

Série N° 4 — Semaine du 29 septembre 2025

Structure des matériaux

1. Vrai ou faux ?

	Vrai	Faux
a. Mis à part quelques exemples de matériaux refroidis très rapidement qui ont la structure interne d'un liquide figé, les métaux à l'état solide sont en général formés d'atomes en arrangement régulier (ordre à longue distance).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
b. Les 14 réseaux de Bravais permettent de décrire toutes les structures cristallines connues à ce jour.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
c. Dans une structure cristalline cubique, toutes les droites appartenant à un plan (hkl) sont orthogonales à la direction [hkl].	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
d. Dans une structure cubique, le plan (110) est parallèle au plan (010).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
e. Si je prends une canette de soda de 300cc et que je remplace le liquide par de l'or solide, la masse de cette canette, au lieu d'être environ 300g avec le liquide, sera de l'ordre de 5.8kg.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
f. Pour caractériser la structure cristallographique d'un matériau, il faut utiliser des rayons X de longueur d'onde comparable à la distance caractéristique entre les atomes de ce matériau, soit de l'ordre de 0.1 nm (ou $1 \text{ \AA} = 10^{-10}\text{m}$).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
g. Une structure monocristalline (tout l'échantillon est formé d'un seul cristal) donnera un schéma de diffraction sous la forme de points distincts.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
h. Si un faisceau monochromatique de rayons X est incident sur plusieurs couches d'atomes espacées régulièrement d'une longueur d, l'angle de diffraction augmente lorsque d augmente	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

2. Motifs et les réseaux en 2 D

Le cormoran impérial est un oiseau de mer qui habite les régions australes, de la Patagonie à la péninsule Antarctique. Il vit en colonies de plusieurs milliers d'oiseaux qui sont parfois tellement denses qu'elles forment une structure qui peut s'assimiler à un réseau cristallin.

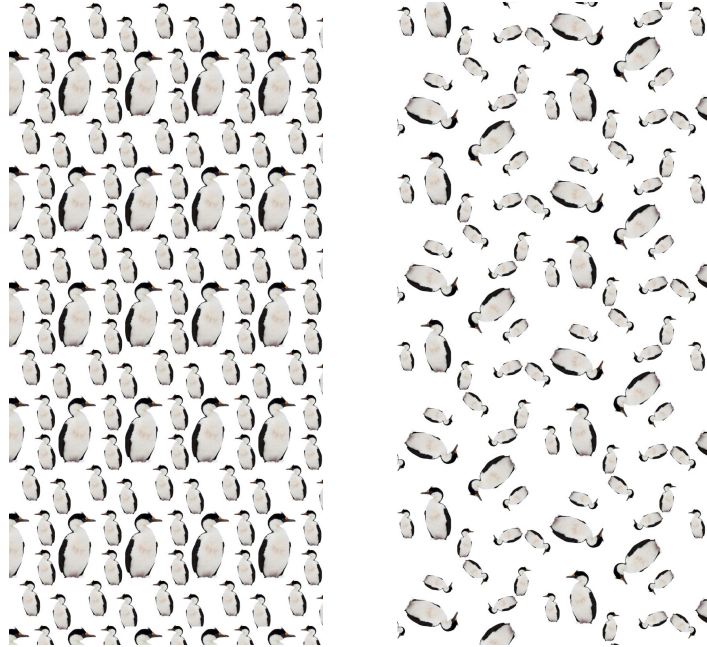


Colonie de la Isla Chata, près de Puerto Deseado en Patagonie.

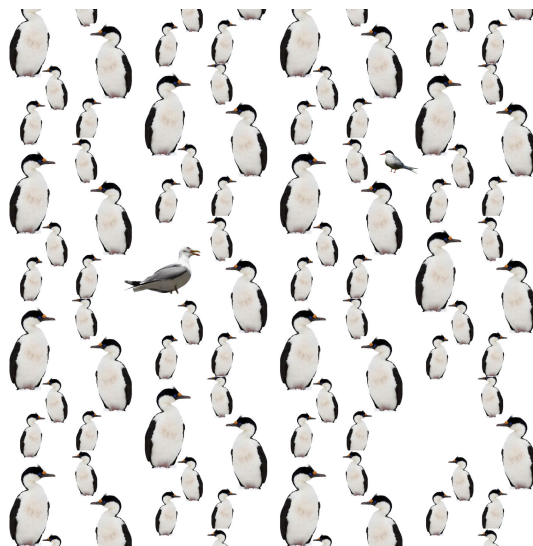
©<http://www.patagonia-incognita.org>

- a. Dans les colonies (réseaux) de cormorans ci-dessous, trouvez le motif et entourez le, et dessinez la maille élémentaire (les trois premières sont assez faciles, la dernière image est facultative pour les mordus...) :



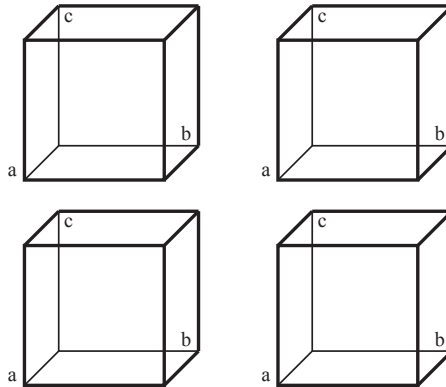


- b. Trouver et identifier trois défauts présents dans la colonie (réseau) de cormorans ci-dessous. Comment pourrait-on appeler ce type de défauts (ca sera dans le cours 4.2!) ?

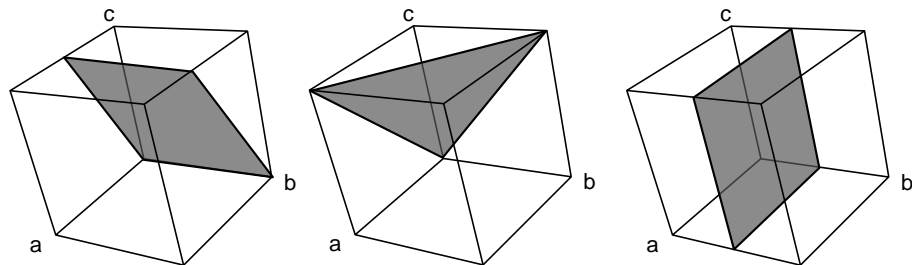


3. Indices de Miller

- a. Dessinez les directions $[101]$ et $[110]$ ainsi que les plans (101) et (110) dans les cubes ci-dessous.

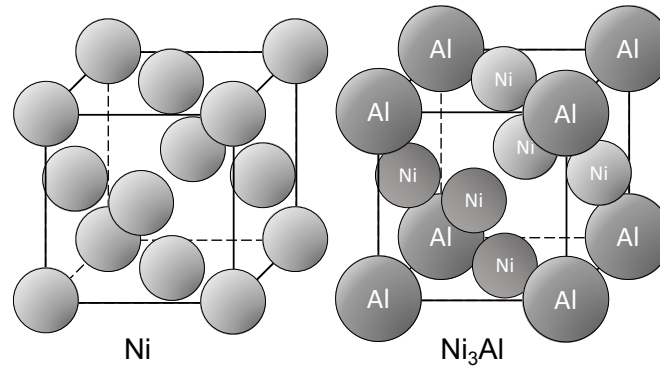


- b. On considère les plans marqués en gris dans les mailles cubiques simples données ci-dessous. Donnez les indices de Miller (hkl) correspondants pour chacun de ces plans.



4. Alliages de nickel pour les aubes de turbines

Les aubes de turbines des étages les plus chauds d'un moteur d'avion ou d'une turbine à gaz sont faits à partir d'un alliage à base de nickel et de beaucoup d'autres éléments (Al, Ti, W, Re, etc). Nous simplifions le problème en considérant qu'il s'agit d'un alliage fait de Ni et Al. Par un traitement thermique adéquat, une deuxième phase se forme à l'intérieur du nickel sous forme de très petits précipités (typiquement quelques centaines de nm). Cette phase correspond à une structure ordonnée Ni_3Al . Les deux structures cristallographiques sont représentées ci-dessous.



On donne aussi la masse molaire des atomes de Al et Ni, respectivement de 27 et 58.8 g/mole. On demande de répondre aux questions suivantes, qui pour certaines demandent un peu de réflexion (en préparation du cours 4.2 de jeudi) :

- Quels sont le réseau et le motif pour le Ni et pour le Ni_3Al ?
- Combien d'atomes en propre sont contenus dans la maille de base du Ni et Ni_3Al ? Pour cela, il vous faudra compter les atomes présents sur le dessin, mais considérer que certains sont partagés avec d'autres mailles, donc ne comptent que pour une partie dans le cube dessiné ici. Il ne faut donc compter que les parties d'atome qui sont dans le cube dessiné.
- Sachant que les paramètres de maille (c'est à dire la longueur du côté du cube) du nickel et de Ni_3Al sont presque les mêmes ($a = 3.52 \text{ \AA}$), calculez la masse volumique de chacune de ces phases. Pour cela, sachez que la masse volumique peut être calculée en comptant la masse des atomes dans le cube élémentaire, divisée par le volume du cube.
- Question en plus facultative (car on verra cela en cours 4.2) : En considérant que le cristal de Ni est un empilement compact de sphères dures, le long de quelles directions cristallographiques vont-elles se toucher? Quel sera alors leur rayon par rapport au paramètre de maille? Pour cela il faut considérer que les sphères dessinées ici sont trop petites (pour mieux voir où elles sont situées) et considérer qu'elles peuvent être grossies toutes de manière identique jusqu'à ce qu'elles se touchent sur une direction donnée (qui est la direction dense). Faites des dessins pour faire la construction géométrique.

5. **Or**

A température ambiante, l'or a une structure cristalline cubique à faces centrées. Vous avez lu quelque part que son paramètre de maille est de 408 pm. Vous proposez de faire des expériences de diffraction pour vérifier la valeur du paramètre de maille.

- a. On dispose d'une source de rayon X de longueur d'onde $\lambda = 1.5418 \text{ \AA}$. Calculer l'angle attendu pour la réflexion par les plans (001) et (200), en considérant que seulement le premier ordre ($n=1$) va diffracter.
- b. Après l'expérience, au lieu des points de diffraction des deux familles de plans, vous trouvez des cercles sur l'écran de projection. Pourquoi ?
- c. En retrouvant les valeurs des angles sur l'écran de projection, vous trouvez que l'angle pour la famille de plan (001) est de 11.65° . Quelle est alors la valeur plus précise du paramètre de maille, selon vos observations ?

6. Exercices facultatifs avec le notebook mathematica cristallographie

Utilisez le notebook Mathématique donné sur Moodle pour voir les structures cristallines et les faire tourner pour voir les orientations, et entraînez vous pour indexer les plans et les directions, en essayant d'abord de trouver vous-même (challengez vous à plusieurs !) et en vérifiant sur le notebook vos réponses. Si vous n'arrivez pas à l'installer, vous pouvez aussi voir la vidéo explicative, et vous entraîner sur des cubes dessinés.