

*Une plongée vers l'invisible, ça vous tente ?
Ou comment retrouver la structure de la matière.*

LEPRINCE Charlie ; ROIRON Yohann ; TOUSSAINT Damien
Terminale S – Lycée POTHIER - ORLEANS

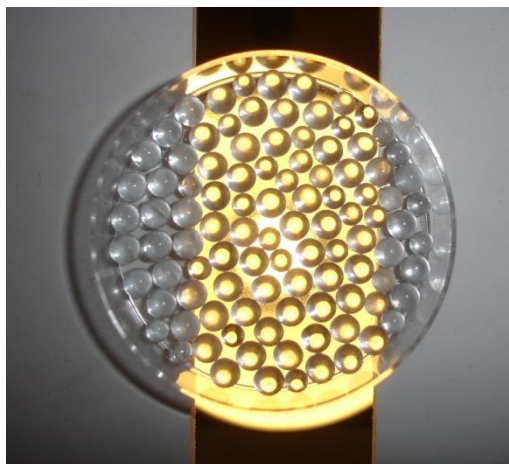
Dans le cadre de l'option MPI, durant l'année de seconde, nous avons visité le synchrotron SOLEIL (Source Optimisée de Lumière d'Energie Intermédiaire du Lure) près de Paris. C'est de là que découle notre envie d'approfondir nos connaissances sur le synchrotron et particulièrement sur l'étude de la matière. Nous avons réalisé notre TPE sur ce sujet et nous continuons à mener des expériences et des recherches pour voir les atomes, retrouver la structure de la matière. Pour cela, nous avons rencontré des chercheurs du CEMHTI, un laboratoire du CNRS, qui nous ont apporté de nombreuses informations sur le sujet.

La structure d'un matériau

La matière est constituée d'atomes dont la taille est de l'ordre du nanomètre. Ils peuvent être agencés de différentes façons. Nous avons voulu savoir comment voir la matière, comment retrouver la structure d'un matériau. Pour cela, nous avons étudié plusieurs phénomènes d'interaction entre la lumière et des objets, et cela à différentes échelles.

Des billes de verre : une modélisation à l'échelle 10^6

L'organisation en surface de la matière est modélisée par l'agencement naturel de petites billes en verre de 3, 4 et 5 mm de diamètre dans une boîte de pétri.



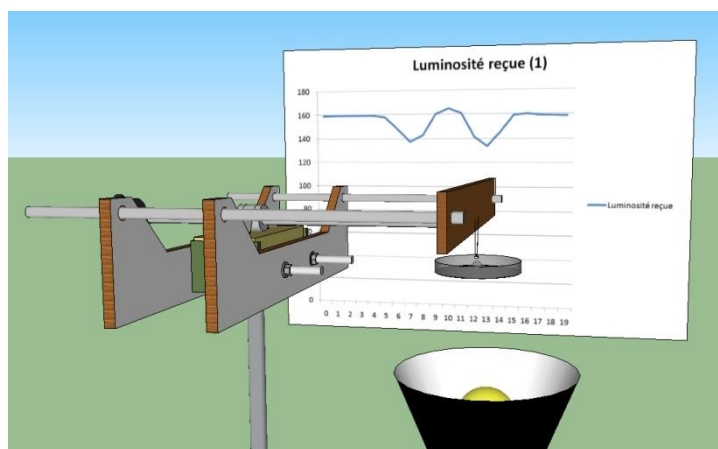
Photographie de l'échantillon

Les billes sont éclairées par une lampe en-dessous, pour que la répartition de la luminosité soit homogène pour toute la surface que l'on analyse.

On cherche à mesurer la luminosité renvoyée par les billes afin de retrouver la structure de la surface. Pour cela, on utilise une photorésistance placée au dessus de la boîte (qui mesure donc la luminosité) qu'on fait avancer le long d'une ligne. On relève la luminosité à des intervalles de 1 mm.

Tout d'abord, nous avons procédé à l'étalonnage de notre dispositif et réalisé divers essais de placement de la lampe dans le montage, de sorte qu'on obtienne des résultats sans saturer la photorésistance en lumière, sans

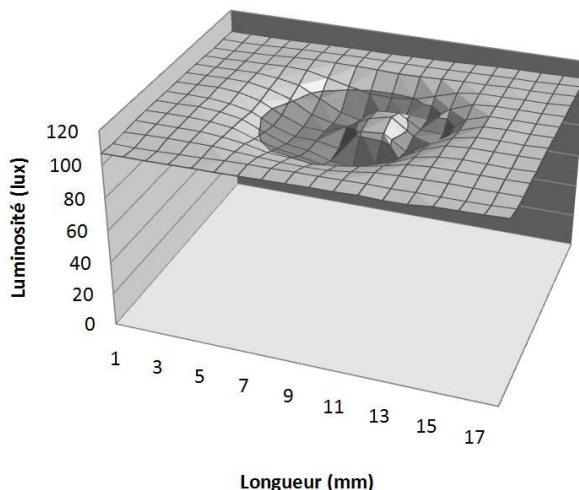
ombres pour gêner les mesures, et surtout avec une répartition homogène de la luminosité.



Modélisation du montage réalisé

Les résultats montrent que les billes ne réfléchissent pas la lumière mais la diffusent. On remarque qu'à l'approche d'une bille la luminosité diminue, formant ainsi une sorte de « douve », phénomène dû au trajet de la lumière dans la bille.

Luminosité

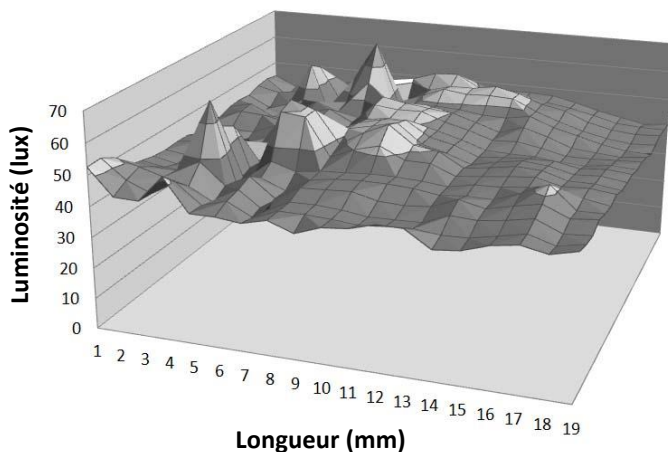


**Cartographie 3D de la luminosité renvoyée
par une bille**

Photographie de l'expérience

On obtient finalement une structure dans laquelle on retrouve l'organisation en billes de la surface.

Luminosité renvoyée par la surface



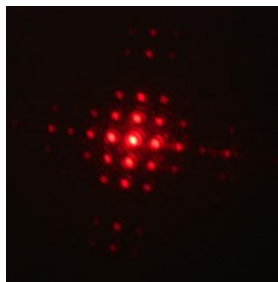
Cependant l'échelle avec laquelle nous avons réussi à voir les billes est beaucoup plus grande que l'échelle de l'atome, et nous avons donc désiré diminuer cette échelle pour nous en rapprocher.

Cela nous a ainsi amenés à une seconde modélisation, à une échelle dix fois plus petite et utilisant le phénomène de diffraction.

Le rideau : une modélisation à l'échelle 10^5

Cette expérience consiste à envoyer un faisceau laser sur un voileage de rideau. Le réseau de fils du voileage est une modélisation de l'organisation interne de la matière. L'espacement entre les différents fils qui le composent a le même ordre de grandeur que la longueur d'onde du faisceau. Lorsque la lumière rencontre le réseau de fils, elle forme une figure en croix.

Le phénomène de diffraction est ainsi mis en évidence, et cette expérience permet d'obtenir une image de diffraction en deux dimensions, comme celle ci-contre, qui témoigne de l'organisation du voileage.



On compare la taille de la tache principale de diffraction du voileage avec la taille de la tache principale de la figure de diffraction de deux fils de 0,1 mm étalonnés au préalable (photos ci-contre), et on trouve que ces deux mesures sont presque identiques, donc que la taille des fils du voileage doit être à peu 0,1 mm.

La figure de diffraction permet donc de connaître la taille des fils qui composent le voileage. On retrouve ainsi par calcul (grâce à la formule que le voileage utilisé pour l'expérience mesure une taille d'environ 105 μm (à plus ou moins 4%), c'est-à-dire 0,105 mm.

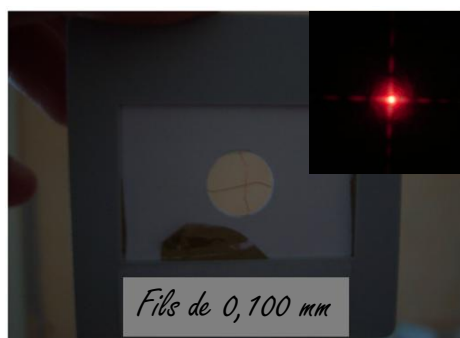
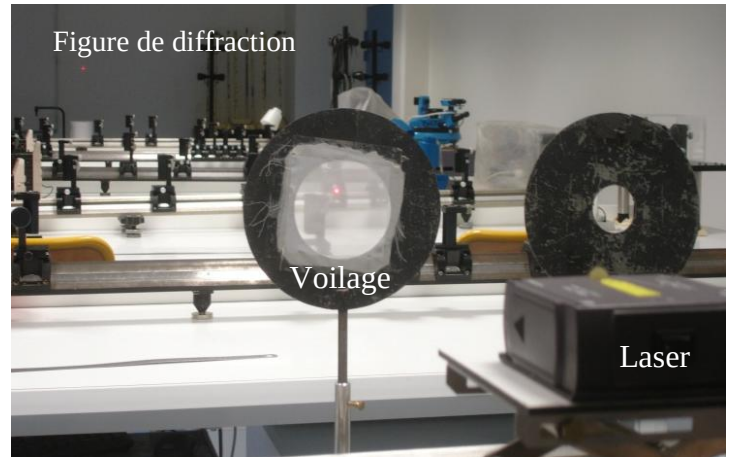


Figure de diffraction



Les fils du voileage ont été mesurés grâce à un microscope optique et on retrouve une taille d'environ $0,102 \pm 0,01$ mm, ce qui vient confirmer nos résultats.



Ce phénomène de diffraction permet l'analyse de matériaux, mais à plus petite échelle. Nous avons eu envie de comprendre comment, dans des accélérateurs de particules (tels que les synchrotrons) qui analysent la matière à l'échelle de l'atome, la diffraction des rayons X permettait de retrouver la structure de l'échantillon analysé.

L'expérience du cristal tournant

La diffraction des rayons X est un phénomène d'interaction entre la lumière (les rayons X), et la matière ordonnée, cristallisée (comme les minéraux). On a besoin de rayons X car l'ordre de grandeur de leur longueur d'onde correspond à la distance interatomique du matériau. Les rayons X envoyés sur l'échantillon sont renvoyés par les atomes, et ce sont ces rayons renvoyés qu'on peut analyser pour en déduire la composition de l'échantillon, l'organisation des atomes entre eux.

Nous souhaitons réaliser une modélisation à plus grande échelle de ce phénomène, en utilisant des ondes centimétriques qui traversent un cristal qui tourne sur lui-même.

La distance entre les mailles du cristal doit être du même ordre de grandeur que la longueur d'onde du faisceau qui le traverse, soit, pour cette expérience, de l'ordre du centimètre.

Nous avons besoin de lentilles en paraffine qui permettent la création d'un faisceau parallèle d'ondes centimétriques qui vient traverser le cristal, ainsi que son exploitation par un récepteur (cf. schéma).



Nous avons donc réalisé deux cristaux (photos ci-dessus), l'un en métal (tiges d'aluminium) et l'autre en verre (tubes dans lesquels nous avons disposé à intervalles réguliers des billes en plomb). Ces cristaux modélisent la matière à analyser, et c'est leur structure que l'on souhaite retrouver.

Nous avons également réalisé une lentille en paraffine. Nous avons chauffé de la paraffine pour qu'elle soit liquide et l'avons refroidi dans un récipient tournant, ce qui nous a permis de faire un moule et de couler la lentille à l'intérieur.

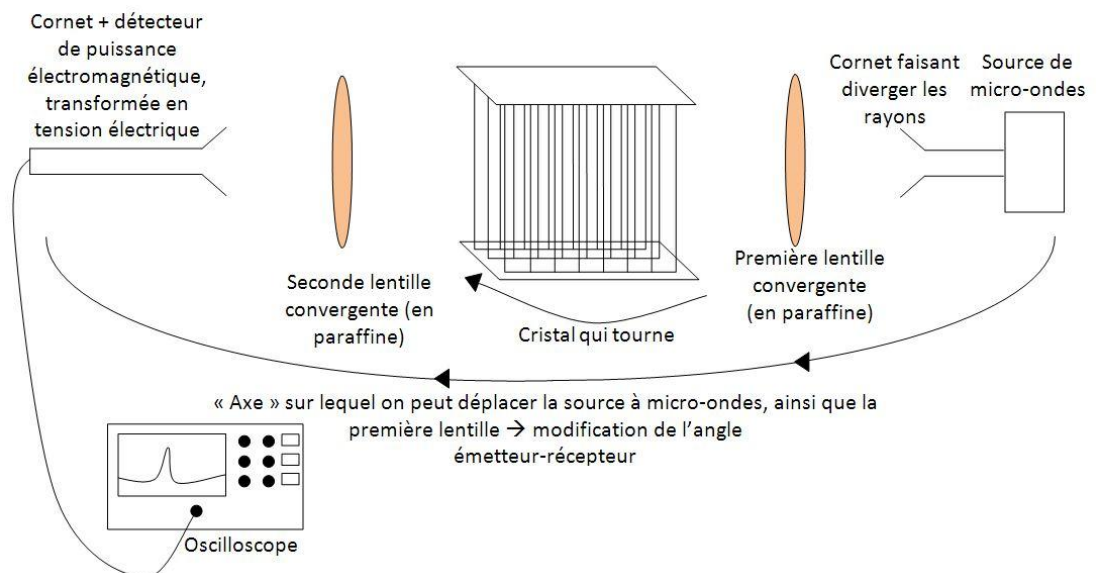


entre l'émetteur et le récepteur des ondes.

On pourra donc retrouver pour quels angles certaines familles cristallines diffractent, et calculer la distance entre les tiges grâce à la loi de Bragg ($n\lambda = 2d\sin\theta$, avec n l'indice de réfraction, λ la longueur d'onde, d la distance entre les tiges et θ l'angle entre le récepteur et l'émetteur). On retrouvera ainsi la structure du cristal. Il s'agit du même phénomène qui permet l'analyse d'un échantillon à l'échelle de l'atome.

Schéma de l'expérience du cristal tournant

Le cristal est donc organisé en différents plans. Le faisceau d'ondes centimétriques va être « diffracté » s'il rencontre une famille du plan (de l'organisation du cristal) selon un certain angle. On observa alors sur le graphique de l'oscilloscope un pic (qui indique que les ondes ont diffracté pour un certain angle). On variera l'angle



Conclusion

Nos expériences nous ont permis de modéliser l'analyse de la structure d'un matériau à des échelles plus grandes que celle de l'atome. Cependant plus l'échelle est petite, plus on ressent la nécessité d'analyser le matériau avec une longueur d'onde dont l'ordre de grandeur est petit. Les grands instruments comme les synchrotrons utilisent cette propriété pour une étude à l'échelle de l'atome. Nous allons continuer à mener des expériences pour voir la matière à des échelles de plus en plus petites jusqu'à - pourquoi pas ? - l'échelle de l'atome...

