

# Méthodes physiques utilisées

## I. Méthodes utilisant les rayons X

### A. Diffraction

La diffraction des rayons X est la méthode par excellence pour connaître parfaitement une métalloprotéine. On obtient avec précision la position de chaque atome.

Cependant elle est difficile à mettre en œuvre car elle ne peut être appliquée qu'à des cristaux, qui sont souvent dur à former. De plus, ces structures contiennent beaucoup de molécules d'eau qui déstabilisent la structure.

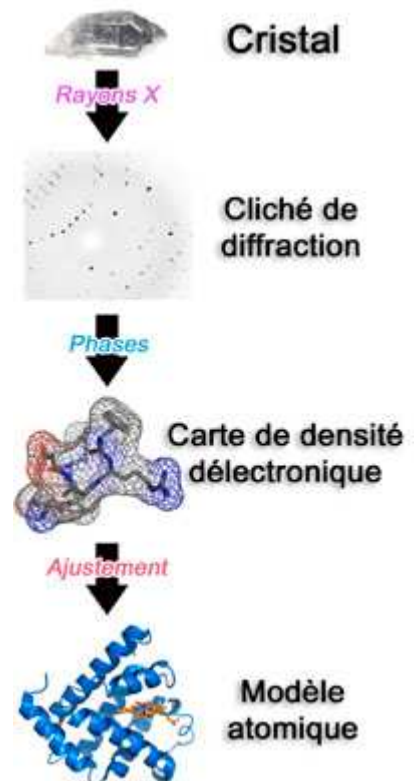
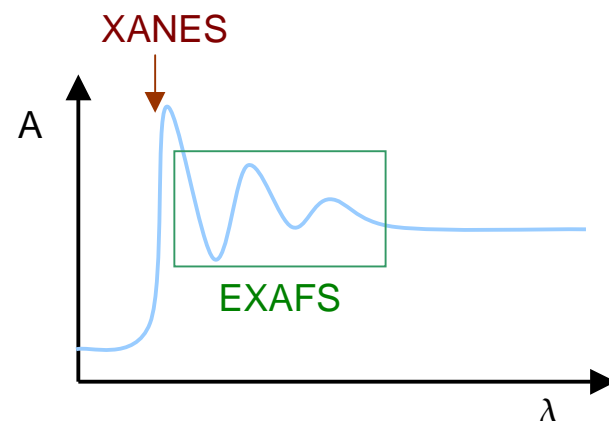
On peut parfois employer la **méthode Patterson** qui consiste à intercaler des atomes lourds dans la structure. On observe ainsi sur la **carte de distances interatomiques** l'atome lourd placé à l'origine, ce qui aide à la caractérisation de la protéine.

### B. Spectroscopie d'absorption des rayons X

Cette spectroscopie requiert l'utilisation d'un **synchrotron**, qui permet d'obtenir un rayonnement X polychromatique très intense et très focalisé. On mesure l'absorption des rayons X par la protéine. Cette technique est facile à appliquer aux matériaux biologiques. Encore faut-il avoir un synchrotron à portée de main

On obtient ainsi un spectre avec des pics d'absorption qui sont en fait les énergies d'ionisation des différents atomes. On identifie ainsi le type d'atome, son degré d'oxydation ainsi que sa géométrie de coordination. C'est le principe de la spectroscopie **XANES**.

On observe aussi des oscillations après le pic d'absorbance. Elles sont dues aux interactions de l'électron éjecté avec les atomes environnants. On déduit ainsi le nombre et la distance des premiers voisins. C'est la spectroscopie **EXAFS**.



### C. Résonance paramagnétique électronique (RPE)

En se servant de la dégénérescence des niveaux d'énergies des spins électroniques dans un champ magnétique (**effet Zeeman**), la RPE mesure l'absorbance entre ces niveaux d'énergie.

Dans le cas des métaux de transition, ils doivent posséder au moins un électron célibataire. C'est une technique très sensible.

Elle est particulièrement adaptée à Cu(II) puisqu'on peut obtenir l'**interaction hyperfine** (interaction entre spins électronique et nucléaire). Le signal obtenu nous donne la composition et de la géométrie du complexe de coordination.

### D. Résonance magnétique nucléaire (RMN)

On utilise souvent la RMN du  $^1\text{H}$  et  $^{13}\text{C}$  en chimie organique. Elle étudie les spins nucléaires.

Voir en L2-SV "Résonance Magnétique Nucléaire"  
pour plus d'infos ☺

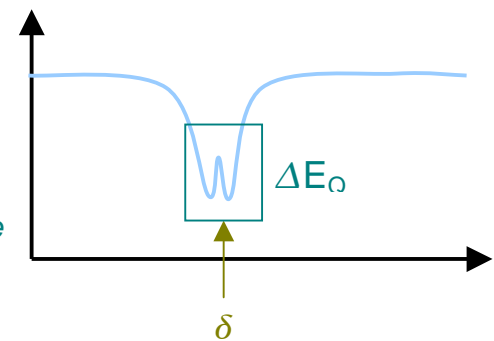
### E. Spectroscopie Mössbauer

Cette spectroscopie est essentiellement appliquée pour le fer. On mesure l'absorption des rayons  $\gamma$  de l'atome métallique. L'émetteur est un atome possédant le même nombre de masse ( $^{57}\text{Co}$  pour  $^{57}\text{Fe}$ ).

On obtient ainsi des pics caractérisés par leur **déplacement isomérique  $\delta$**  et l'**éclatement quadripolaire  $\Delta E_Q$** .

Le déplacement isomérique est dû à *l'interaction entre les électrons de l'atome et l'environnement* dans lequel il se trouve. C'est l'**interaction monopolaire électrique**. On observe ainsi un déplacement de la longueur d'onde absorbée par rapport à une interaction sphérique. On détermine ainsi l'environnement de l'atome et sa valence.

L'éclatement quadripolaire est dû à *l'interaction entre le quadripôle produit par les électrons et le noyau*, qui enlève la dégénérescence d'un niveau d'énergie. Celle-ci dépend de l'état de spin de l'atome.



### F. Spectroscopie électronique