

CRISTAL

Estimation des propriétés de cohérence des faisceaux de rayons X par diffraction de fentes, du champ proche au champ lointain

La génération de faisceaux cohérents de rayons X a permis l'apparition de nombreuses techniques expérimentales, notamment l'imagerie par reconstruction de phase, l'étude de dynamiques lentes, ou l'étude de défauts de phase dans les cristaux. Un travail d'estimation des propriétés de cohérence des faisceaux de rayons X par diffraction de fentes, du champ proche au champ lointain a été effectué sur CRISTAL et publié dans Physical Review

Depuis plus de 300 ans, le comportement ondulatoire de la lumière a été mis en évidence grâce aux expériences de diffraction, notamment par des fentes. Ce phénomène n'est cependant observable que si l'objet diffractant a une taille comparable à la longueur de cohérence spatiale du faisceau ξ_T , proportionnelle à la longueur d'onde λ , à la distance entre la source et l'objet D et à l'inverse de la taille de la source σ .

Si, pour des faisceaux visibles, les longueurs de cohérence peuvent aisément atteindre des tailles millimétriques, cela est plus compliqué dans le cas des rayons X dont la longueur d'onde est 1000 fois plus petite. Depuis l'apparition des sources synchrotron de 3e génération, les tailles de source sont devenues micrométriques, et les distances source-échantillon d'environ 40m.

Sur la [ligne CRISTAL](#) du synchrotron SOLEIL, on a par exemple $D = 36\text{m}$ et $\sigma = 8.1\mu\text{m}$ r.m.s. (dans la direction verticale). Dans ces conditions, ξ_T peut atteindre $\approx 100\mu\text{m}$. La génération de faisceaux cohérents de rayons X a permis l'apparition de nombreuses techniques expérimentales, notamment l'imagerie par recouvrement de phase, l'étude de dynamiques lentes, ou l'étude de défauts de phase dans les cristaux. Dans le travail effectué sur [CRISTAL](#) et publié dans Physical Review, il a été possible de :

1. mesurer les diagrammes de diffraction en champ lointain et en champ proche, avec en particulier la détection du point sombre de Poisson ;
2. estimer la longueur de cohérence transverse par l'analyse des visibilité obtenues sur les diagrammes de diffraction par des fentes, en régime de champ lointain et de champ proche.

L'expérience consiste à générer un faisceau monochromatique de longueur d'onde $\lambda = 1\text{\AA}$, éventuellement focalisé à l'aide de miroirs. Dans ce dernier cas, des fentes secondaires sont utilisées après les miroirs pour constituer une source secondaire et s'affranchir ainsi des aberrations introduites par les optiques. Le faisceau généré est ensuite diffracté par des fentes d'ouverture a situées loin de la source. En fonction de la position du détecteur, et de la taille de la fente a , la détection s'opère en champ proche ou en champ lointain. La distance

de séparation entre ces deux régimes est $d_b = a^2/(2\pi\lambda)$. Elle correspond à la position du point sombre, pour laquelle un seul minimum est mesuré au centre du cliché de diffraction (**Figure 1**).

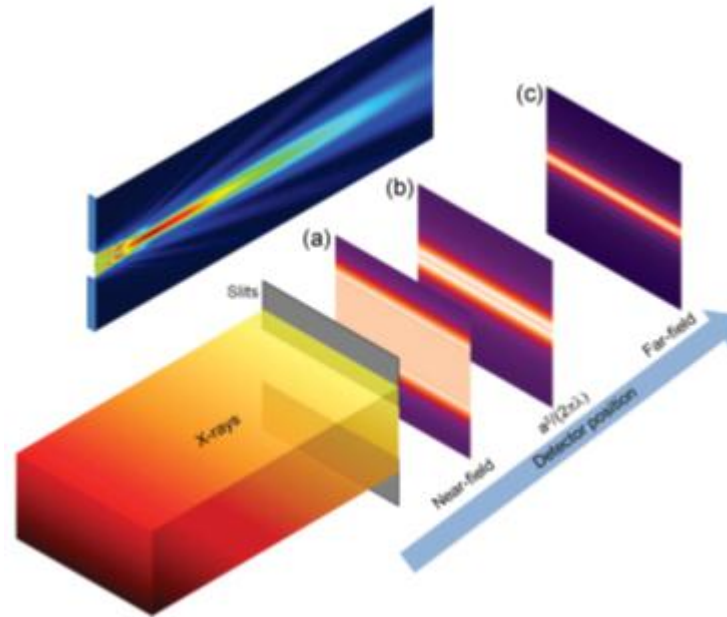


Figure 1: les régimes de champ proche (a) et de champ lointain (c) dépendent de la position du détecteur après la fente, et sont séparés par la position du point sombre (b), qui dépend de la taille de la fente a et de la longueur d'onde λ .

Dans un premier temps, l'étude a été menée en champ lointain, en utilisant les miroirs focalisants et les fentes secondaires. C'est le montage classique utilisé sur la ligne CRISTAL pour les expériences de diffraction cohérente. Les visibilité V des diagrammes de diffraction normalisés de leur enveloppe lorentzienne ont été étudiées en fonction de l'ouverture des fentes secondaires, pour une taille de fente diffractante de $5\mu\text{m}$ (**Figure 2.b**). Elles correspondent bien à la variation gaussienne attendue ($V=\exp(-a^2/(2\xi_T^2))$), la différence par rapport au calcul provenant essentiellement de la taille finie des pixels de la caméra de détection bidimensionnelle.

La mesure du passage du champ lointain au champ proche a ensuite été réalisée sans miroir, et sans fente secondaire, en ouvrant progressivement les fentes de diffraction. Les clichés obtenus en champ lointain, au point sombre, et en champ proche sont montrés sur la **Figure 2a**. Cette mesure a été rendue possible par l'utilisation d'un détecteur bidimensionnel haute résolution, et en le plaçant à une distance de 3m des fentes diffractantes. La comparaison entre les visibilité obtenues expérimentalement et par un calcul utilisant un modèle gaussien, au centre des diagrammes de diffraction en champ proche, a permis d'extraire une longueur de cohérence transverse de $58\pm 2\mu\text{m}$, qui est en bon accord avec les estimations théoriques (**Figure 2.c**).

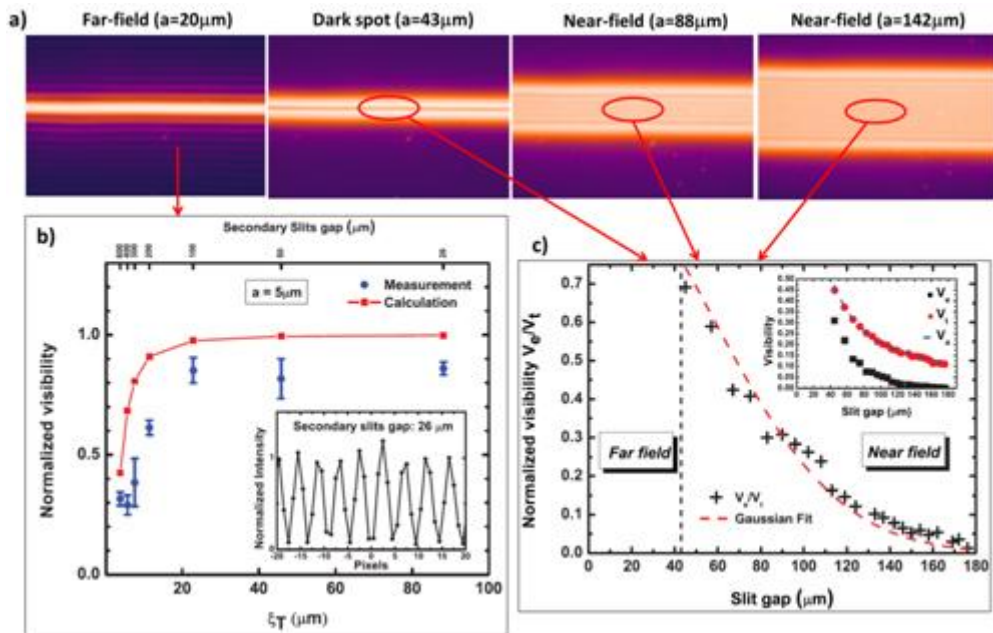


Figure 2 : *a)* Diagrammes de diffraction obtenus en faisant varier l'ouverture verticale a des fentes diffractantes, permettant de passer du champ lointain au champ proche en passant par le point sombre. *b)* Visibilités obtenues en champ lointain pour $a = 5\ \text{mm}$, en fonction de l'ouverture des fentes secondaires. La mesure est en bon accord avec les calculs, la différence provenant de la taille finie des pixels du détecteur. *c)* Rapport des visibilités expérimentales et calculées au centre du cliché de diffraction en champ proche en fonction de la taille de la fente diffractante. L'allure gaussienne permet de remonter à la longueur de cohérence transverse du faisceau.

Publication associée :

“Estimation of coherence properties of an undulator-generated x-ray beam from near-field and far-field slit diffraction visibilities”

V.L.R. Jacques, E. Pinsolle, D. Le Bolloc'h, F.-E. Picca & S. Ravy, *Physical Review B* **86**, 144117 (2012).