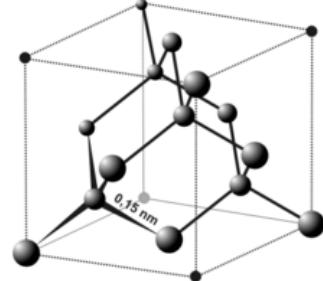


CRISTALLOGRAPHIE



EXERCICES

Pour tous les exercices qui le nécessitent, on rappelle la valeur du nombre d'Avogadro :

$$N_a = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

1

LE MAGNÉSIUM

Le magnésium fut isolé par Davy en 1808 et préparé sous forme solide par Bussy en 1831. Le magnésium est un concurrent de l'aluminium en raison de sa légèreté. Il est présent également dans les composés de Grignard, indispensables en synthèse organique et dans les chlorophylles qui permettent la photosynthèse.

L'élément magnésium

- 1) Donner la configuration électronique de l'atome de magnésium dans son état fondamental. On donne : $Z(\text{Mg}) = 12$.
- 2) Donner la position de l'élément magnésium (numéros de ligne et de colonne) dans la classification périodique.
- 3) Envisager les différentes possibilités de formation d'ions à partir de l'atome de magnésium.

Structure cristalline

Le métal magnésium cristallise dans une structure hexagonale compacte.

La maille élémentaire utilisée pour décrire ce cristal est un **prisme droit à base losange d'angle 60°**.

Les vecteurs de base de la maille sont deux vecteurs (\vec{a}, \vec{b}) de norme égale ($a = b$) et faisant entre eux un angle $\gamma = 60^\circ$. Le troisième vecteur, \vec{c} , est de direction perpendiculaire à \vec{a} et à \vec{b} ($\alpha = \beta = 90^\circ$) et de norme $c > a$.

Le motif est le suivant : un atome Mg à l'origine du repère : $(0,0,0)$; un atome Mg aux coordonnées $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$.

- 4) Dessiner la maille élémentaire en fonction de la description précédente.
- 5) La base du prisme représente un plan d'empilement compact d'atomes (appelé plan A) ; expliquer ce que cela signifie. Pourquoi qualifie-t-on cette maille de maille hexagonale ?
- 6) L'atome situé aux coordonnées $(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{2})$ fait partie d'un autre plan d'empilement compact (appelé plan B). En déduire la distance entre cet atome et l'origine du repère. Exprimer alors, en fonction du paramètre a uniquement, la distance entre deux plans d'empilement compacts A et B.
- 7) Le losange supérieur du prisme est à nouveau un plan d'empilement compact A, puisqu'il est superposable au plan de base. En déduire le rapport $\frac{c}{a}$ dans ce type de maille cristalline.
- 8) Calculer la compacité ou coefficient de remplissage de la structure.
- 9) La densité du magnésium métal par rapport à l'eau est $d_{\text{Mg}} \approx 1,7$. En déduire une valeur approchée du rayon atomique du magnésium. On donne : $M(\text{Mg}) \approx 24 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

2 LE NIOBIUM

Le niobium est un métal brillant gris, ductile qui prend une couleur bleutée lorsqu'il est exposé à l'air à température ambiante pendant une longue période.

Le nom « niobium » dérive de Niobé, la fille de Tantale. Ce choix est dû au fait que le tantale découvert antérieurement s'est avéré par la suite être un mélange avec le niobium.

Le niobium a été découvert en 1801 par Charles Hatchett sous forme d'oxyde Nb_2O_5 . Il l'avait baptisé « columbium ». En 1866, du niobium (relativement impur) a été préparé par Christian Wilhelm Blomstrand puis le niobium pur par Werner von Bolton en 1907.

Les États-Unis ont longtemps utilisé le nom « columbium » (symbole Cb), du district de Columbia où le minéral a été découvert. Bien que « niobium » soit le nom officiel, on trouve encore « columbium » dans diverses publications.

À température ambiante, le niobium cristallise avec une structure de type cubique centrée, de paramètre de maille $a = 330 \text{ pm}$.

La masse molaire du niobium est de : $M(\text{Nb}) = 92,9 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

- 1) Dessiner la maille du cristal de niobium (maille cubique avec des atomes à chaque sommet du cube ainsi qu'au centre du cube)
- 2) Déterminer la population de cette maille.
- 3) Calculer la masse volumique attendue pour le niobium et comparer avec la masse volumique expérimentale : $\rho = 8570 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$.
- 4) Dans un modèle de sphères dures, déterminer le rayon atomique du niobium.
- 5) Définir et calculer la compacité de la structure cubique centrée. La comparer à celle de la structure cubique à faces centrées.

3 FER ET ACIERS

Le fer α

Jusqu'à 910°C , le fer cristallise avec un réseau cubique centré, connu sous le nom de variété α . Le rayon du fer vaut $R_1 = 124 \text{ pm}$.

Dans le fer α , des atomes de carbone peuvent s'insérer aux centres des faces de la maille ou aux milieux des arêtes. La ferrite est un acier correspondant à une solution solide de formule FeC_x , obtenue par occupation partielle de ces positions.

- 1) Montrer qu'il s'agit d'interstices octaédriques non réguliers.
- 2) Déterminer la formule du composé X qui aurait tous les sites octaédriques occupés.
- 3) Calculer la taille (ou l'habitabilité) de l'interstice octaédrique, c'est-à-dire le rayon théorique R' de l'atome de carbone inséré dans ces aciers en supposant qu'il y a tangence des atomes de fer et de carbone, sans déformer le réseau cubique centré. En déduire la compacité théorique de X.
- 4) Le rayon atomique du carbone est en réalité de $R = 77 \text{ pm}$. Évaluer la composition limite de la solution solide FeC_x , en admettant que la compacité soit celle calculée pour X mais que le réseau ne soit globalement pas déformé.

Le fer γ

Au-delà de 910°C , la forme stable du fer est nommée fer γ . Le réseau est cubique à faces centrées. Dans cette structure, le rayon du fer vaut $R_2 = 127 \text{ pm}$.

Dans le fer γ , des atomes de carbone peuvent s'insérer dans les interstices octaédriques.

- 5) Calculer la taille des interstices octaédriques. Quelle hypothèse peut-on faire a priori sur la solubilité du carbone dans le fer γ par rapport au fer α ?
- 6) Pour vérifier cette hypothèse, calculer la nouvelle composition limite FeC_y avec les mêmes hypothèses qu'au 4) de la question précédente.

4 LE TITANE ET SES ALLIAGES

Le titane pur

Le titane existe sous deux variétés allotropiques, le Ti_α et le Ti_β . Le Ti_α , stable à température et pression ordinaires, cristallise dans le mode d'empilement hexagonal compact.

- 1) Définir le terme de « variété allotropique ». Des variétés allotropiques possèdent-elles les mêmes propriétés physiques ?
- 2) Calculer le rayon de l'atome de titane dans cette espèce cristallographique, à partir de la masse volumique, puis la compacité γ du système. *On utilisera pour cela les résultats déjà établis dans l'exercice précédent sur le magnésium, qui cristallise également dans le mode hexagonal compact.*

On peut montrer qu'un métal est passivé (protégé de la corrosion) lorsque l'oxyde qui se développe à sa surface peut former une couche protectrice continue : il faut pour cela que le volume molaire de l'oxyde soit supérieur au volume molaire du métal.

- 3) Montrer que le couple TiO_2/Ti est un couple d'oxydoréduction, puis déterminer si le titane peut être passivé par son oxyde.

On donne :

Masses volumiques : $\rho(Ti_\alpha) = 4503 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$; $\rho(TiO_2) = 4260 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$

Masses molaires : $M(Ti) = 47,90 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$; $M(O) = 16,00 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$

Structure d'un alliage du titane, $Al_xNi_yTi_z$

L'alliage le plus utilisé dans l'industrie aéronautique a pour formule $Al_xNi_yTi_z$. Le titane y est présent sous la forme β : son système cristallographique est cubique à faces centrées. Les atomes d'aluminium occupent la totalité des sites octaédriques et ceux de nickel occupent tous les sites tétraédriques. Le paramètre de la maille ainsi formée vaut $a = 0,589 \text{ nm}$.

- 4) Représenter la maille en perspective.
- 5) Déterminer la formule de l'alliage.
- 6) À partir du rayon atomique $R(Ti)$ du titane dans le tableau de données ci-dessous, déterminer quel serait le paramètre de maille a' si l'empilement du titane était compact. Comparer au paramètre réel a et commenter.
- 7) Exprimer la taille des sites octaédriques et celle des sites tétraédriques en fonction de $R(Ti)$ et du paramètre a ; faire l'application numérique. Conclusion : l'inversion de l'occupation des sites est-elle possible ?
- 8) Calculer la compacité et la masse volumique de cet alliage.
- 9) Comparer les valeurs trouvées précédemment aux caractéristiques moyennes d'un acier courant : $\rho(\text{acier}) = 7800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$, compacité = 0,70. À qualités mécaniques équivalentes, expliquer en quoi l'alliage de titane présente de l'intérêt.

Tableau de données :

Atome	Rayon atomique (nm)	Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)
Ti	0,147	47,90
Al	0,143	26,98
Ni	0,124	58,70

5 STRUCTURES DU DIAMANT, DU SILICIUM ET DU GRAPHITE

Le carbone existe sous deux variétés allotropiques à température ambiante et sous la pression atmosphérique :

- une forme **métastable dans les CNTP**, le diamant : la maille élémentaire est un cube de côté $a = 356 \text{ pm}$, comportant des atomes à chaque sommet du cube, au centre de chaque face, et aux coordonnées $(\frac{1}{4}, \frac{1}{4}, \frac{1}{4})$, $(\frac{3}{4}, \frac{3}{4}, \frac{1}{4})$, $(\frac{1}{4}, \frac{3}{4}, \frac{3}{4})$ et $(\frac{3}{4}, \frac{1}{4}, \frac{3}{4})$.

- une forme stable dans les CNTP, le graphite : le réseau est hexagonal. Il peut être considéré comme un assemblage de feuillets distants de $c = 335$ pm. Un feuillet peut être considéré comme une macromolécule plane où les atomes de carbone sont disposés selon des hexagones accolés (structure en nid d'abeille). La distance entre deux atomes de carbone dans un feuillet est de $b = 142$ pm.

Le silicium cristallise selon la structure diamant, avec un paramètre $a' = 543$ pm.

- 1) Que signifie que le diamant est une forme « métastable dans les CNTP » ? Proposer des conditions expérimentales pour espérer synthétiser du diamant dans l'industrie. Commenter. Utiliser le diagramme de phases (P, T) du carbone, fourni en document, pour répondre à cette question.
- 2) Dessiner la maille du carbone diamant, d'après la description précédente.
Combien d'atomes de carbone ou de silicium y a-t-il dans cette maille élémentaire ?
Quelle est la coordinence (nombre de plus proches voisins) d'un atome dans le cristal ? Calculer le rayon d'un atome de carbone et celui d'un atome de silicium. Comparer. De quel rayon atomique s'agit-il ici ? Justifier.
Les énergies des liaisons simples C – C (dans le diamant) et Si – Si sont respectivement 345,6 et 222 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$. Calculer les énergies de sublimation du carbone diamant et du silicium.
Commenter.
Calculer la compacité dans la structure diamant. Commenter, par comparaison à la structure cubique faces centrées compacte des métaux.
- 3) D'après le document sur le carbone, dessiner une maille hexagonale du graphite et calculer le nombre d'atomes de carbone qu'elle contient. La maille est un prisme droit à base losange, dont les paramètres sont notés a_h et c_h sur le document.
Quelle est la coordinence (nombre de plus proches voisins) d'un atome dans le cristal ? Calculer le rayon d'un atome de carbone et comparer avec la valeur trouvée pour le diamant. Interpréter la différence observée.
Montrer qu'on peut définir un deuxième type de rayon atomique pour l'atome de carbone dans le graphite. Calculer ce rayon.
- 4) Calculer les masses volumiques du diamant, du silicium et du graphite, sachant que les masses molaires du carbone et du silicium sont respectivement de 12,0 et 28,1 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

6 « GAZ » NOBLES À L'ÉTAT SOLIDE

Les éléments de la colonne 18 sont des gaz inertes monoatomiques à température ambiante, d'où le nom de « gaz nobles » donné aux éléments de cette famille. Il faut les porter à des températures très basses (voir tableau) pour obtenir des cristaux.

On obtient alors des structures cubiques faces centrées compactes, comme pour les métaux... pourtant, de par leurs propriétés physiques et chimiques, ce sont bien des cristaux moléculaires !

Le néon, l'argon, le krypton et le xénon cristallisent selon un réseau cubique à faces centrées.

- 1) Représenter une maille cubique à faces centrées et calculer la compacité.
- 2) Calculer la masse volumique à l'état solide pour chacun des « gaz » nobles.
- 3) Quelles sont les valeurs des rayons atomiques ?
- 4) Pourquoi classe-t-on ces cristaux parmi les cristaux « moléculaires » ? Quel type de force unit les atomes ? Pourquoi l'empilement est-il compact ?
- 5) Calculer l'énergie d'une liaison entre deux atomes d'argon sachant que l'énergie de sublimation de l'argon vaut approximativement 7 $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- 6) Justifier l'évolution des températures de fusion quand on passe du néon au xénon.

Données :

Gaz noble	néon	argon	krypton	xénon
Numéro atomique	10	18	36	54
Masse molaire ($\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$)	20,2	39,9	83,8	131,3
Paramètre de maille (pm)	452	543	559	618
Température de fusion (K)	24,5	83,9	116	161

7 LA GLACE I-H

Dans la glace-Ih, les atomes d'oxygène occupent toutes les positions des atomes d'une maille élémentaire de type hexagonal compact (HC), de paramètres a et c , c étant la hauteur de la maille. Revoir la description de la maille hexagonale compacte dans l'exercice « le magnésium ». De plus, des atomes d'oxygène supplémentaires sont positionnés par rapport aux précédents par une translation de $\frac{3}{8}\vec{c}$.

- 1) Représenter une maille de la glace-I (placer les atomes d'oxygène).
- 2) Quel type d'interstices du réseau HC occupent les atomes « supplémentaires » évoqués dans la description ? En quelle proportion ?
- 3) Proposer une position pour les atomes d'hydrogène en expliquant.
- 4) Préciser le nombre de molécules d'eau par maille.
- 5) Quelles sont les forces intermoléculaires que l'on peut envisager ? On décrira l'origine des interactions citées.

8 RAYON IONIQUE DU CÉSIUM

Les rayons ioniques sont définis de proche en proche à partir d'un rayon de référence. On voit ici comment le rayon d'un ion permet de déduire les autres à partir de données expérimentales comme les masses volumiques.

On donne les masses molaires en $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$: Chlore = 35,5 ; Sodium = 23,0, Césium = 132,9.

La masse volumique de NaCl vaut $2,163 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$, celle de CsCl vaut $3,990 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$.

Sachant que le rayon ionique de Na^+ est de 0,098 nm, en déduire le rayon ionique du césium.

On consultera les structures cristallines de NaCl et de CsCl dans le document « cristaux ioniques ».

9 STRUCTURE DE L'OXYDE CHROMIQUE

L'oxyde chromique est décrit traditionnellement comme un réseau cubique simple d'ions du chrome avec des ions O^{2-} seulement au milieu des arêtes.

- 1) Représenter la maille d'après la description. Préciser le motif par les coordonnées des ions.
- 2) Quel est la charge des ions du chrome ?
- 3) Quel est l'environnement (la coordinence, la géométrie) autour des ions du chrome ? de l'oxygène ?
Les rayons ioniques habituellement admis sont de 0,140 nm pour O^{2-} et 0,052 nm pour les ions du chrome considérés ici. Les ions sont-ils dans un environnement normal ? (c'est-à-dire : la géométrie permet-elle la tangence anion/cation, et non pas le contact anion/anion ou cation/cation). Commenter.
- 4) La masse volumique mesurée est $\rho = 2,74 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$. Est-ce en accord avec la valeur théorique ?

La masse molaire de l'oxygène est de $16,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$ et celle du chrome est de $52,0 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

10 ÉTUDE COMPARATIVE DE QUELQUES STRUCTURES CRISTALLINES

On se propose d'étudier l'évolution de la structure des oxydes dans une ligne de la classification périodique en étudiant le cas des oxydes : Na_2O , MgO et Al_2O_3 (variété polymorphique α , corindon).

- Na_2O cristallise dans une structure de type « anti-fluorine » : les ions O^{2-} occupent un réseau cubique à faces centrées et les ions Na^+ occupent les positions correspondant aux sites tétraédriques de ce réseau.
 - MgO cristallise dans un réseau de type NaCl (voir document « les cristaux ioniques »).
 - Dans la structure cristalline de Al_2O_3 (variété corindon), les ions O^{2-} forment un empilement hexagonal compact et les ions Al^{3+} occupent les deux tiers des sites octaédriques de cet empilement.
- 1) Justifier l'évolution du rayon ionique dans la série Na^+ , Mg^{2+} , Al^{3+} , après avoir donné la configuration électronique de ces ions.
 - 2) Dessiner la maille de Na_2O : pourquoi cette structure est-elle qualifiée de type « anti-fluorine » ? (rappel : la fluorine est la structure CaF_2 fournie dans le document « les cristaux ioniques »). Vérifier la formule du sel à partir de la population de la maille.
 - 3) Dessiner la maille de MgO .
 - 4) Dessiner le prisme droit à base losange caractéristique du réseau hexagonal et y placer les ions O^{2-} de la structure Al_2O_3 . (revoir la description de la maille HC dans l'exercice « le magnésium »). Donner le nombre et la position des sites octaédriques formés par les ions O^{2-} en consultant le document « localisation des interstices » et vérifier que la structure du corindon correspond bien à la formule Al_2O_3 .
 - 5) Déterminer la coordinence de l'ion O^{2-} dans chacune des trois structures.
 - 6) Calculer la valeur du rayon de O^{2-} dans chacune des trois structures et justifier les différences observées.
 - 7) Justifier qualitativement l'évolution des caractères ionique vs covalent du cristal dans la série Na_2O , MgO et Al_2O_3 .

Données :

Numéros atomiques : Na : 11 ; Mg : 12 ; Al : 13

Rayons ioniques (pm) : Na^+ : 113 ; Mg^{2+} : 86 ; Al^{3+} : 67

Arêtes de maille (pm) : Na_2O : 556,5 ; MgO : 424 ; Al_2O_3 : 270 (arête du losange de base)

11 IODURE CUIVREUX : COMPOSÉ IONIQUE OU COVALENT ?

L'iodure cuivreux CuI cristallise avec une structure de type blende qui peut s'analyser suivant les deux modèles, ionique ou covalent, de la liaison chimique.

- 1) Les ions iodure, de rayon $R(\text{I}^-) = 220 \text{ pm}$, occupent les positions classiques d'un réseau cubique à faces centrées, les ions Cu^+ , de rayon $R(\text{Cu}^+) = 96 \text{ pm}$, s'insérant dans les sites tétraédriques.
 - Indiquer les coordonnées relatives des ions iodure de la maille.
 - Preciser le nombre de cations cuivre (I^-).
 - Le site tétraédrique intérieur à la maille, le plus proche de l'origine, est occupé par un ion Cu^+ . Indiquer les coordonnées relatives des autres cations situés à l'intérieur de la maille.
 - En déduire la nature du réseau des ions Cu^+ .
- 2) Dans l'édification d'un cristal ionique, les ions les plus petits tendent à écarter les ions les plus gros, de charges opposées.
 - Quelle condition doit vérifier le rapport $\frac{R(\text{Cu}^+)}{R(\text{I}^-)}$ pour que les anions ne soient pas en contact (autrement dit, pour que les anions et les cations puissent être en contact entre eux) ?
 - Évaluer le paramètre de maille théorique a^* de l'iodure cuivreux dans le modèle ionique.
 - Comparer cette valeur a^* à la valeur réelle $a = 615 \text{ pm}$. Commenter la validité du schéma ionique.
- 3) La structure blende présente de fortes analogies avec la structure du diamant. En effet, en remplaçant tous les atomes de cuivre et les atomes d'iode par des atomes de carbone, on retrouve la maille du diamant.
 - En déduire la contribution électronique respective des éléments cuivre et iode à une éventuelle liaison covalente $\text{Cu} - \text{I}$ après avoir écrit la configuration électronique des

- éléments cuivre ($Z = 29$) et iodé. On rappelle que le cuivre est une exception à la règle de Klechkowski : le nombre quantique azimutal de son électron célibataire est $\ell = 0$.
- b) Analyser la cohérence de ce modèle sur la base des rayons covalents du cuivre et de l'iodé, respectivement égaux à 117 et 133 pm.
- 4) Le carbure de silicium SiC ou carborundum est isostructural de CuI. Le paramètre de la maille est $a = 436$ pm.
- Calculer le rayon $R(\text{Si})$ de l'atome de silicium, celui de l'atome de carbone étant de $R(\text{C}) = 77$ pm.
 - Déterminer la masse volumique, puis évaluer la compacité du réseau de carborundum ($M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $M(\text{Si}) = 28,1 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).
 - Comment peut-on expliquer que le carbure de silicium soit un composé très dur, réfractaire et inerte chimiquement ?

12 PROBLÈME : ÉTUDE DE COMPOSÉS DU BORE

Les parties 1), 2) et 3) sont indépendantes.

Données :

- Masses molaires atomiques ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$) : Zr : 91,22 ; B : 10,81 ; N : 14,01.
- Constante d'Avogadro : $N = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Dans les différentes structures, les atomes sont assimilés à des sphères.

On rappelle que l'*atomicité* d'une maille est le nombre d'atomes par maille.

La chimie du bore B est très riche. Cet élément peut s'associer à un grand nombre de métaux pour former des composés de stœchiométrie très variée : TiB₂, V₃B₂, Ni₄B₃, CeB₄, AsB₆, NaB₁₅,... mais aussi avec d'autres éléments comme l'azote pour donner des composés réfractaires résistant à de hautes températures.

- 1) Dans le borure de zirconium, les atomes sont organisés suivant une alternance de **plans compacts** d'atomes de zirconium, où la figure de base est un losange (figure 1), et de plans d'atomes de bore où les atomes en contact avec trois autres atomes forment des hexagones réguliers (figure 2).

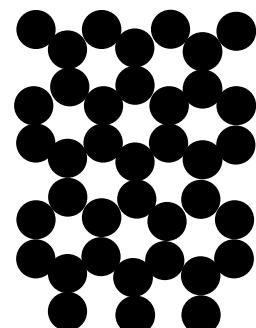
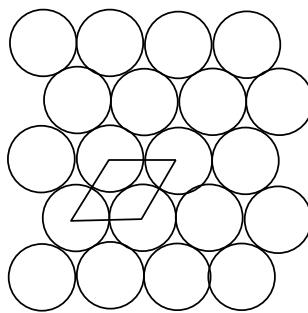


Figure 1 : plans formés par les atomes de zirconium

Figure 2 : plans formés par les atomes de bore

Les rayons des atomes de zirconium et de bore, que l'on notera R_{Zr} et R_{B} , permettent l'empilement représenté figure 3 où chaque atome de bore se trouve en contact de 3 atomes de zirconium du plan inférieur et de 3 autres atomes de zirconium du plan supérieur.

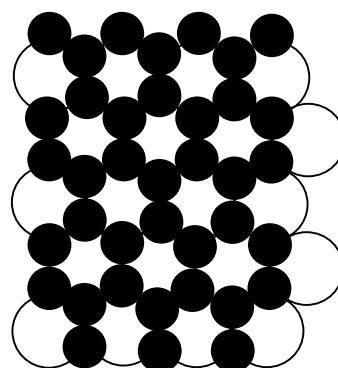


Figure 3 : positions relatives des plans d'atomes de zirconium et des plans d'atomes de bore

- a) Représenter la maille de borure de zirconium (on prendra comme maille un prisme droit à base losange, le losange étant celui dessiné figure 1 ; on appellera a le côté du losange et c la hauteur du prisme).
- b) En raisonnant sur l'atomicité de la maille, déterminer la formule du borure de zirconium.
- c) Quelle relation y a-t-il entre R_B et R_{Zr} ? En déduire une relation entre a et c .
- d) Calculer la masse volumique de ce solide. On donne la valeur de $a : 330 \text{ pm}$.
- e) Quelle est la taille du plus gros site d'insertion dans cette structure ?
- f) Déterminer la compacité de cette structure, c'est-à-dire le pourcentage de volume réellement occupé par les atomes.
- 2) Dans d'autres borures métalliques de formule M_yB , les atomes métalliques M occupent les positions d'un réseau cubique faces centrées (fcf) et les atomes de bore occupent les sites octaédriques (tous ou une partie selon le cas).
- a) Représenter les sites octaédriques d'une structure cfc. Quelle est la valeur minimale de y ?
- b) Quelle est la valeur de y si le bore occupe en alternance un centre de maille sur deux ?
- c) Quelle inégalité doivent vérifier les rayons des atomes R_B et R_M pour que le métal forme un réseau compact ?
- d) Montrer que la mesure de la masse volumique permet de déterminer la valeur de y . On exprimera la masse volumique en fonction de y , des masses molaires M_M , M_B , du rayon de l'atome métallique R_M et de la constante d'Avogadro N .
- 3) Dans le borure d'azote de formule BN, les atomes de bore et d'azote sont en alternance stricte et constituent une structure de type graphite avec une longueur de liaison B – N égale à $a = 145 \text{ pm}$ et une distance entre deux plans successifs égale à $\frac{c}{2} = 334 \text{ pm}$. La figure 4 rappelle la structure correspondante.
- a) Quelle est l'atomicité du prisme droit à base hexagonale représenté figure 4 ?
- b) Exprimer le volume de ce prisme en fonction de a et de c .
- c) Déterminer la masse volumique de cette variété polymorphique du borure d'azote.

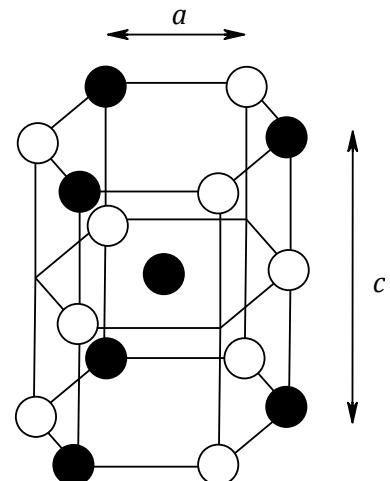


Figure 4 : structure de BN