

LC17 : Solides cristallins

Prérequis :

-
-
-
-

Niveau : CPGE

Bibliographie :

- | | |
|--|-----|
| ☞ Cours de cristallographie | [1] |
| ☞ <i>HPrépa, PC</i> ; A. Durupthy | [2] |
| ☞ <i>Tout-en-un Chimie Dunod, PCSI</i> ; B. Fosset, J-B, Baudin, F. Lahitète | [3] |
| ☞ Cours d'Etienne Thibierge | [4] |
| ☞ <i>Animation structures cristallines 3D</i> | [5] |

Rapports de jury :

2017 : *Extrait rapports*

Table des matières

1 Cristaux métalliques	2
1.1 Structure cristalline	2
1.2 Propriétés macroscopiques des métaux	5
1.3 Les alliages	5
2 Cristaux ioniques	7
2.1 Structure cristalline	7
2.2 Propriétés macroscopiques des cristaux ioniques	10
2.3 Confirmation expérimentale	10
3 Idées de manipulations :	12
3.1 Dosage du cuivre dans une pièce de monnaie	12
3.2 Paramètre de maille de NaCl	12
4 Remarques et questions	13

Introduction

La plupart de la matière qui nous entoure est solide mais ces solides n'ont pas tous les mêmes caractéristiques.

On peut distinguer 2 catégories : les solides amorphes (pas d'ordre) comme le verre ou les solides cristallins (empilement régulier d'atomes) comme le sel.

Diapo : Triangle de Ketelaar

Parmi les solides cristallins que nous allons étudier dans cette leçon on en distingue différents types que l'on peut classer sur un triangle comme le triangle de Ketelaar.

Ceci est un outil de prédition qui va nous permettre à partir de l'électronégativité des éléments de prévoir à type de cristal, on va avoir affaire.

Toutefois ce qui va principalement nous permettre de classer les cristaux, ce sont leurs propriétés macroscopiques, en effet on va voir dans cette leçon que la structure détermine les propriétés macroscopiques.

On va donc appliquer au cours de cette leçon les notions déjà connues afin d'étudier plusieurs modèles de cristaux qui sont : ionique, métallique, covalent.

On va notamment se concentrer sur les solides ioniques et métalliques.

Problématique

Proposition de plan :

1 Cristaux métalliques

Les cristaux métalliques concerne les éléments du tableau périodique qui possèdent une faible électronégativité (cf triangle de Ketelaar). C'est le cas de l'argent, du plomb, du cuivre, du fer... (*Dans le [1], il y a un tableau périodique avec les métaux.*)

Cela a pour conséquence le fait que ces atomes peuvent mettre en commun un ou deux de leurs électrons (de valence).

Transition : C'est quelque chose qu'il va falloir avoir en tête pour décrire les structures cristallines des métaux.

1.1 Structure cristalline

En effet, on va donc considérer que le réseau cristallin est formé par les cations métalliques qui interagissent avec le nuage d'électrons délocalisés.

☆ On définit alors une **liaison métallique** qui est une liaison **covalente** (= par partage d'électrons) **délocalisée** (le partage a lieu entre tous les atomes). Les électrons délocalisés sont appelés **électrons de conduction**.

Ils se déplacent librement et "soudent" le réseau d'atomes. (modèle de Durde)

☆ une **liaison métallique** est **forte** : l'énergie de liaison est de l'ordre de la centaine de kJ/mol.

Pour décrire la structure cristalline (arrangement spatial des cations dans un cristal), on va utiliser le modèle du cristal parfait et le modèle des sphères dures.

(Rappels :) Une entité chimique est modélisée par une sphère dure, impénétrable, indéformable, de rayon R appelé **rayon cristallin** de l'espèce chimique. Le modèle du cristal parfait consiste

à supposer l'empilement infini, parfaitement ordonné et périodique. (*cf. [4]*)

☆ Les cristaux métalliques cristallisent principalement selon trois modèles structuraux : le cubique à faces centrées (*CFC*), l'hexagonal compact (*HC*) (qui sont deux structures compactes d'empilements de sphères atomiques rigides) et la structure (pseudo-compacte) cubique centrée (*CC*).

Diapo : Structures de cristallisation

On rappelle les caractéristiques pour la CFC sur diapo.

Diapo : Résultats de la CFC

On rappelle que : La maille CFC est un cube avec des atomes placés aux quatre sommets du cube et au centre de chaque face. Son seul paramètre de maille est le côté a du cube.

On rappelle ensuite au fur et à mesure les définitions :

- On appelle **population** d'une maille le nombre de motifs lui appartenant en propre.
- On appelle **coordinence** ou **indice de coordination** d'un motif le nombre de plus proches voisins qu'il possède au sein du cristal. Si tous les motifs ont la même coordinence, on l'appelle alors **coordinence du réseau**.
- La **condition de contact** vient du fait que l'on considère un modèle de sphères dures, qui ne peuvent donc pas s'interpénétrer.
- On appelle **compacité** d'une structure cristalline la proportion du volume réellement occupé par de la matière, (voir formule dans le **[4]**).

On peut ensuite faire la même chose pour une autre structure au programme la CC.

☆ Prenons l'exemple du Lithium qui cristallise (à pression atmosphérique) selon la structure Cubique Centrée.

On dessine au tableau la structure car elle va nous être nécessaire pour déterminer les différents paramètres.

☆ La population vaut 2.

☆ La coordinence (nombre de plus proches voisins) vaut 8 (facile à voir si on regarde l'atome au centre de la structure).

☆ le contact a lieu au niveau de la grande diagonale du cube, ce qui implique : $a\sqrt{3} = 4R$.

☆ On cherche ensuite à calculer la compacité :

Compacté : $\frac{8 \times \frac{4}{3} \pi R^3}{a^3}$ où $\sqrt[3]{3} = 4R$.

$$\rho = \frac{8 \times \frac{4}{3} \pi \times 3^{1/2}}{a^3} \Rightarrow R^3 = \frac{a^3 \cdot 3^{3/2}}{4^3}$$

$$= \frac{2 \times \pi 3^{1/2}}{4^2} = \frac{3^{1/2} \pi}{8} = 0,68 \text{ de man compact!}$$

FIGURE 1 – Calcul de la compacté pour une structure Cubique Centrée

On constate que contrairement à la structure CFC, la CC n'est pas une structure compacte.

☆ Enfin on peut calculer la masse volumique du cristal :

Calcul de la masse volumique : $\rho = \frac{\text{masse d'une maille}}{\text{volume de la maille}}$

$$\rho = \frac{N m_m \text{ maille}}{a^3} = \frac{N M}{a^3}$$

$$= \frac{2 \times 7 \times 10^{-3}}{6,02 \cdot 10^{23} \times (349 \times 10^{-10})^3}$$

$$[\rho = 547 \text{ kg.m}^{-3}]$$

ici $N = 2$ (population)
 $M = 7 \text{ g.mol}^{-1}$ (masse de lithium)
 $a = 349 \text{ pm}$ (cf HPhysical p 277) à P_{atm}

FIGURE 2 – Calcul de la masse volumique du Lithium pour une structure Cubique Centrée

Enfin, on a mentionné la structure HC (qui n'est pas au programme ?).

Diapo : [Calculs pour la structure HC](#)

A compléter, et regarder si on le met ou pas. Je pense que ça dépendra du temps que l'on a pendant la leçon.

Maintenant qu'on vient de présenter les différentes structures, on peut noter que la structure selon laquelle peut cristalliser un élément dépend entre autre de sa configuration électronique. (cf. [2] page 272).

☆ Mais on peut constater aussi qu'une même espèce chimique peut parfois cristalliser sous différentes formes cristallines, appelées variétés **allotropiques**, en fonction de la température et de la pression.

Transition : La structure cristalline permet d'expliquer certaines propriétés bien connues des métaux. Essayons donc maintenant de faire le lien entre les propriétés macroscopiques et microscopiques (que nous venons de détailler pour les cristaux métalliques).

1.2 Propriétés macroscopiques des métaux

(Je résume ici tout dans un tableau, ces informations sont prises principalement dans le [1] [2] [4] et dans le CR de Chloé. Pour la présentation, on peut commencer par énoncer les grandes propriétés macroscopiques des métaux en montrant des images de métaux (c'est important ici car les propriétés macro se basent sur ce qu'on voit). Puis on complète en mettant en face (donc en faisant comme un tableau) les propriétés micro associées.

Diapo : Photo de métaux

Propriétés microscopiques	Propriétés macroscopiques
Les liaisons internes au cristal (liaison métallique) sont fortes.	Température de fusion élevée
Les électrons de conduction sont très mobiles.	Bonne conductivité électrique (10^7 S/m) et thermique
Lorsqu'on envoie de la lumière sur les métaux, il se produit des transitions électroniques dans le visible.	Reflet métallique caractéristique
Les électrons de conduction peuvent facilement être arrachés au métal	Propriétés de réducteur
Comme la liaison métallique entre les atomes est isotrope (même intensité dans toutes les directions), les cations peuvent relativement facilement glisser les uns par rapport aux autres. De plus ils peuvent emmagasiner l'énergie apportée par les contraintes mécaniques sous forme d'énergie électronique.	Ductilité et malléabilité

FIGURE 3 – Tableau récapitulatif

Transition : il est possible d'améliorer les propriétés (propriétés mécaniques ou résistance à la corrosion) des solides métalliques composés de corps purs en les mélangeant avec d'autres éléments, on forme ainsi des alliages .

Trouver des exemples

(Pour des exemples, regarder le [3] page 684) et page 16 du [4]

1.3 Les alliages

- ☆ Des atomes étrangers (métalliques ou non, appelés hétéroéléments) peuvent venir (selon leur taille), pénétrer dans le réseau d'une structure métallique de base. On parle alors d'**alliages**.
- ☆ Il existe différents types d'alliages, comme les alliages par insertion et par substitution.

Commençons par développer les alliages par substitution.

- ☆ **Alliage de substitution** : un atome se substitue à un autre en certains noeuds du réseau.

Il existe des contraintes particulières pour que cet alliage puissent exister : ☆

- Contrainte sur l'élément de substitution : rayon métallique proche de celui des atomes du réseau hôte.
- Contrainte sur la teneur en hétéroélément : aucune, on peut atteindre des teneurs en hétéroélément très élevées.

- ☆ *Exemple* : Le laiton est alliage dont l'élément principal est le cuivre (>60%) et l'élément ajouté est le zinc. Il est plus dur et plus facile à usiner que le cuivre. Il est utilisé en horlogerie,

serrurerie, robinetterie, lutherie.

(cf [4] page 16.)

Diapo : Représentation du laiton (diapo 10 Chloé)

On va tenter maintenant de doser la teneur en cuivre dans une pièce de laiton.

Diapo : Explication de la manipulation

Manip : Dosage du laiton. En direct, on se contente de préparer la fiole avec notre solution obtenue et de mesurer son absorbance ?

On étudie à présent les alliages d'insertion.

☆ **Alliage d'insertion** : des atomes s'insèrent dans les sites cristallographiques du réseau métallique.

On rappelle ce que sont les sites octaédriques et tétraédriques d'une structure cristalline.

Diapo : Définition des sites O et T.

Il existe des contraintes particulières pour que cet alliage puissent exister : ☆

- Contrainte sur l'hétéroélément : il doit être de petite taille (H, C, N, O) pour ne pas trop modifier la structure cristalline lors de l'insertion.
- Contrainte sur la teneur en hétéroélément : généralement faible.

☆ *Exemple* : L'acier est alliage d'insertion dont l'élément principal est le fer et l'élément ajouté est le carbone. Il est plus dur que le fer. Il est très répandu, par exemple en construction ou dans l'industrie automobile.

(cf [4] page 16.)

D'après ce que l'on vient de voir, il existe donc des rayons maximaux pour les éléments que l'on peut insérer dans le réseau. On va les calculer pour le cuivre.

☆ Calculs du rayon maximal des atomes qui peuvent être insérés dans le réseau du cuivre (CFC)

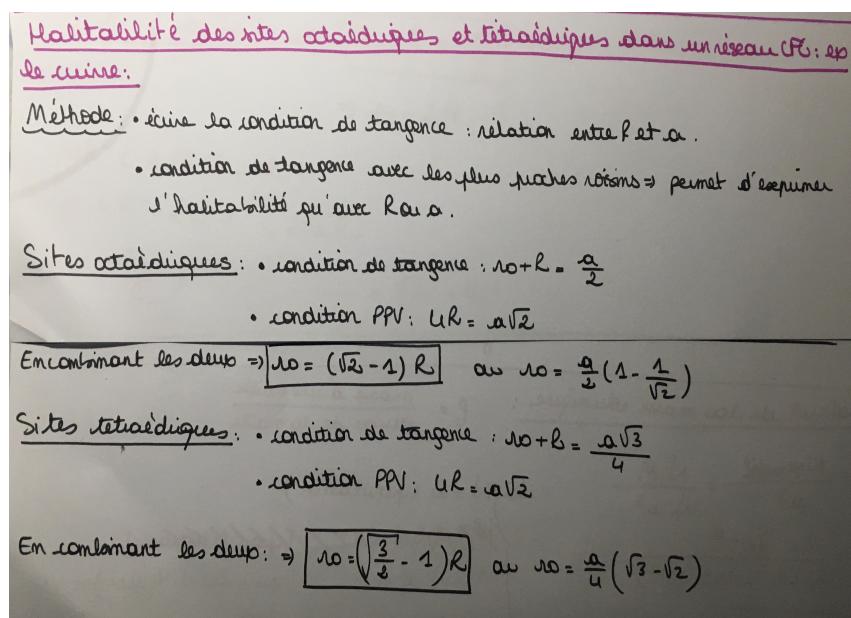


FIGURE 4 – Calcul de l'habitabilité des sites octaédriques et tétraédriques pour une structure CFC

Ajouter des ODG ?. Puis parler du fait que les propriétés dépendent de la proportion d'éléments insérés ? (différence acier et fonte est leur pourcentage de carbone)

Transition : Parfois ce ne sont pas pour des alliages qu'il y a des insertions d'atomes. Mais pour faire des cristaux ioniques On revient sur le triangle de Ketelaar. On peut également se trouver dans le cas où les éléments ont des électronégativités très différentes ce qui donne des cristaux ioniques.

Diapo : Triangle de Ketelaar

2 Cristaux ioniques

Les cristaux ioniques concernent les éléments du tableau périodique qui possèdent une grande différence d'électronégativité (cf triangle de Ketelaar).

2.1 Structure cristalline

Il est parfois plus favorable pour un atome de céder complètement un électron à son partenaire pour former un cation et un anion, ces deux ions restant ensuite liés l'un à l'autre grâce à la force coulombienne. ☆ On parle alors de **liaison ionique**.

☆ Une liaison ionique est une liaison forte et isotrope. L'énergie de liaison est de l'ordre de quelques centaines de kJ/mol.

Un cristal ionique est donc constitué d'anions et de cations liés entre eux par interaction coulombienne, dans des proportions telles que le ☆ cristal soit **globalement neutre** : la stoechiométrie du cristal est contrainte par l'électroneutralité.

On va de nouveau considérer le modèle du cristal parfait et de sphères dures (*explications cf le [3] page 690*).

Les anions sont modélisés par des sphères dures de rayon R_- , les cations par des sphères dures de rayon R_+ , avec presque toujours $R_- > R_+$.

☆ Les rayons R_- et R_+ sont appelés **rayons ioniques**.

☆ Un cristal ionique est souvent décrit comme un réseau d'anions où les cations occupent les sites cristallographiques.

Les forces électrostatiques font se rapprocher les ions de signes opposés et se repousser les ions de même signe. Ainsi, on observe que :

☆ Pour qu'une structure cristalline ionique puisse être stable, il faut que le contact entre sphères dures se fasse entre ions de charge opposée et pas entre ions de même charge.

Cela implique alors des conditions de cristallisation (certains solides ioniques ne pourront pas cristalliser selon une certaine structure).

Voyons d'abord différents types de structure selon lesquels les solides ioniques peuvent cristalliser. Pour commencer prenons l'exemple du sel de table NaCl.

☆ *Exemple* : NaCl.

On note que les électronégativités selon l'échelle de Pauling de Na et Cl sont : $\xi(Na) = 0,93$ et $\xi(Cl) = 3,16$. La différence est importante et donc le cristal qu'ils forment est bien ionique.

On considère que : ☆ le cristal est composé d'un réseau d'anions qui cristallisent sous forme de CFC et que les cations occupent les sites octaédriques (milieu des arêtes et centre du cube).

Diapo : Représentation de la maille de NaCl

On peut décrire ce cristal par le **motif** :

☆ 4/4 (car chaque réseau est une structure CFC).

OK avec la stoechiométrie du cristal que l'on connaît bien.

On peut également en déduire la **coordinence** :

☆ $[Na^+ - Cl^-]/[Cl^- - Na^+] = 6/6$ (on donne pour chaque ion le nombre de voisins de signe contraire)

A partir de la structure, on peut maintenant établir la condition de contact :

☆ **Condition de contact** : $R_- + R_+ = \frac{a}{2}$

Mais il existe aussi maintenant une condition de non contact entre les ions de même signe :

☆ **Condition de non-contact** : Elle se fait au niveau d'une face du cube : $a\sqrt{2} > 4R_-$.

☆ En combinant ces deux équations, on obtient la condition suivante :

$$\frac{R_+}{R_-} = \sqrt{2} - 1$$

On peut vérifier que ces conditions sont bien remplies dans le cas du sel :

$R_+ = 95pm$, $R_- = 181pm$, $a = 552pm$.

On vérifie que $R_+ < R_-$ que la condition de contact est vérifiée et que celle de non contact aussi.

Applications numériques pour NaCl :

- * On a bien $R_+ = 95 \text{ pm} < 181 \text{ pm} = R_- \Rightarrow [R_+ < R_-]$
- * condition de contact: $R_+ + R_- = 276 \text{ pm} = \frac{a}{2} \Rightarrow [R_+ + R_- = \frac{a}{2}]$
 (Remarque: si on avait $R_+ + R_-$ légèrement supérieur à $\frac{a}{2}$, cela voudrait du fait que la liaison aurait un caractère vraiment plus marqué.
 cf [4] page 18)
- * condition de non contact: $4R_- = 724 \text{ pm}$
 $a\sqrt{2} = 781 \text{ pm} \Rightarrow [a\sqrt{2} > 4R_-]$

FIGURE 5 – Applications numériques pour NaCl

Enfin on peut en déduire la compacité et la masse volumique de la structure :

★ Compacité :

Calcul de la compacité pour NaCl :

$$\mathcal{C} = \frac{\text{volume de matière}}{\text{volume total}} = \frac{4 \times \frac{4}{3} \pi R_-^3 + 4 \times \frac{4}{3} \pi R_+^3}{a^3} \Rightarrow [\mathcal{C} = 0,667]$$

FIGURE 6 – Calcul de la compacité pour NaCl

★ Masse volumique :

Calcul de la masse volumique de NaCl :

$$\rho = \frac{NM}{\mathcal{C} A \cdot a^3} = \frac{4(M_{\text{Na}} + M_{\text{Cl}})}{a^3} \quad \text{avec } \begin{cases} M_{\text{Na}} = 23 \text{ g.mol}^{-1} \\ M_{\text{Cl}} = 35 \text{ g.mol}^{-1} \end{cases}$$

$$\Rightarrow [\rho = 2,2 \cdot 10^3 \text{ kg.m}^{-3}]$$

FIGURE 7 – Calcul de la masse volumique pour NaCl

Il existe d'autres types de structure :

Diapo : autres types de structures existant.

- La structure de type CsCl est telle que les Cl⁻ forment un réseau cubique, et Cs se trouve au centre du cube.
- La structure de type ZnS est telle que les S²⁻ forment un réseau CFC et les ions Zn²⁺ occupent un site tétraédrique sur deux.

On peut également présenter sur diapo toutes les conditions de contact et non-contact et les propriétés de ces cristaux.

Diapo : Conditions pour tous les types de cristaux

Les conditions de contact et de non contact impliquent donc l'existence d'une structure de cristallisation favorisée en fonction du rapport des rayons ioniques, selon se résume sur une droite :

Diapo : Résumé des conditions de cristallisation

Transition : On vient de voir que la taille des ions impose la structure du cristal, mais cette structure va aussi jouer sur les propriétés macroscopiques des cristaux ioniques.

2.2 Propriétés macroscopiques des cristaux ioniques

On peut procéder de la même manière que pour les solides métalliques

ATTENTION

Je ne sais pas d'où viennent les deux dernières lignes, elles étaient écrites dans le CR de Chloé.

Propriétés microscopiques	Propriétés macroscopiques
Liaisons ioniques fortes	Température de fusion élevée (810°C pour le sel)
Le moindre déplacement de plan fait que deux charges de même signe se retrouvent face à face donc Répulsion électrostatique .	Structure fragile
Charges fixes mais ions en solution très soluble dans un solvant polaire	Isolant électrique à l'état solide mais bon conducteur à l'état liquide ou dissout
Liaisons ioniques fortes	Dureté forte et faible dilatation thermique
Electrons de valence très localisé sur les anions donc très énergétiques, absorbent pas la lumière	Transparence des cristaux

FIGURE 8 – Tableau récapitulatif

(Sources : [1], [4] et [2] page 280)

Transition : Les structures que l'on attribue à chaque cristal sont des modèles, il nous faut des moyens expérimentaux de vérifier ce que l'on avance.

2.3 Confirmation expérimentale

L'objectif de cette partie est de trouver une confirmation expérimentale du modèle que l'on a fait pour décrire le cristal de sel.

On va pour cela chercher à remonter au paramètre de maille du cristal en mesurant sa masse volumique.

On expose maintenant les choix qui ont été fait : [Diapo : Présentation de l'expérience](#)

- On utilise un pycnomètre dont le volume est précisément connu
- On va mettre du sel dans du cyclohexane car le sel n'est presque pas soluble dans le cyclohexane (solvant non dissociant et non dispersant)
- On mesure au préalable la masse volumique du cyclohexane avec le pycnomètre à la température de la salle.

Traitements du résultat obtenu.

Regarder ce qu'on a fait en TP + Penser à calculer les incertitudes.

Conclusion :

On s'est concentré dans cette leçon à décrire les solides métalliques et ioniques d'un point de vue de leur structure cristalline et de l'impact sur leurs propriétés macroscopiques, mais nous avons aussi évoqué, lorsqu'on a regardé le triangle de Ketelaar, les cristaux covalents.

[Diapo : Triangle de Ketelaar](#)

Les cristaux covalents sont formés d'atomes d'électronégativités élevées et proches, comme c'est le cas du diamant par exemple. Comme leur nom l'indique ils sont liés entre eux par des liaisons covalentes fortes ce qui leur confère une résistance forte.

Mais ce qu'il est aussi important de retenir dans cette leçon (au-delà des types de cristaux dont on n'a pas parlé) est le fait que dans toute cette leçon on s'est placé dans le cadre du modèle du cristal parfait. En réalité un cristal présente des défauts (*cf. [1]*).

On pourrait ajouter aussi le fait que les liaisons ne jamais jamais parfaitement ioniques ou métalliques ou covalentes, elles sont un mélange des trois.

	Cristaux métalliques	Cristaux ioniques	Cristaux macrocovalents	Cristaux moléculaires
Exemples	$\text{Fe}_{(s)}$, $\text{Ca}_{(s)}$, $\text{Zn}_{(s)}$	$\text{NaCl}_{(s)}$, $\text{KOH}_{(s)}$	Diamant, $\text{Si}_{(s)}$, $\text{Ge}_{(s)}$	$\text{H}_2\text{O}_{(s)}$, $\text{I}_{2(s)}$, $\text{CO}_{2(s)}$
Température de fusion	Élevée ($\sim 10^3$ °C)	Assez élevée ($\sim 10^2 - 10^3$ °C)	Élevée ($\sim 10^3$ °C)	Faible ($\lesssim 100$ °C)
Propriétés mécaniques	Dur, malléable, ductile	Dur mais cassant	Dur et peu malléable	Fragile
Propriétés électriques	Conducteur	Isolant, mais conducteur une fois fondu	Isolant ou mauvais conducteur	Isolant
Propriétés de solubilisation	Insoluble	Très soluble dans les solvants polaires	Insoluble	Très soluble dans un solvant adéquat

FIGURE 9 – Tableau récapitulatif tiré du [\[4\]](#) page 15.

3 Idées de manipulations :

3.1 Dosage du cuivre dans une pièce de monnaie

Objectif : Doser le cuivre dans une pièce de laiton, par dosage spectrophotométrique.

Produits	Matériel
Soude à 10mol/L	Pièce de laiton
HNO ₃ très concentré	Ampoule de coulée isobare
CuSO ₄ à 0,1 mol/L	Ballon bicol
	Chauffe-ballon et boy
	3 fioles de garde, une de 250mL et 2 de 100mL (avec des tuyaux)
	Pompe
	Spectrophotomètre UV
	Fioles jaugées
	Entonnoir et support

En préparation :

- ✓ On suit principalement le protocole de Louis et les remarques que l'on a écrit en révisions.

En direct :

- ✓ On va faire la mesure au spectro UV-visible pour notre échantillon.

Cela suffit-il ou bien faut-il faire un autre geste technique ?

3.2 Paramètre de maille de NaCl

Objectif : Mesurer la masse volumique du sel pour remonter au paramètre de maille. Regarder le Cr de Chloé

Produits	Matériel
NaCl	Pycnomètre
Cyclohexane	Entonnoirs (solide et liquide)
	Spatule

En préparation :

- ✓ On commence par mesurer la masse volumique du cyclohexane avec le pycnomètre : on pèse le pycnomètre avant de le remplir, puis on le remplit avec du cyclohexane, et on repèse le pycnomètre.
- ✓ Le rapport de la masse de cyclohexane ajouté sur le volume du pycnomètre donne la masse volumique du cyclohexane.
- ✓ On va ensuite chercher la masse volumique du sel.
- ✓ On pèse la masse du pycnomètre vide, m_{pycno}
- ✓ On ajoute du sel (environ 4g pour un pycnomètre de 50mL)
- ✓ Repèse le pycnomètre avec le sel : $m_{pycno+sel}$
- ✓ On ajoute du cyclohexane (on met le bouchon en faisant un peu déborder par le capillaire.)

- ✓ On ressue le pycno
- ✓ On pèse le pycnomètre : $m_{pycno+sel+cyclo}$
- ✓ On fait le traitement pour calculer la masse volumique

Massé volumique de NaCl :

$$\rho_{NaCl} = \frac{m_{NaCl}}{V_{NaCl}}$$

avec $m_{NaCl} = m_{(pycno+sel)} - m_{pycno}$

et $V_{NaCl} = V_{pycno} - V_{cyclo}$

$$= V_{pycno} - \frac{m_{(pycno+sel+cyclo)} - m_{(pycno+sel)}}{\rho_{cyclo}}$$

$$\Rightarrow \boxed{\rho_{NaCl} = \frac{\frac{m_{(pycno+sel)} - m_{pycno}}{V_{pycno} - \frac{m_{(pycno+sel+cyclo)} - m_{(pycno+sel)}}{\rho_{cyclo}}}}{\beta}} = \frac{\alpha}{\beta} = \gamma$$

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \sqrt{\frac{\Delta m_{pycno+sel}^2 + \Delta m_{pycno}^2}{(m_{pycno+sel} - m_{pycno})^2} + \frac{\Delta V_{pycno}^2}{\beta^2} + \frac{\gamma^2}{\beta^2} \left(\frac{\Delta \rho_{cyclo}}{\rho_{cyclo}} \right)^2 + \frac{\Delta m_{(pycno+sel+cyclo)}^2 + \Delta m_{cyclo+sel}^2}{(\rho_{cyclo} + \rho_{pycno+sel} - m_{pycno+sel})^2}}$$

Paramètre de maille :

On sait que : $\rho_{NaCl} = \frac{4(M_{NaCl})}{\sqrt[3]{\rho_{NaCl} \cdot \alpha^3}}$ $\Rightarrow \boxed{\alpha = \left(\frac{4 M_{NaCl}}{\sqrt[3]{\rho_{NaCl}}} \right)^{1/3}}$

$$\Delta \alpha = \alpha \times \frac{1}{3} \frac{\Delta \rho_{NaCl}}{\rho_{NaCl}}$$

FIGURE 10 – Traitement des résultats lors de la mesure au pycnomètre.

En direct :

- ✓ On a déjà rempli le pycnomètre avec le sel et on a déjà fait les premières pesées
- ✓ En direct, on ajoute le cyclohexane
- ✓ Puis on fait la pesée
- ✓ Enfin on fait le traitement

4 Remarques et questions

Remarques :

Questions :

Préparation pour les questions

Propriétés des métaux :

- ❖ Trouver plus de développement sur les propriétés microscopiques (pourquoi elles expliquent bien les propriétés macro?)
- ❖ Comprendre pourquoi cette partie ne parle quasiment que de la liaison métallique et ne dépend pas de la structure cristalline HC, CFC, ou CC.

Electronégativité :

- ❖ Revoir les échelles qui existent
- ❖ Quelle valeur indique que la différence est assez grande pour être un cristal ionique ? (1,5 ? cf [4])

Manip pycno :

- ❖ Solubilité du sel dans le cyclohexane
- ❖ Propriétés des solvants (cf LC15)

Conclusion :

- ❖ Energie des liaisons covalentes
- ❖ Resistance du diamant = électrique ou mécanique ?

Compléments et programme