

DM 19 – Principe de la spectroscopie par rayons X

Document 1 : Introduction

Découverts en 1895 par le physicien allemand Röntgen, les rayons X sont à la base de différentes techniques d'analyse comme la radiographie, la spectroscopie et la diffractométrie. Ces radiations électromagnétiques ont une longueur d'onde de l'ordre de l'Ångström ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$).

Un cristal est un agencement d'atomes, d'ions ou de molécules, avec un motif se répétant périodiquement dans les trois dimensions. Les distances interatomiques sont de l'ordre de l'Ångström, du même ordre de grandeur que les longueurs d'onde des rayons X : un cristal constitue donc un réseau 3D qui peut diffracter les rayons X.

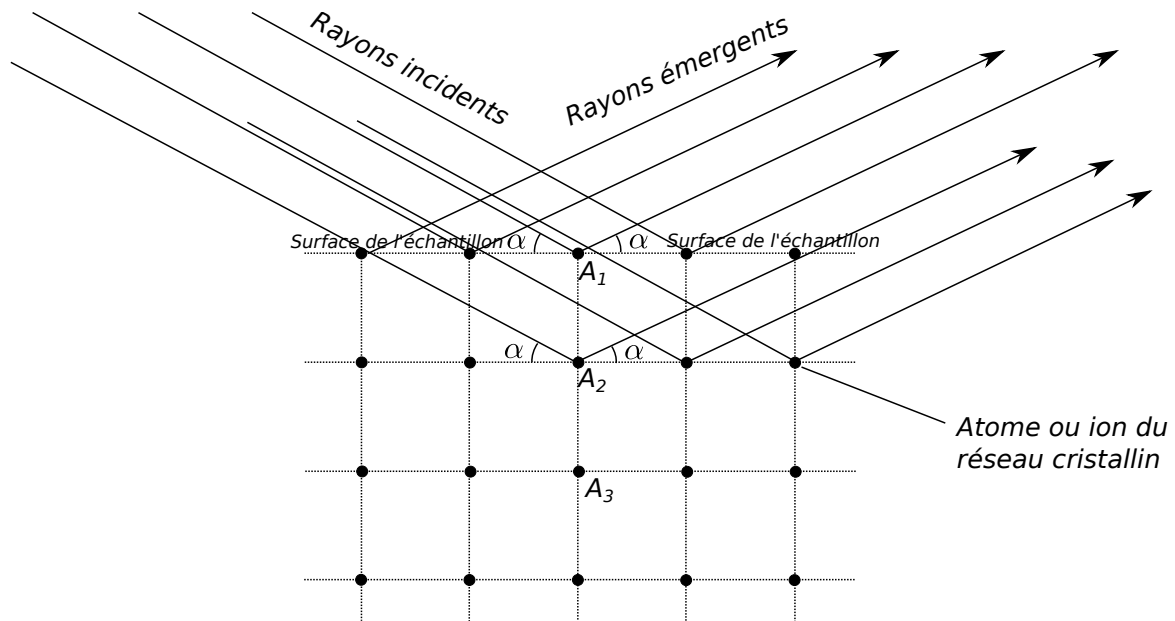
En 1913, William Lawrence Bragg et son père Sir William Henri Bragg utilisèrent ce rayonnement pour déterminer la structure cristalline de NaCl puis celles de nombreux autres sels métalliques. Ils reçurent conjointement le prix Nobel de Physique en 1915 pour leurs contributions à "l'analyse de la structure cristalline au moyen des rayons X".

(source : site culturesciencesphysique.ens-lyon.fr,

<http://culturesciencesphysique.ens-lyon.fr/ressource/Diffraction-rayons-X-techniques-determination-structure.xml>)

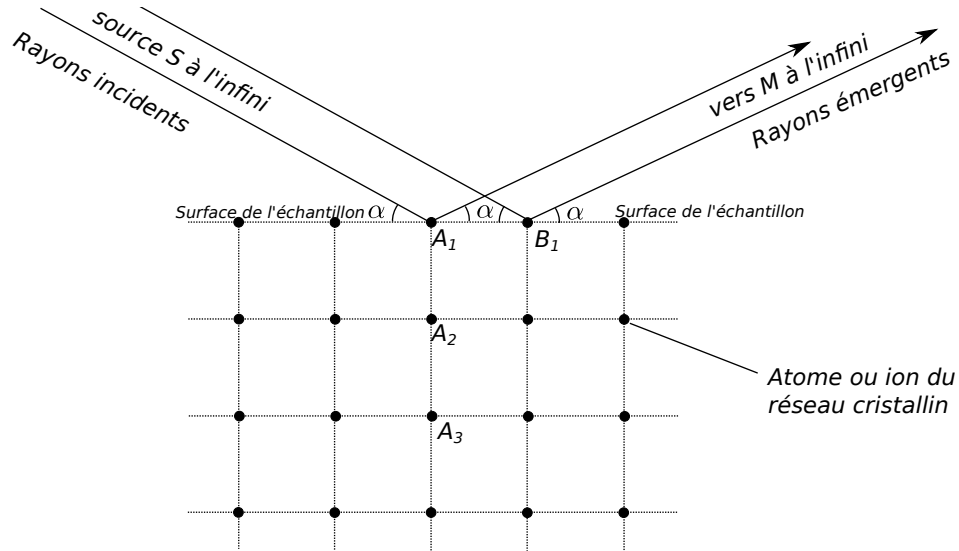
Ce problème propose de comprendre le principe de l'analyse des solides cristallins par diffraction de rayons X.

On considère donc un cristal, dont les atomes forment un réseau tridimensionnel. La figure ci-dessous montre une coupe de ce réseau. On l'éclaire avec un faisceau incident parallèle monochromatique (λ), qui est pris dans le plan de la figure. Ce faisceau est réfléchi par chacun des atomes, sur chacune des couches.



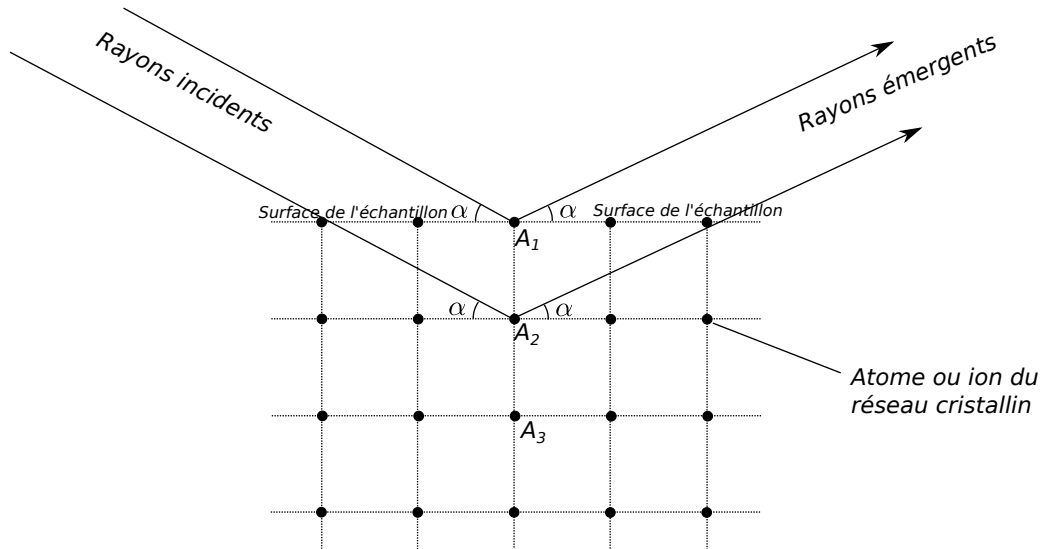
En sortie, tous les rayons lumineux interfèrent, et il s'agit de voir pour quels angles ces interférences sont constructives et maximales.

On considère d'abord les rayons qui sont réfléchis sur le même plan, comme sur le schéma ci-dessous.



- 1 - Montrer que la différence de marche entre ces deux rayons est nulle.
Ainsi, vont-ils interférer de façon constructive ?

On considère ensuite les rayons qui sont réfléchis sur deux plans différents, comme sur le schéma ci-dessous.



- 2 - Montrer que la différence de marche entre ces deux rayons est un multiple entier de la longueur d'onde λ si et seulement si l'angle α vérifie la condition de Bragg $\sin \alpha = m \frac{\lambda}{2d}$ avec d la distance A_1A_2 et $m \in \mathbb{N}$.
Que dire des interférences entre tous les rayons émergents si la différence de marche entre deux rayons consécutifs est un multiple entier de la longueur d'onde (et donc si la relation de Bragg est satisfaite) ?

Lorsque l'on éclaire un échantillon, seules certaines orientations α vont donner lieu à une lumière réfléchie : celles pour lesquelles la différence de marche entre chaque rayon est un multiple entier de λ , donc finalement seuls les α qui vérifient la formule de Bragg.

- 3 - Montrer alors que pour avoir une lumière réfléchie, il faut que $\lambda < 2d$.
Pour d de l'ordre de quelques angström, à quel domaine de rayonnement ceci correspond-t-il ?
- 4 - Une expérience sur un cristal de NaCl avec un faisceau de longueur d'onde 1.00 angström montre qu'il y a lumière réfléchie pour $\alpha = 6.19^\circ$, correspondant à $m = 1$.
En déduire la valeur de la distance interatomique A_1A_2 .

Remarque : C'est donc en mesurant les directions dans lesquelles la lumière est réfléchie que l'on en déduit les valeurs des paramètres de maille des solides cristallins, ainsi que la géométrie cristalline (type de maille). Les expériences réelles sont plus complexes que ce qui est décrit ici : la maille n'est pas cubique, et il y a de multiples possibilités de réflexions sur des plans différents. Le principe de base reste cependant le même. Voir par exemple le lien du document d'introduction.