

Comme précédemment, il est possible de déterminer d_{NaCl} si la masse volumique P_{NaCl} est connue. En effet, au niveau de la maille, P_{NaCl} est égale à la masse de $4 Na^+$ et de $4 Cl^-$ divisée par son volume a^3 soit $8a^3$, d'où la relation¹ :

$$P_{NaCl} = \frac{4 \frac{M_{NaCl}}{N_A}}{8a^3}$$

Il reste donc à déterminer expérimentalement la masse volumique P_{NaCl} , ce qui est l'objet de l'expérience décrite ci-après.

5.3 Réalisation de l'expérience

Matériel et produits : pycnomètre à débordement ; chlorure de sodium en gros cristaux ; cyclohexane ; eau ; entonnoir à poudre ; balance électronique (précise au cg ou mieux) ; thermomètre électronique ; pipette plastique ; spatule, capsule.

Expérience	Commentaires
Tous les liquides doivent avoir séjourné près de la balance suffisamment longtemps pour être à l'équilibre thermique. Mesurer et noter la valeur de la température θ au niveau de la balance. Éviter de graisser le rodage du bouchon.	La précision du volume du pycnomètre impose un travail avec une température constante et connue. C'est la source majeure d'incertitude. Sur un rodage, on met entre 1 et 5 mg de graisse qui se dissoudra partiellement dans le solvant organique utilisé. C'est autant d'erreur.
Détermination de V_{pyc} volume du pycnomètre Peser le pycnomètre vide et sec avec son bouchon-capillaire et noter la masse m_{pyc} . Le remplir à ras bord d'eau distillée en vérifiant qu'aucune bulle ne s'est coïncée, et en enfonçant avec précaution le bouchon-capillaire dans le col rodé. Sécher avec précaution l'eau qui a débordé.	Utiliser toujours le même bouchon-capillaire. La moindre bulle et la masse d'eau sera incorrecte. Le niveau de l'eau est fixé par le débordement : le pycnomètre utilisé est dit à débordement pour cette raison.

1. 4 ions chlorure : 1 ion à chaque sommet ($8 \times 1/8 = 1$) + 1 ion au centre de chaque face ($6 \times 1/2 = 3$), 4 ions sodium : 1 ion au milieu de chaque arête ($12 \times 1/4 = 3$) + 1 ion au centre du cube ($1 \times 1 = 1$).

Expérience	Commentaires
Ne pas tenir le pycnomètre trop longtemps dans les mains. Peser le pycnomètre plein ($m_{pyc+eau}$). Le laisser quelques minutes sur le plateau de la balance en vérifiant que le liquide reste à hauteur du trait de jauge.	Un réchauffement par la chaleur main est une source d'erreur. Cela permet de s'assurer que le pycnomètre est proche de l'équilibre thermique. $V_{pyc} = V_{eau} = \frac{m_{pyc+eau} - m_{pyc}}{\rho_{eau}}$
Détermination de la masse volumique du cyclohexane Vider l'eau du pycnomètre, le sécher si possible à l'acétone, le rincer au cyclohexane puis le remplir comme précédemment de ce liquide. Le cyclohexane va déborder comme l'eau précédemment ; prévoir un papier absorbant pour l'essuyer. Ne pas réchauffer le pycnomètre avec les mains, le tenir plutôt avec deux doigts. Peser le pycnomètre plein ($m_{pyc+cyclo}$).	Le cyclohexane est préféré à de nombreux autres solvants car il ne dissout pas NaCl et n'est pas toxique. Travailler sous hotte est toutefois conseillé. Attention à la ventilation qui ne doit pas perturber les mesures. $\rho_{cyclo} = \frac{m_{pyc+cyclo} - m_{pyc}}{V_{pyc}}$
Détermination de la masse volumique de NaCl Vider le pycnomètre (on peut récupérer le cyclohexane pour s'en resservir). Le sécher. Vérifier sa masse à vide m_{pyc} . Y introduire environ 5 à 10 g de NaCl sec et peser cette masse précisément ($m_{pyc+NaCl}$). Ajouter du cyclohexane sur le sel, jusqu'à la moitié du pycnomètre. Agiter et taper de façon à ne pas coincer d'air dans le sel. Compléter avec le même liquide, bouclier, sécher, ajuster au trait de jauge ; Peser l'ensemble ($m_{pyc+NaCl+cyclo}$).	Le cyclohexane de la première pesée est parfaitement propre et peut donc resservir (économie, diminution des rejets de solvant). Si le pycnomètre n'a pas la masse à vide initiale, c'est qu'il n'est pas sec. Si NaCl était humide, on pèserait de l'eau avec. Si on remplit trop le pycnomètre, on ne peut agiter efficacement le liquide pour chasser l'air.

5.4 Traitement des données pour le cristal de chlorure de sodium NaCl

Toutes les mesures sont effectuées à 25,0 °C. La masse volumique de l'eau à cette température est 0,997047 g.cm⁻³. Un seul pycnomètre a été utilisé.

- Détermination du volume du pycnomètre

Le volume du pycnomètre est déterminé par le calcul suivant :

$$m_{\text{pyc}} = 25,9508 \text{ g}$$

$$m_{\text{pyc+eau}} = 51,7928 \text{ g}$$

$$V_{\text{pyc}} = \frac{m_{\text{eau}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{m_{\text{pyc+eau}} - m_{\text{pyc}}}{\rho_{\text{eau}}} = \frac{51,7928 - 25,9508}{0,997047} = 25,92 \text{ cm}^3$$

- Détermination de la masse volumique du cyclohexane à 25,0 °C

$m_{\text{pyc+cyclo}} = 45,993 \text{ g}$ (en présence de cyclohexane, on ne peut empêcher une légère évaporation du solvant, la précision du dixième de milligramme devient superficielle).

$$\rho_{\text{cyclo}} = \frac{m_{\text{cyclo}}}{V_{\text{pyc}}} = \frac{m_{\text{pyc+cyclo}} - m_{\text{pyc}}}{V_{\text{pyc}}} = \frac{45,993 - 25,9508}{25,92} = 0,7732 \text{ g.cm}^{-3}$$

- Détermination de la masse volumique de NaCl

Cyclo $m_{\text{cyclo}}/\text{g}$	Pyc + NaCl $m_{\text{pyc+NaCl}}/\text{g}$	NaCl seul m_{NaCl}/g	Pyc + Cyclo' + NaCl $m_{\text{pyc+eau+NaCl}}/\text{g}$
20,042	30,7121	4,7613	49,072

Le calcul réalisé pour Cu ou CaF₂ avec l'eau est transposé pour NaCl avec le cyclohexane.

$$\rho_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{V_{\text{NaCl}}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{\rho_{\text{cyclo}} \left(\frac{m_{\text{cyclo}}}{\rho_{\text{cyclo}}} - \left(\frac{m_{\text{pyc+cyclo}}}{\rho_{\text{pyc+cyclo}}} + \frac{m_{\text{NaCl}}}{\rho_{\text{NaCl}}} - m_{\text{pyc+NaCl}} \right) \right)}$$

$$\rho_{\text{NaCl}} = \frac{m_{\text{NaCl}}}{\rho_{\text{cyclo}} \left(\frac{m_{\text{cyclo}}}{\rho_{\text{cyclo}}} - \left(\frac{m_{\text{pyc+cyclo}}}{\rho_{\text{pyc+cyclo}}} + \frac{m_{\text{NaCl}}}{\rho_{\text{NaCl}}} - m_{\text{pyc+NaCl}} \right) \right)}$$

$$\rho_{\text{NaCl}} = 0,7732 \frac{4,7613}{20,042 - (49,072 - 30,7121)} = 2,189 \text{ g.cm}^{-3}$$

(le fournisseur donne 2,1650 g.cm⁻³).

La distance d de Na-Cl est donc

$$d = \left(\frac{M_{\text{NaCl}}}{N_A} \right)^{\frac{1}{3}} = \left(\frac{58,44}{2 \times 2,189} \right)^{\frac{1}{3}} = 281 \text{ pm}$$

Les tables donnent 278 pm.

6 Séquence d'enseignement

Étude des structures microscopiques s'enseigne au lycée ainsi qu'au niveau postbac. Les principaux concepts liés à cette thématique sont regroupés dans la carte mentale de la page suivante. Les chapitres précédents ont fourni des séquences pour l'enseignement des cristaux (métalliques, ioniques). Le travail expérimental ci-dessus peut venir s'insérer soit au niveau lycée (cas de Cu ou de CaF₂) soit au niveau postbac avec les mêmes expériences, voire avec le cas de NaCl. Ce dernier comporte l'utilisation de deux solvants ce qui se révèle problématique pour la compréhension de l'expérience et les calculs correspondants.

Pour ne pas se perdre dans les calculs ci-dessus, il faut avoir une bonne vision de ce qu'est une maille cristalline. De telles expériences constituent donc un approfondissement de l'étude des structures cristallines.