
- Effet synchrotron

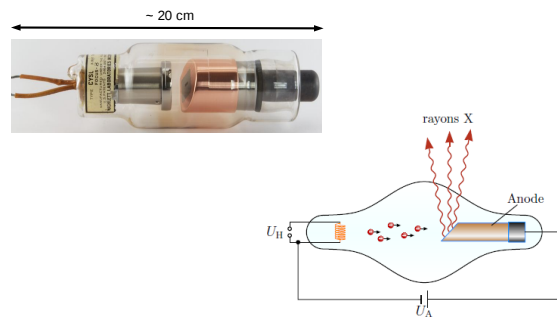
Synchrotron  
ESRF  
Grenoble



Tube à rayons X



## Tube à rayons X



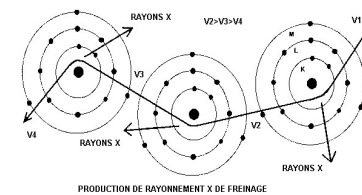
## Rayonnement de freinage

### Équations de Maxwell :

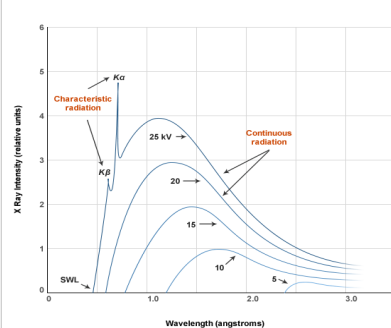
- Toute charge dont la vitesse varie, en norme ou en direction, émet un rayonnement

Spectre en énergie large, sans cohérence particulière

Énergie maximale  
= énergie cinétique de l'électron (il est alors arrêté)



## Rayonnement de freinage

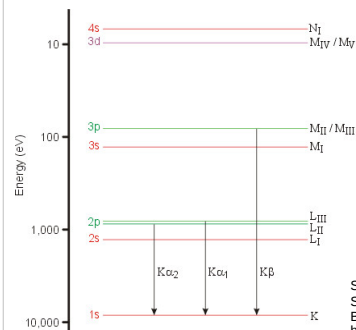


Spectre d'émission d'une cible bombardée avec des  $e^-$  de différentes énergies (5, 10, 15, 20, 25 keV)

Partie continue = rayonnement de freinage

Peut-être estimé de manière empirique avec les formules de Kramer (plusieurs versions)

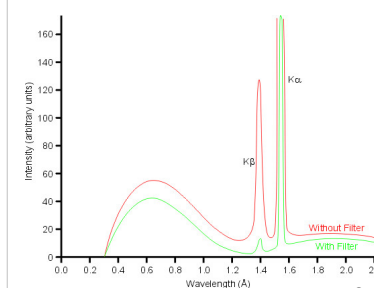
## Rayonnement caractéristique



Les niveaux d'émission de l'atome de cuivre

Source :  
School of Crystallography,  
Birkbeck College, University of London  
<http://pd.chem.ucl.ac.uk/pd/indexn.htm>

## Rayonnement produit



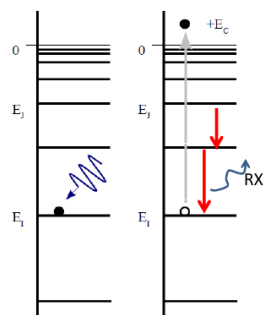
Rouge : spectre d'émission du cuivre avec bombardement à 50 keV

En fer, le même spectre, filtré avec une feuille de nickel.

On se rapproche d'une source monochromatique à 1,542 Å mais il y a encore un peu de travail...

Source :  
School of Crystallography,  
Birkbeck College, University of London  
<http://pd.chem.ucl.ac.uk/pd/indexn.htm>

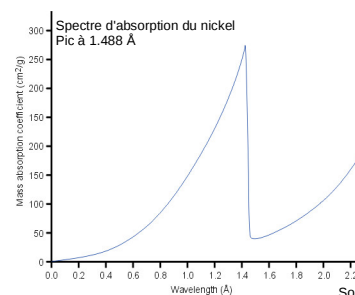
## Rayonnement caractéristique



Effet photo-électrique :

- Un électron de cœur est éjecté par la radiation incidente
- Les électrons de niveau supérieur descendent vers le niveau fondamental
- Typiquement, les raies des métaux  $K\alpha$  et  $K\beta$  sont dans le domaine des rayons X

## Filtrage en énergie



On utilise une nouvelle fois l'effet photo-électrique, mais sur les photons émis cette fois.

Aux longueurs d'onde sous une bande d'absorption, la majeure partie du rayonnement est absorbé.

Source :  
School of Crystallography,  
Birkbeck College, University of London  
<http://pd.chem.ucl.ac.uk/pd/indexn.htm>

## Caractérisation structurale avancée

Synchrotron

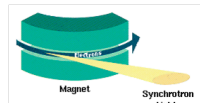
## Rayonnement synchrotron

Synchrotron = accélérateur d'électrons optimisé pour avec un rayonnement de freinage « utile ».

Rayonnement de freinage = bremsstrahlung = émission de photons par une particule chargée dont la vitesse change

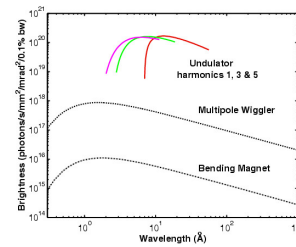
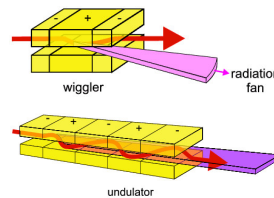
En physique des particules, bremsstrahlung = problème. On perd de l'énergie.

En sciences des matériaux (et d'autres), bremsstrahlung = outil : source de rayonnements.

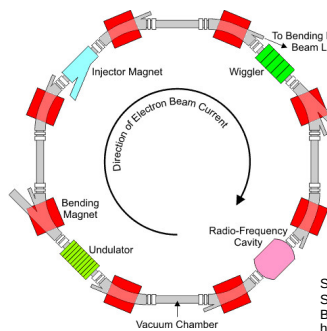


## Éléments d'insertion

Éléments d'insertion : insérés entre les aimants de courbure (qui guident le faisceau) pour optimiser l'émission

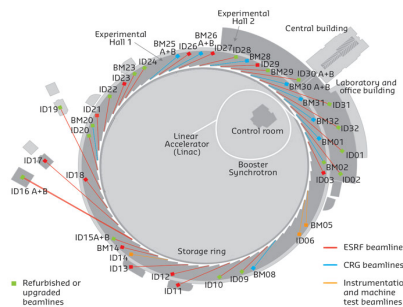


## Principe de base



Source :  
School of Crystallography,  
Birkbeck College, University of London  
<http://pd.chem.ucl.ac.uk/pd/indexn.htm>

## Plan de l'ESRF



ID : lignes sur des éléments d'insertion

BM : lignes sur des aimants de courbure

ESRF beamlines  
CRG beamlines  
Instrumentation and machine test beamlines