

**Rapport de correction**  
**Leçon de physique : LP 36 (Session 2017)**

– *Diffraction par des motifs périodiques* –

- 5
- Date et horaire : Mardi 22 novembre 2016, 13h30-15h30.
  - Présentateur : GUILLAUME MUGNIER (Bin 14)
  - Correcteurs : MICKAËL MELZANI & HERVÉ GAYVALLET
- 

**Plan de la leçon présentée.**

- 10
1. Introduction.
  2. Présentation et caractéristiques d'un réseau.
  3. Étude et application des réseaux en spectroscopie (optique).
  4. Caractérisation d'un réseau cristallographique (X).
  5. Conclusion.

15 **Remarques et commentaires.**

L'exposé répond correctement aux attentes suggérées par le libellé du titre de la leçon. Le sujet est maîtrisé (bien que la partie relative à la cristallographie paraissait un peu moins robuste) et les développements bien conduits : les calculs sont contextualisés ; les résultats sont analysés, commentés et assortis d'applications numériques pertinentes ; des applications expérimentales ont été présentées (spectroscopie et diffraction électronique par de la poudre de graphite).

- 20
- La conclusion de la partie relative à la spectroscopie (Spectroscopie : réseau connu (étalon de mesure) → caractérisation du spectre de la source – Cristallographie :  $\lambda$  connue (étalon de mesure) → caractérisation du réseau) trouverait sans doute mieux sa place dans l'introduction générale.
  - 25 • Plutôt que de conduire d'emblée le calcul de l'amplitude  $\mathcal{A}(\Delta\vec{k})$  diffractée par un réseau à fentes, il serait préférable de se placer, au moins au départ, dans un cadre plus général. La structure périodique (1Dx) étant décrite par sa fonction de transfert  $\mathcal{A}_2/\mathcal{A}_1 \equiv f(x) = r(x) \exp(j\varphi(x))$ , de période spatiale  $a$ . En particulier, cela permet de présenter aisément l'effet de blaze par l'ajout d'un terme de phase à la fonction de transparence du réseau à fentes de façon à décaler la position du maximum du facteur de forme. Cela permet parallèlement de préparer la partie portant sur la cristallographie.
  - 30 • Une interprétation graphique de la relation des réseaux, ou relation de Bragg,  $\sin(\theta_2) - \sin(\theta_1) = n\lambda/a$  est toujours éclairante (voir figure (1)), notamment pour la comparaison du cas du réseau 1D en spectroscopie à celui du réseau 3D en cristallographie (sphère d'Ewald).
  - 35 • En conclusion, on peut évoquer que la diffraction est la manifestation d'un caractère ondulatoire. En particulier, elle concerne également le domaine de l'acoustique. Concernant la diffraction par un motif périodique, on peut citer les antennes (en émission, comme en réception) constituées

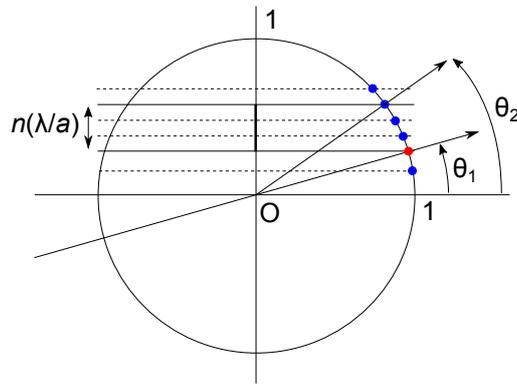


FIGURE 1 – Interprétation géométrique de la relation des réseaux (cas 1D).

d'une série de transducteurs. L'effet de réseau est exploité pour accroître la directivité (en émission, comme en réception, également). Notons, en comparaison avec la spectroscopie ou la cristallographie, que les sources acoustiques sont cohérentes et que l'évolution temporelle du signal est accessible expérimentalement.

**Cristallographie.**

- La (une) maille élémentaire du réseau cristallin est définie par le triplet  $(\vec{a}, \vec{b}, \vec{c})$  et le réseau réciproque correspondant par le triplet  $(\vec{A}, \vec{B}, \vec{C})$  où  $\vec{A} = \frac{2\pi}{V}(\vec{b} \wedge \vec{c}), \dots$  (notons qu'ainsi,  $\vec{A} \cdot \vec{a} = 2\pi$ ,  $\vec{A} \cdot \vec{b} = 0$  et  $\vec{A} \cdot \vec{c} = 0, \dots$ ). La condition de pic du facteur de structure s'écrit  $\Delta\vec{k} \cdot \vec{R}_{(p,q,s)} = n 2\pi$  où  $\vec{R}_{(p,q,s)}$  est un vecteur du réseau cristallin (réseau de Bravais). Le vecteur  $\Delta\vec{k} \equiv \vec{k}_2 - \vec{k}_1$  appartient alors au réseau réciproque (condition de Laue). Cette condition se traduit graphiquement par la construction d'Ewald (voir figure (2)).

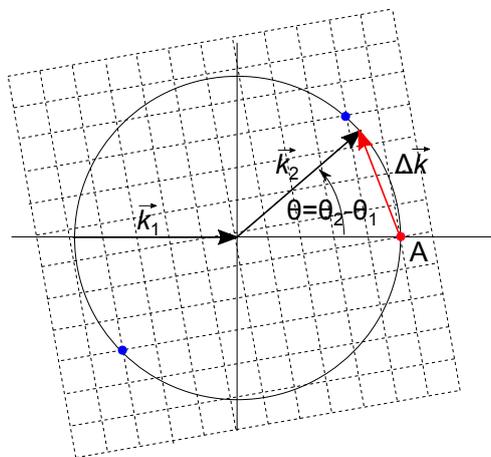


FIGURE 2 – Sphère d'Ewald (en représentation plane) : la condition de Laue apparaît très restrictive.

Compte tenu de ce résultat, afin d'augmenter les occurrences d'apparition de pics de diffraction, et donc de disposer de suffisamment de résultats pour caractériser le réseau, trois techniques expérimentales peuvent être mises en œuvre :

- La méthode du cristal tournant : toutes les orientations du réseau autour de l'axe de rotation sont balyées, cela revient à faire tourner le réseau réciproque autour d'un axe passant par le point A (intersection sphère d'Ewald / nœuds du réseau → intersection sphère d'Ewald / famille de cercles de centre A) ;
- La méthode des poudres : toutes les orientations du réseau sont représentées, cela revient à faire tourner le réseau réciproque autour du point A ;

- La méthode de Laue : la source émet dans un intervalle spectral, la sphère d’Ewald devient alors une coquille (on doit alors accéder à la longueur d’onde correspondant à chaque pic observé).
- La figure (3) illustre la sélection implicite d’une distance réticulaire.

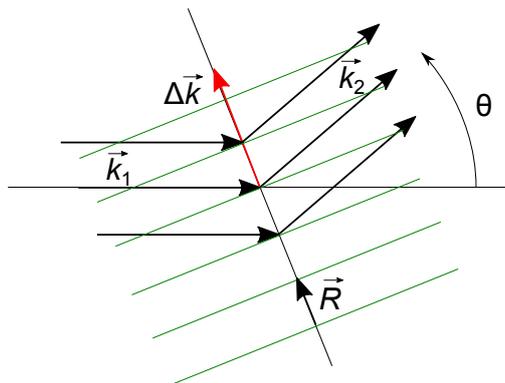


FIGURE 3 – Sélection d’une distance réticulaire.

60

- L’angle  $\theta$  (déviation) du faisceau diffracté est mesuré depuis la direction du faisceau incident ;
- On construit  $\Delta\vec{k}(\theta)$  ;
- On sélectionne la famille de plans réticulaires  $(hkl)$  perpendiculaires à  $\Delta\vec{k}$  ;
- Si l’angle  $\theta$  correspond à un pic on a  $\Delta\vec{k} \cdot \vec{R} = n 2\pi$ , ou  $2kR \sin(\theta/2) = n 2\pi$ , avec  $R = d_{hkl}$  (ce pic porterait alors l’indice  $hkl$ ).

65

- Notons que l’on peut définir une infinité (dénombrable) de plans réticulaires (caractérisés par leurs trois indices de Miller) à partir d’un réseau cristallin donné (figure (4)). Ces plans se caractérisent par leur distance inter-réticulaire  $d_{hkl}$  et leur densité atomique. Plus cette dernière est élevée, plus l’intensité du pic est importante. La mesure de l’intensité (relative) est donc nécessaire.

70

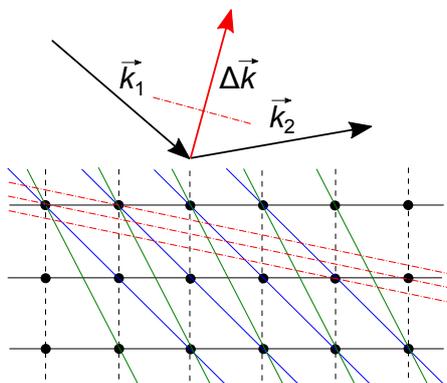


FIGURE 4 – Différents plans réticulaires d’un réseau (plan, carré).

- Retenons encore que la caractérisation cristalline d’un échantillon dont on ne connaît *a priori* rien n’est pas simple, notamment lorsqu’il comporte plusieurs phases cristallines. Il faut procéder par hypothèses et recoupements, et s’appuyer sur une base de signatures élémentaires.
- Enfin, le diffractogramme d’un réseau renseigne également sur son niveau d’organisation. La figure (5) représente l’évolution de l’intensité d’un pic de diffraction (correspondant à  $\Delta\vec{k} = 8\vec{A}$ ) avec la température  $T$ , pour un échantillon de cuivre ( $M = 66,5 \text{ g}$ , cfc,  $a = 2,55 \text{ \AA}$ ). Ces résultats permettent une estimation de la fréquence de Einstein.

75

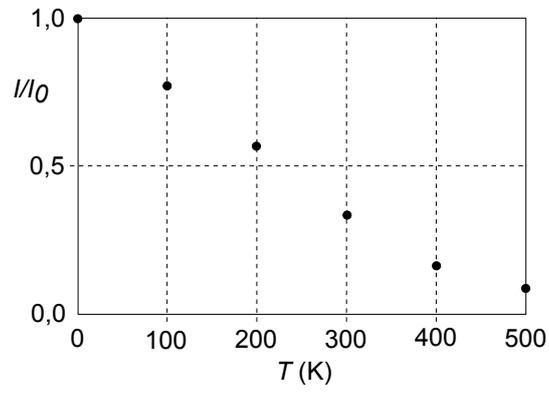


FIGURE 5 – Données expérimentales représentant l'intensité relative  $I/I_0$  d'un pic de diffraction ( $\Delta\vec{k} = 8\vec{A}$ ) en fonction de  $T$ , pour un échantillon de cuivre (P.A. Flinn et al., Physical Review, 123, 809 (1961)).

80

\* \*  
\*