

Physique de l'état solide

PHY-3003

DÉPARTEMENT DE PHYSIQUE, DE GÉNIE PHYSIQUE ET D'OPTIQUE
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE GÉNIE, UNIVERSITÉ LAVAL

Hiver 2024

Responsable : C. Allen¹

DESIGN DE L'ANALYSE DE MICROGRAPHIES ÉLECTRONIQUES

DÉBUT : 26 FÉVRIER 2025

FIN : 12 MARS 2025

Contexte

Lors du dernier congrès de la société MRS (*Materials Research Society*), vous avez enfin eu le temps de discuter en personne avec vos collègues chimistes, qui sont en charge de la synthèse de nanocristaux I-III-VI₂ dans le cadre d'une de vos collaborations internationales. Ils ont récemment reçu les premières images de microscopie électronique en transmission à haute résolution (*High-Resolution Transmission Electron Microscopy*, HRTEM) de leur cristaux nanométriques, qu'ils avaient envoyés au [Centre canadien de microscopie électronique](#) (CCEM).

Vos collaborateurs font donc appel à vos services de consultation en tant qu'expert.e du Réseau québécois de microscopie électronique des matériaux (RQMEM). Vous avez ainsi reçu une image caractérisant leur premier échantillon afin d'en extraire un maximum d'informations sur la structure cristalline. Vous devez donc traiter ces données préliminaires et concevoir un protocole pour l'équipe technique participant à votre projet, ce qui leur permettra de reproduire l'analyse pour les échantillons subséquents. À terme, vos collègues souhaitent aussi acquérir leur propre microscope HRTEM et pour ce faire, vous demandent de leur proposer un design préliminaire.

Première partie - Conception

Dans cette première partie, vous devez concevoir sommairement un microscope électronique à transmission (TEM). Selon la similarité des formalismes du principe d'Hamilton et celui de Fermat, **sachez qu'un faisceau d'électrons se comporte exactement comme un faisceau lumineux, donc que les principes d'optique géométrique s'appliquent tels quels.** Ce domaine de conception est d'ailleurs appelé optique électronique. Vos collègues vous demandent seulement d'identifier les informations suivantes dans votre design préliminaire :

1. Un schéma de principe avec tracé de rayons, en considérant les lentilles comme les lentilles minces usuelles en optique. **Ne vous souciez pas des longueurs focales.** Vos collègues ne s'intéressent qu'au fonctionnement général de votre design.

1. Auteurs : Charles Fortier, Tristan Chabot et Claudine Allen

2. Tous les éléments de base d'un microscope électronique en transmission, soit :
 - source d'électrons,
 - écran,
 - objectif,
 - échantillon cristallin,
 - lentille condensatrice,
 - lentille de projection,
 - ouverture (*aperture*) de la lentille condensatrice (de collimation),
 - ouverture de l'objectif.

Deuxième partie - Analyse de micrographies

Dans l'attente de l'achat de ce nouveau microscope, vous vous lancez dans le traitement d'images de l'échantillon reçu de vos collègues, ces images montrant un patron de diffraction électronique pour chaque nanocristal. Cette micrographie, soit l'image HRTEM en contraste de phase², reflète la position des atomes dans le cristal de taille nanométrique dont la structure est inconnue. Le chercheur principal (*Principal Investigator*, PI) menant votre collaboration vous demande plus spécifiquement d'évaluer les distances d_{hkl} (*d-spacings*) entre plans réticulaires de différents nanocristaux.

Les dimensions en pixels [px] de l'image en question sont 1024px×1024px avec une résolution de 42.468 picomètres par pixel. Vous pouvez utiliser tout langage de programmation et/ou logiciel en accès libre ou payant, à votre discrétion³. Les micrographies des nanocristaux à analyser se retrouvent dans l'archive .zip de **Fichiers à consulter** pour cette évaluation sommative dans la section **Évaluations et résultats** sur le site Web du cours. **Après y avoir formé votre équipe de quatre personnes pour obtenir un numéro automatique du système monPortail, vous devez analyser 3 images de micrographie en commençant par le fichier correspondant à votre numéro et en poursuivant avec les deux fichiers de numéros subséquents.** Par exemple, l'équipe 4 analysera les micrographies 4, 5 et 6. N'oubliez cependant pas de rajouter vos coéquipiers.ères à la remise sur Gradescope⁴.

Livrable à remettre : Rapport de consultation technique et concept préliminaire de microscope

En plus du schéma décrivant le design sommaire de leur futur microscope, vos collaborateurs chimistes souhaitent recevoir un protocole décrivant le procédé d'analyse d'images afin qu'ils puissent reproduire vos résultats. En effet, les techniciens qui répéteront les mesures pour tous les nanocristaux ont des connaissances de base en programmation informatique et traitement de données,

2. Pour plus d'information, consulter le livre numérique par D.B. Williams & C. B. Carter, *Transmission electron microscopy : a textbook for materials science*.

3. Vous pouvez vous référer au complément précisant quelques notions d'analyse numérique d'image par transformée de Fourier qui comprend des suggestions de logiciel en annexe.

4. Cette redondance de création d'équipes vient de l'absence d'intégration entre Gradescope et monPortail, j'en suis désolée. N'hésitez pas à joindre votre voix à la mienne en écrivant à aide@fsg.ulaval.ca pour solliciter les fonctionnalités d'interopérabilité cruellement manquantes aux sites de cours monPortail!

mais un minimum d'expérience en cristallographie. Pour leur faciliter la vie à l'avenir, ils aimeraient avoir accès à des images identifiant les différentes structures de la micrographie et les mesures à y prendre. Une description sommaire des structures cristallines sera alors nécessaire, pour finalement en arriver à mesurer et calculer les distances d_{hkl} . Vous devrez donc leur fournir des exemples de ces calculs, ainsi que ceux déterminant **l'incertitude sur la mesure**.

Concrètement, en plus du schéma avec description du microscope électronique, le protocole à remettre via Gradescope doit **être sous forme de liste et ne pas excéder une page**. Les images doivent être placées en annexe en y référant dans le protocole. Les structures sur celles-ci doivent être identifiées et décrites dans des légendes.

N'oubliez pas d'explicitement votre démarche et/ou de citer vos références.

La collaboration est encouragée et vous pouvez remettre un solutionnaire pour un maximum de quatre (4) personnes.
