



Université
de Lille



**FACULTÉ
DES SCIENCES ET
TECHNOLOGIES**
Département Physique

Caractérisation structurale avancée : génération de rayons X

Sébastien Merkel

Professeur, Département de Physique

Laboratoire UMET (Unité Matériaux et Transformations)

sebastien.merkel@univ-lille.fr

Générateurs de rayons X

- Tubes à rayons X
- Synchrotrons

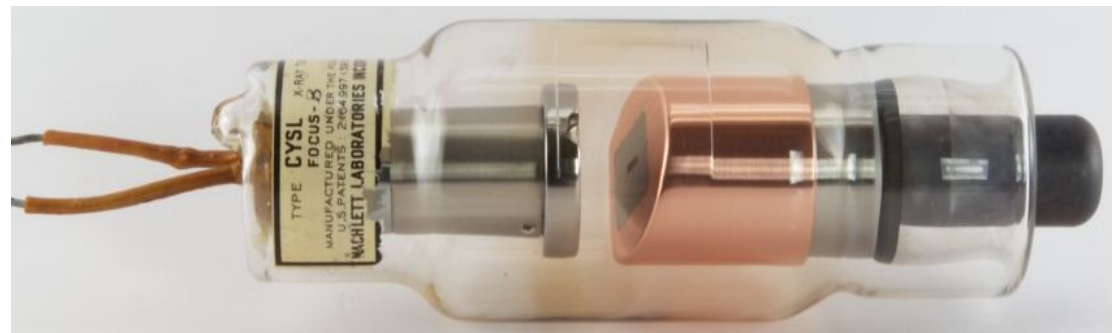
Physique sous-jacente

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

Synchrotron
ESRF
Grenoble



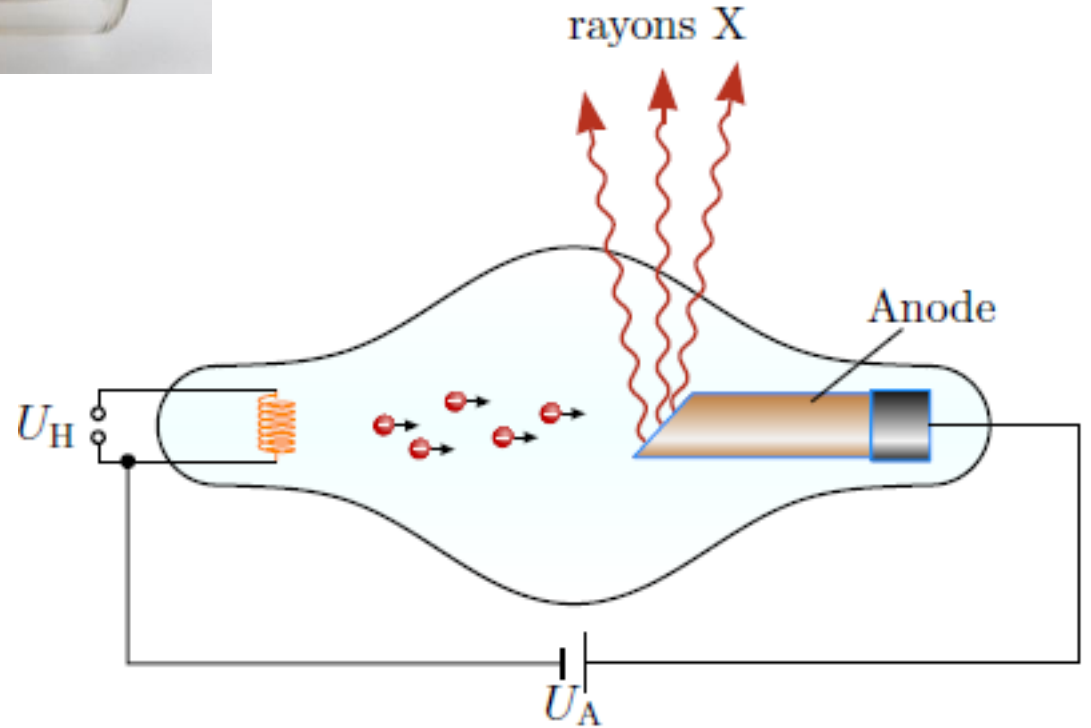
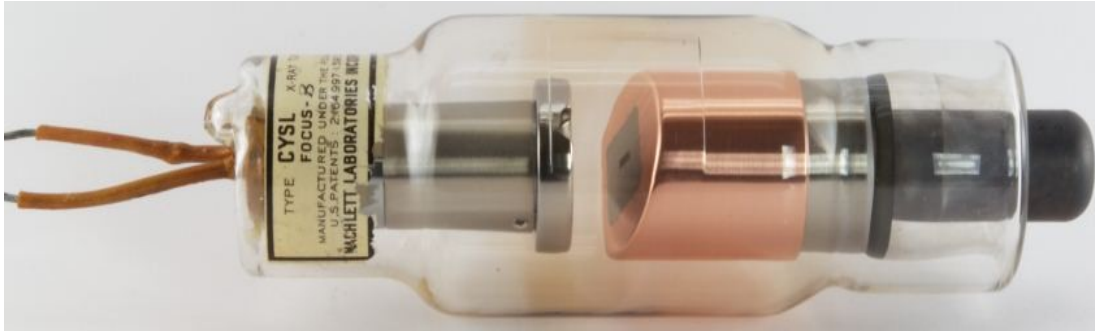
Tube à rayons X



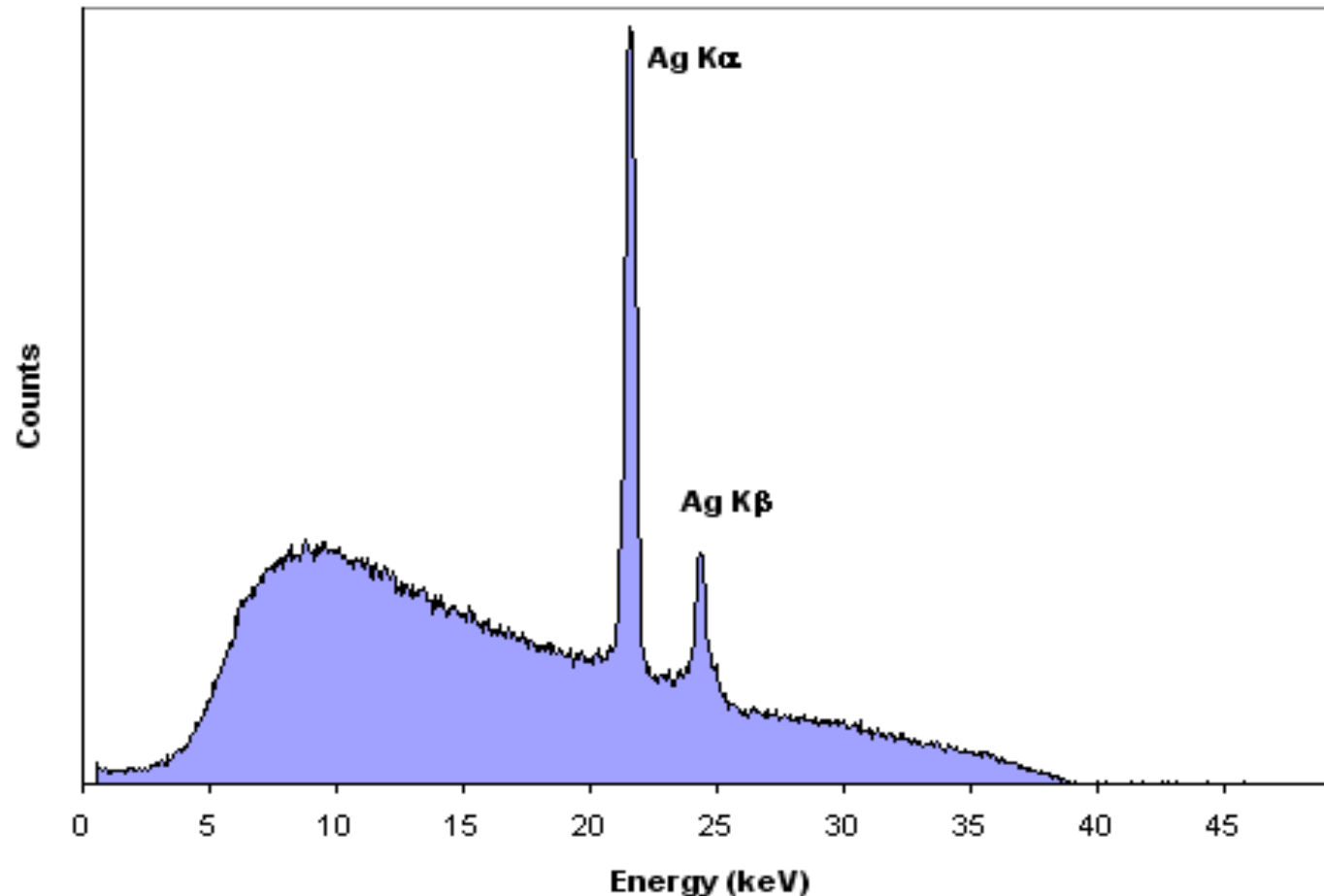
Tube à rayons X

Tube à rayons X

~ 20 cm



Mini-X Output X-Ray Spectrum: Ag Target @ 40 kV



2 parties

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

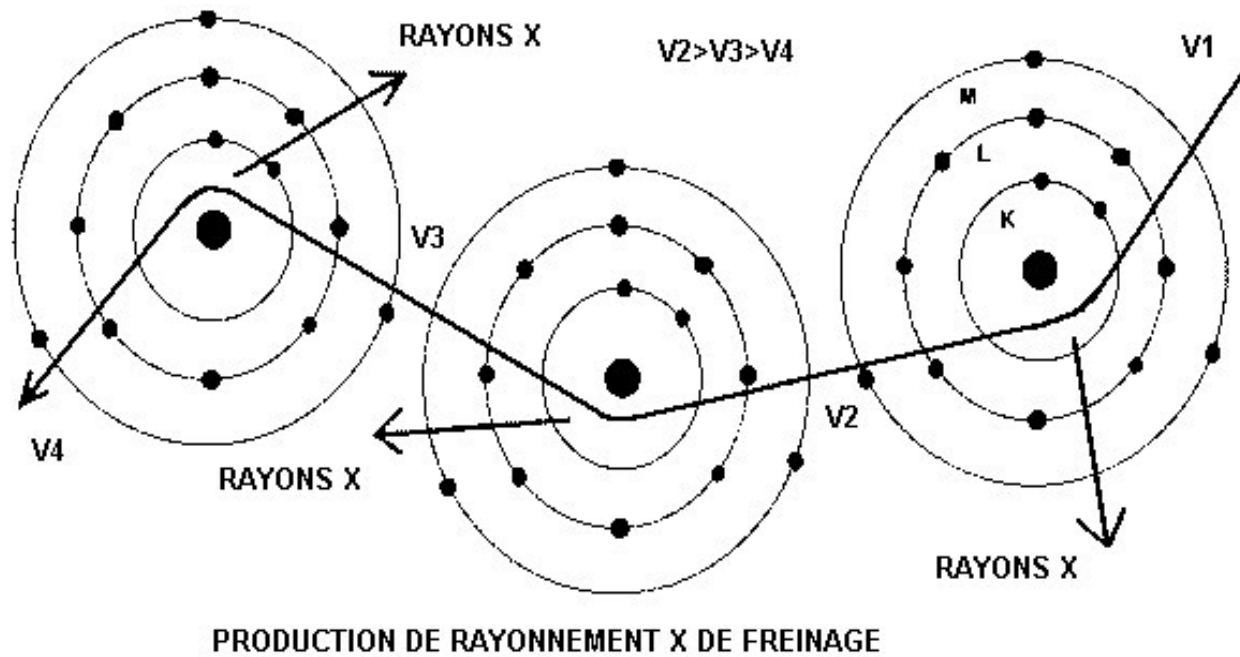
Rayonnement de freinage

Équations de Maxwell :

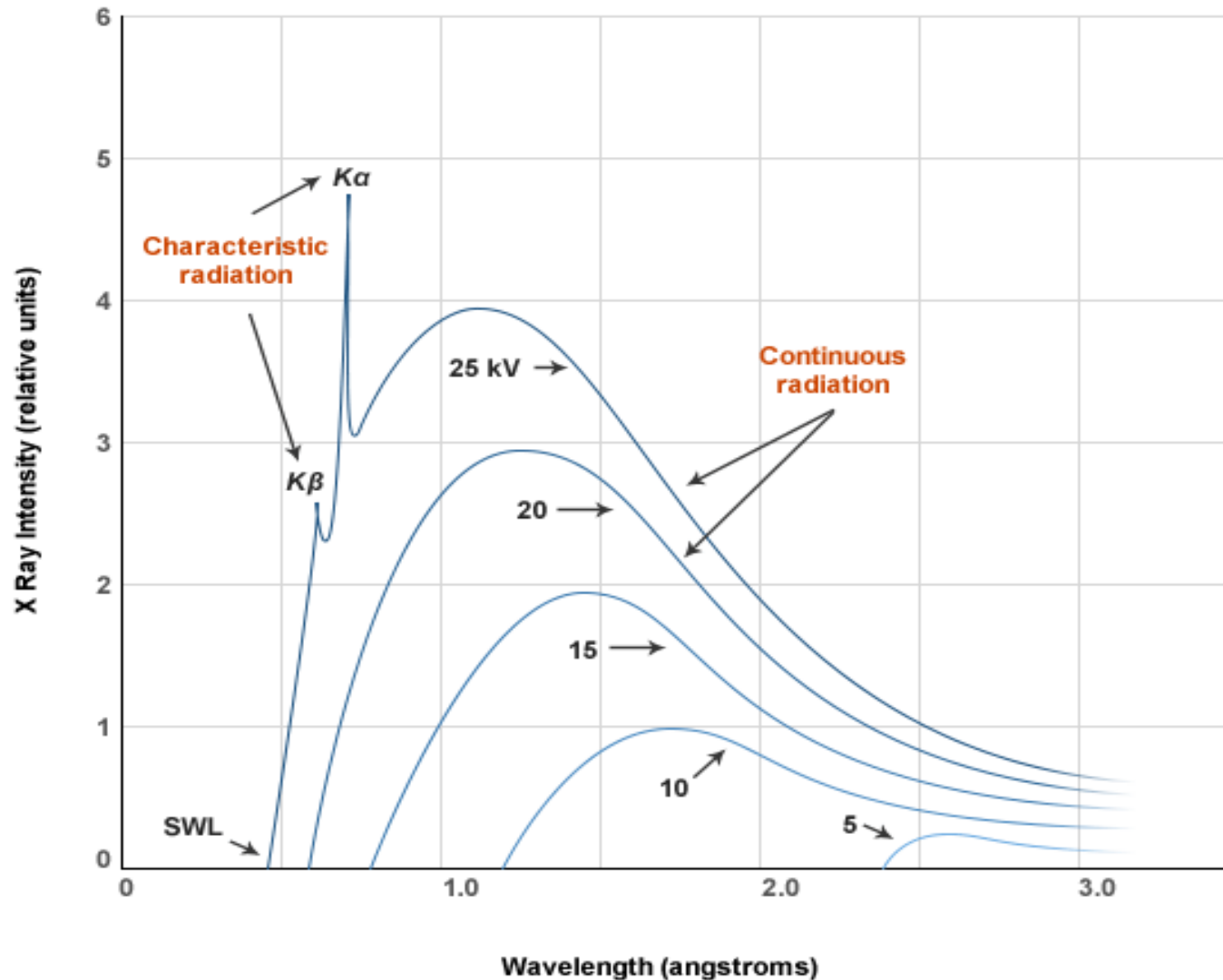
- Toute charge dont la vitesse varie, en norme ou en direction, émet un rayonnement

Spectre en énergie large, sans cohérence particulière

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



Rayonnement de freinage

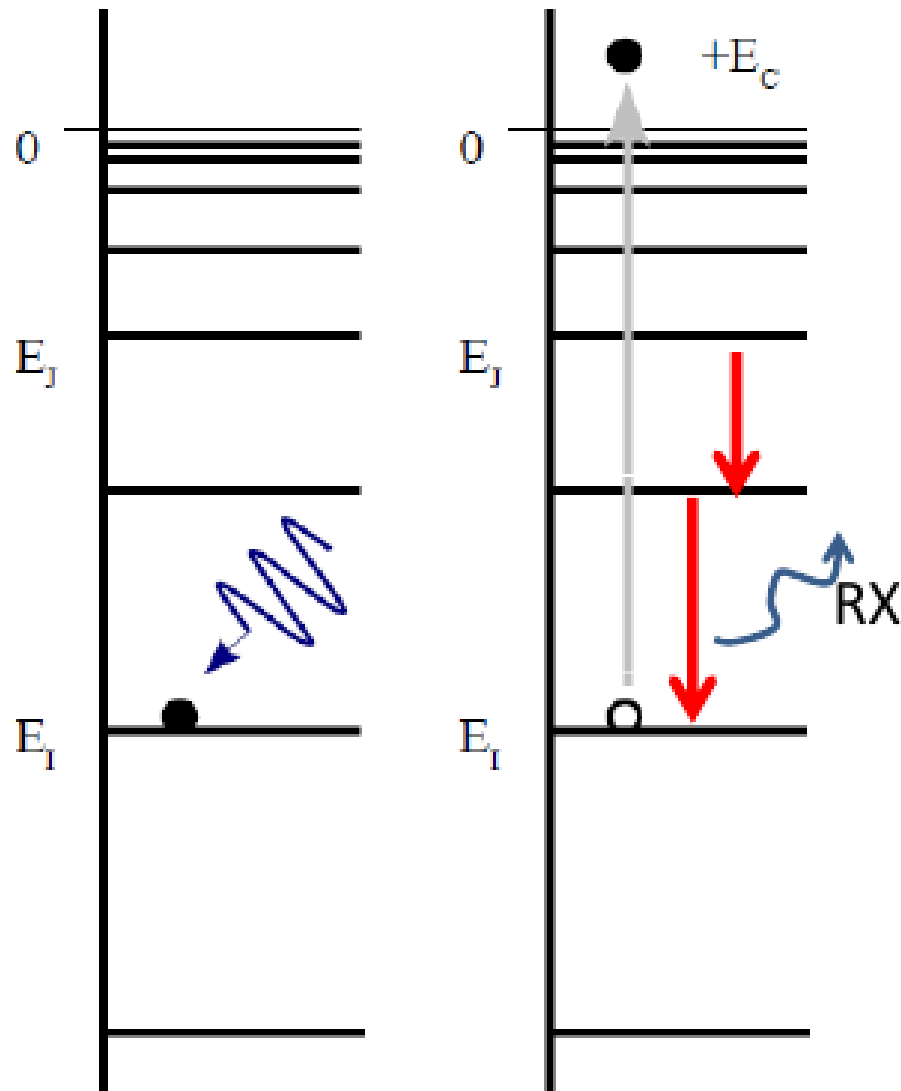


Spectre d'émission d'une cible bombardée avec des e^- de différentes énergies (5, 10, 15, 20, 25 keV)

Partie continue = rayonnement de freinage

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

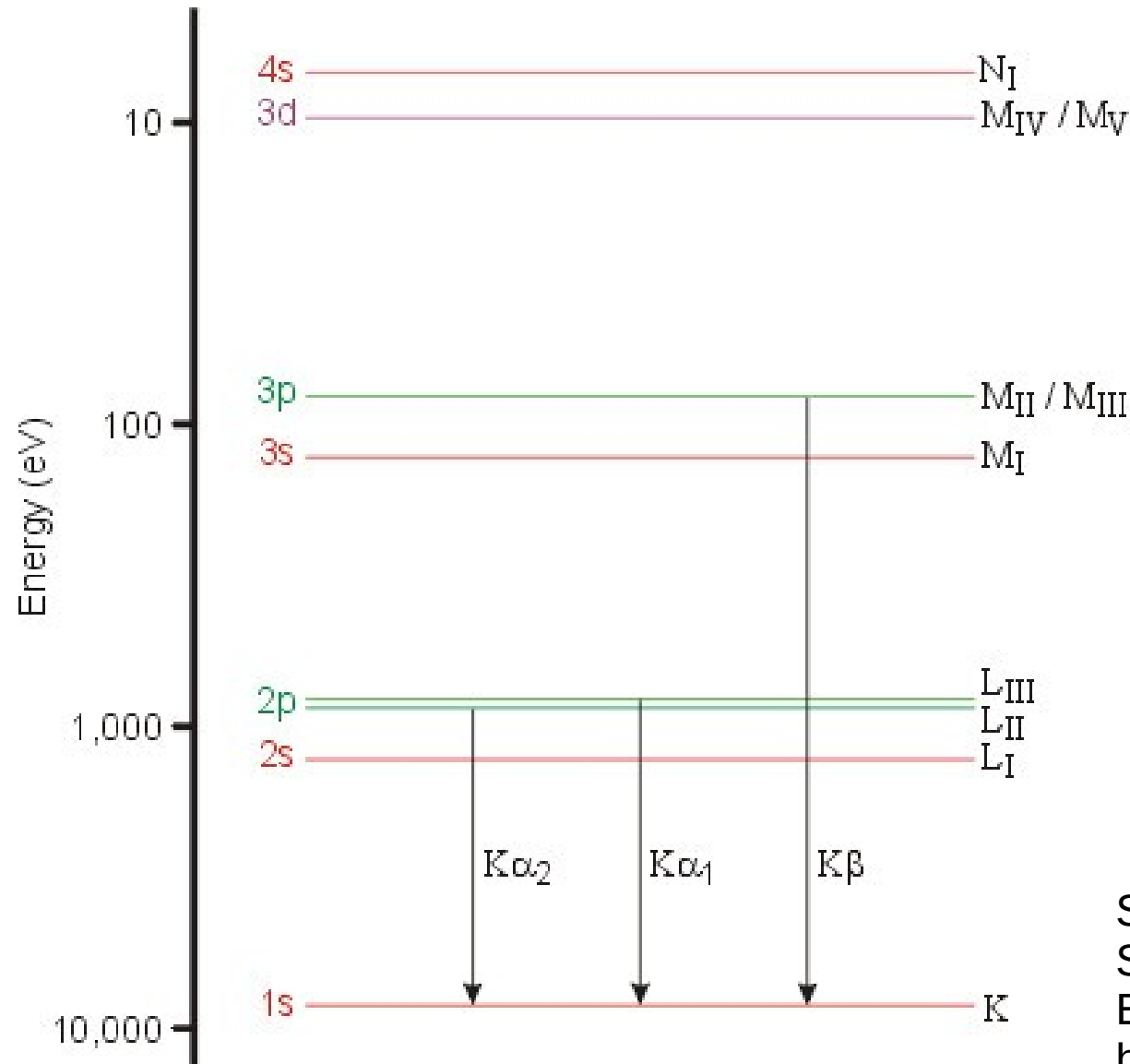
Rayonnement caractéristique



Effet photo-électrique :

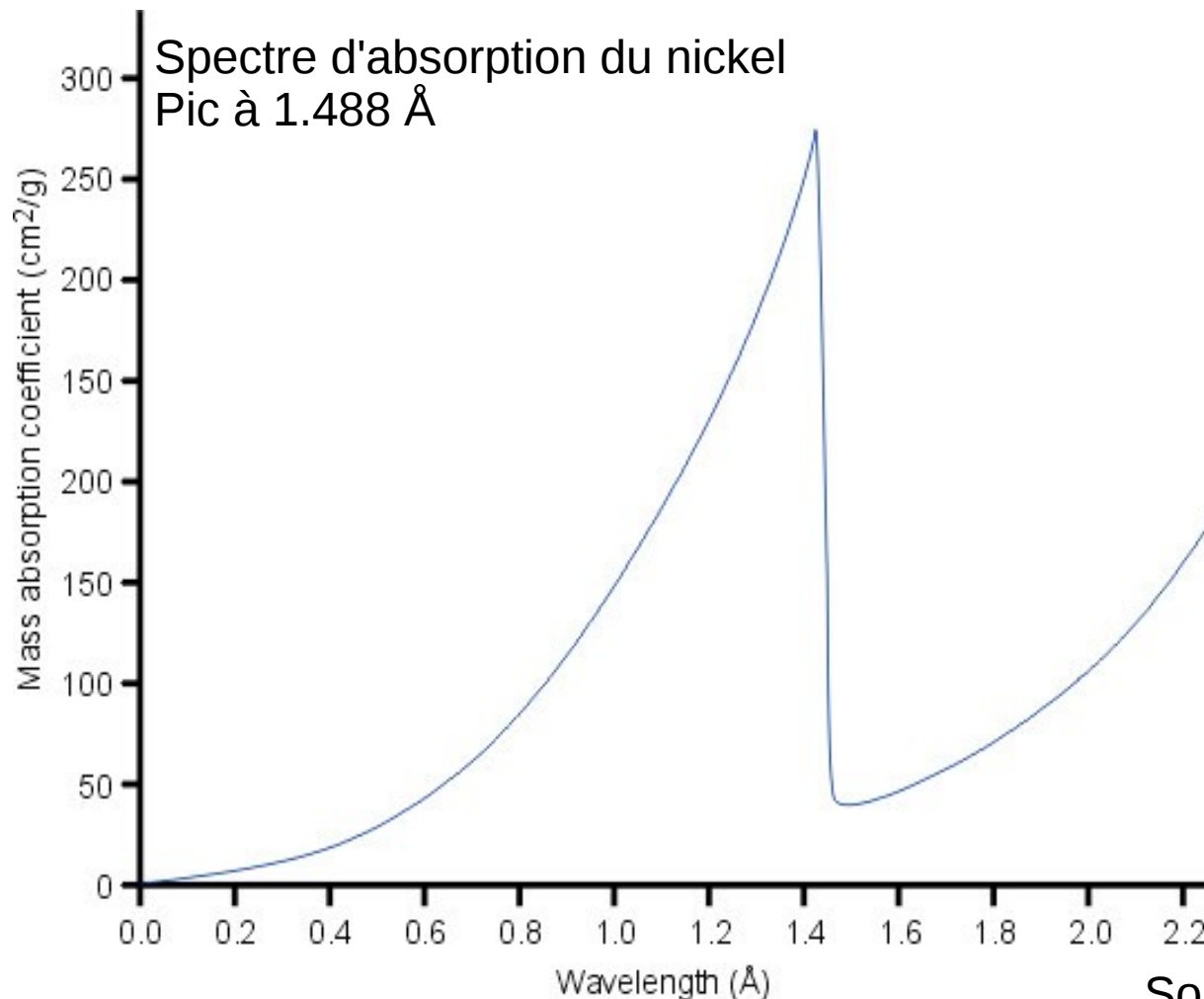
- Un électron de coeur est éjecté par la radiation incidente
- Les électrons de niveau supérieur descendent vers le niveau fondamental
- Typiquement, les raies des métaux $K\alpha$ et $K\beta$ sont dans le domaine des rayons X

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/indexnn.htm>

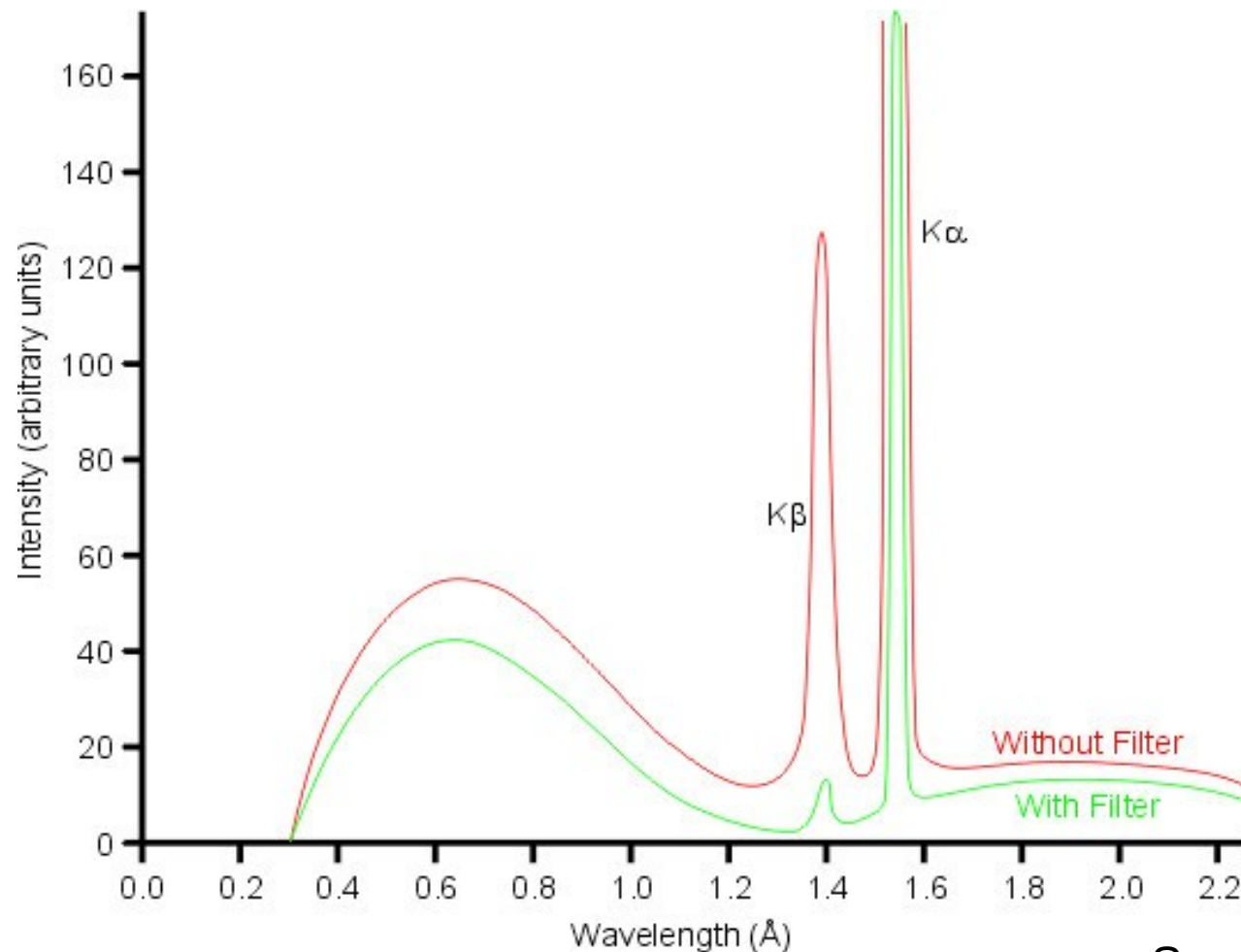


On utilise une nouvelle fois l'effet photo-électrique, mais sur les photons émis cette fois.

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/indexnn.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/indexnn.htm>

Synchrotron

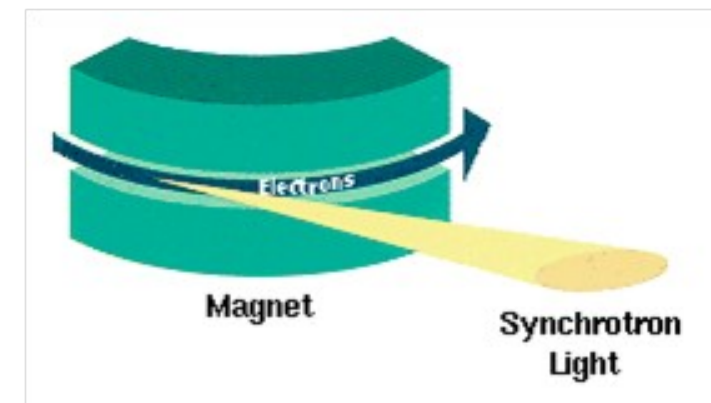
Rayonnement synchrotron

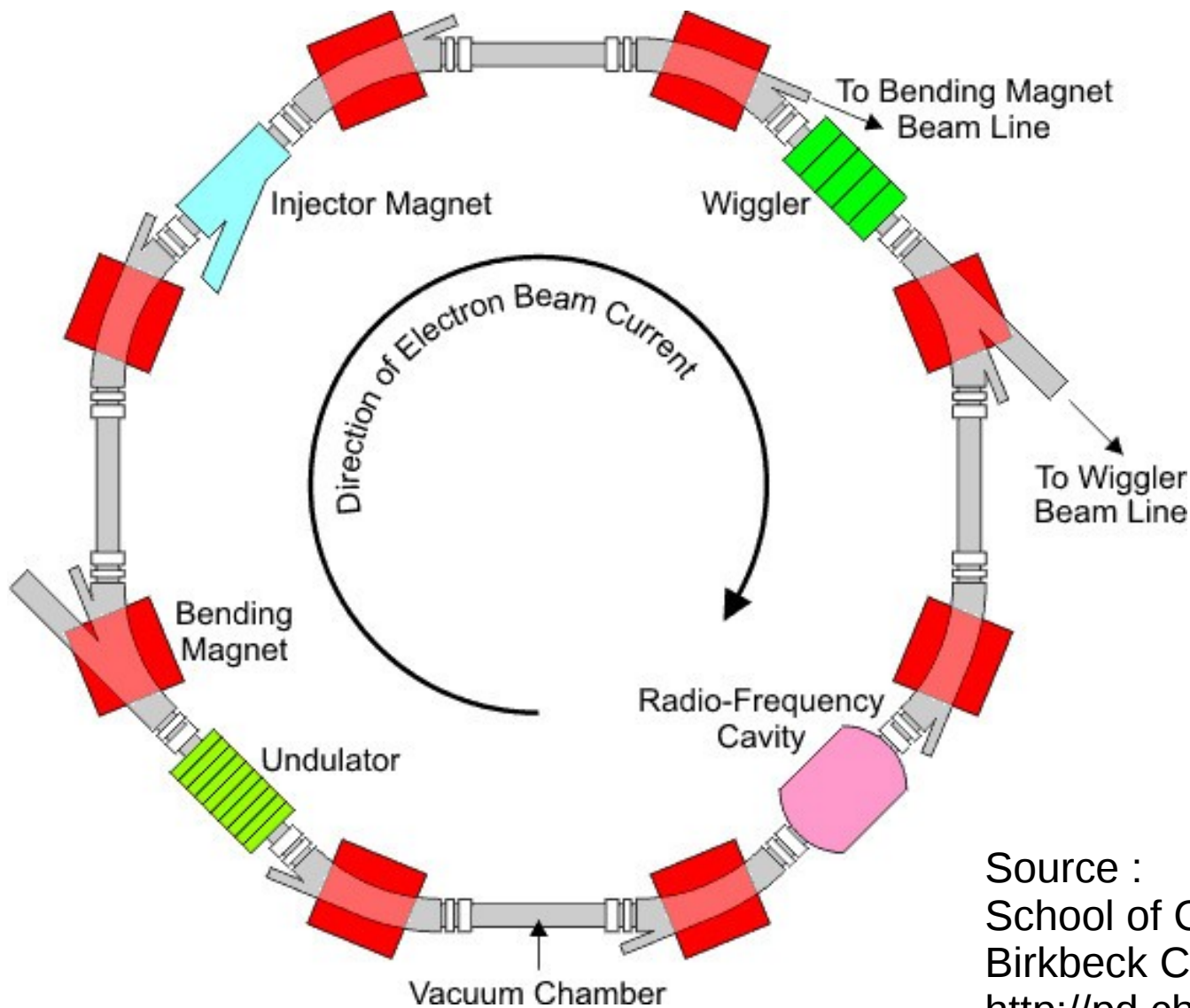
Synchrotron = accélérateur d'électrons optimisé pour avec un rayonnement de freinage « utile ».

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.

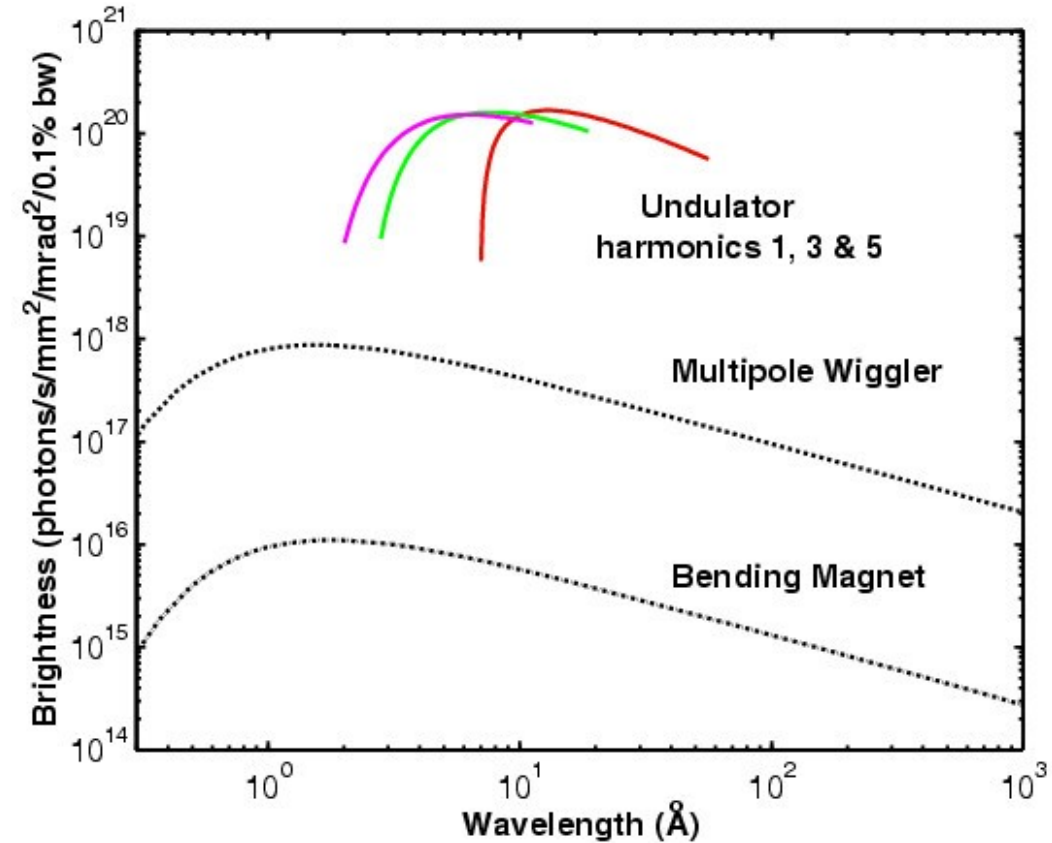
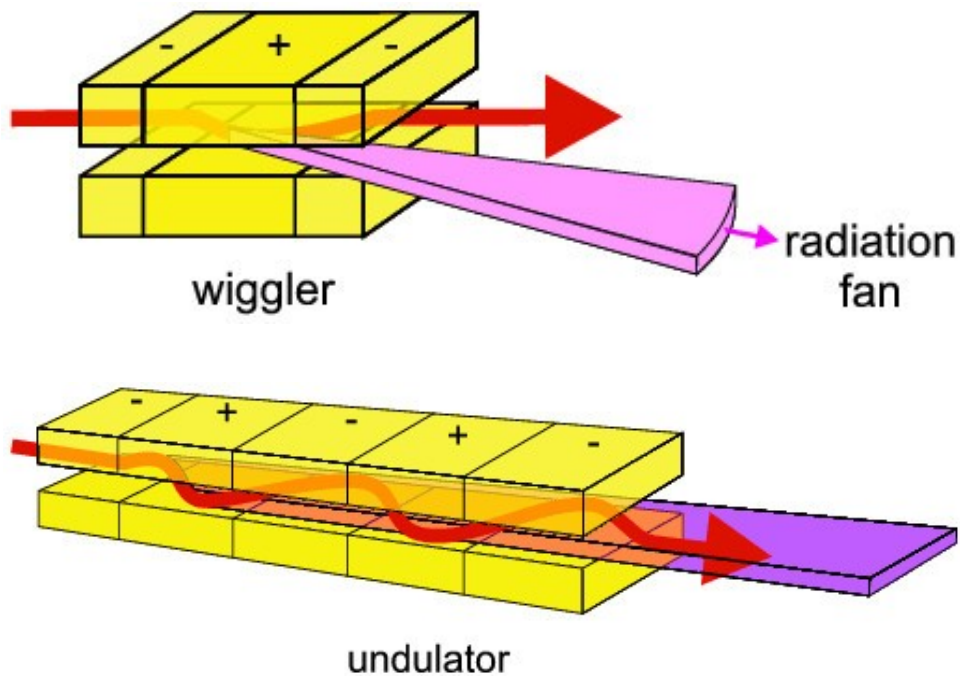
En sciences des matériaux (et d'autres), bremsstrahlung = outil : source de rayonnements.

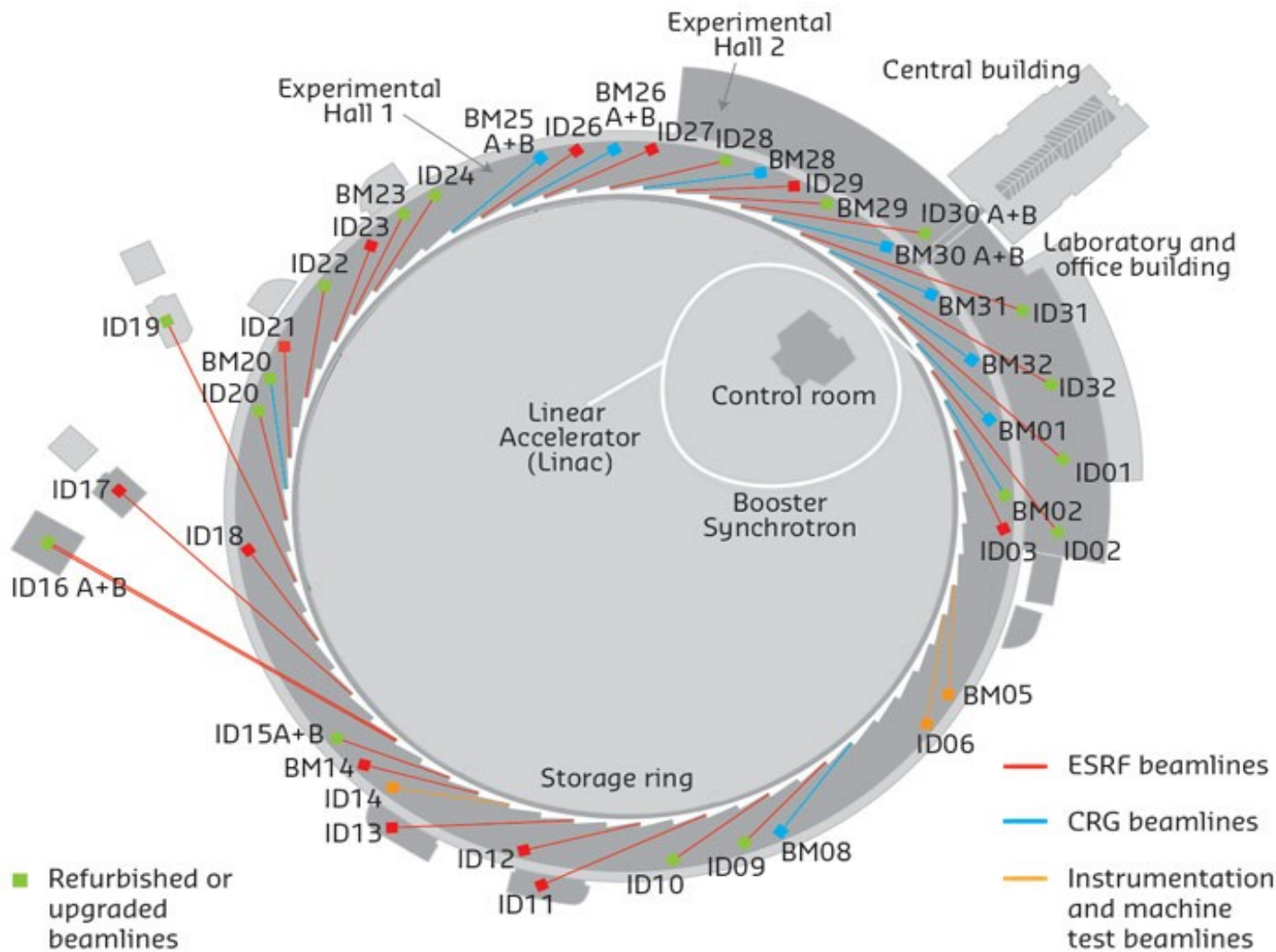




Source :
School of Crystallography,
Birkbeck College, University of London
<http://pd.chem.ucl.ac.uk/pd/indexnn.htm>

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





ID : lignes sur des éléments d'insertion

BM : lignes sur des aimants de courbure