



BLAISE PASCAL
PT 2022-2023

Architecture de la matière

Exercice 1 : Oxyde de baryum

écrit PT 2022 | 💡 2 | ✂ 1 | Ⓜ

-  ▷ Maille CFC ;
▷ Sites interstitiels.

6 **Cours** Un atome se trouvant sur l'un des huit sommets du cube est partagé entre huit mailles, et un atome situé au centre de l'une des six faces est partagé entre deux mailles. Ainsi,

$$N_{\text{motifs}} = \underbrace{8 \times \frac{1}{8}}_{\text{sommets}} + \underbrace{6 \times \frac{1}{2}}_{\text{faces}} = 4.$$

7 **Cours** Les sites T sont situés au centre des huit petits cubes qui constituent la maille, il y a donc

$$N_{\text{T}} = 8 \text{ sites T par maille.}$$

Les sites O sont situés au centre de la maille et au milieu des 12 arêtes de la maille, où ils sont partagés entre quatre mailles. Ainsi,

$$N_{\text{O}} = 1 + 12 \times \frac{1}{4} \quad \text{soit} \quad N_{\text{O}} = 4 \text{ sites O par maille.}$$

8 **Classique** Le cristal de BaO compte autant d'ion Ba^{2+} que d'ions O^{2-} , soit quatre ions Ba^{2+} , qui occupent donc **tous les sites octaédriques**.

9 **Classique** La maille est représentée figure 1.

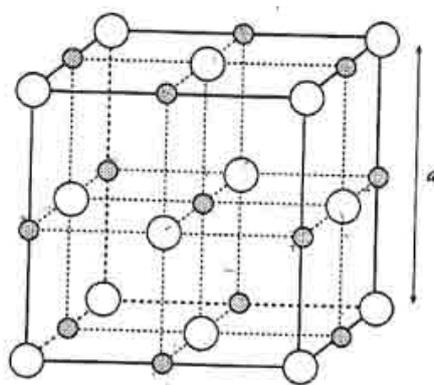


Figure 1 – Maille du cristal BaO. Les anions O^{2-} sont représentés par les cercles blancs, les cations Ba^{2+} par les points gris.

10 **Classique** En supposant une tangence entre anions et cations le long d'une arête,

$$R_{\text{O}^{2-}} + 2R_{\text{Ba}^{2+}} + R_{\text{O}^{2-}} = a \quad \text{soit} \quad R_{\text{Ba}^{2+}} = \frac{a}{2} - R_{\text{O}^{2-}} = 0,137 \text{ nm.}$$

Exercice 2 : Oxyde de zirconium solide

écrit PT 2015 | 💡 2 | ✂️ 2


 ▷ Mailles CFC ;
 ▷ Sites intersticiels.

1 Voir cours. Les six cations au centre des faces sont partagés entre deux mailles, et les huit cations aux sommets sont partagés entre huit mailles, d'où

$$N = 6 \times \frac{1}{2} + 8 \times \frac{1}{8} \quad \text{donc} \quad \boxed{N = 4 \text{ cations par maille.}}$$

2 La compacité de la structure est de **74 %**, ce qui est la compacité maximale pour une structure de sphères dures identiques.

3 Dans la structure CFC, les sites tétraédriques sont **au centre des huit cubes d'arête $a/2$** . Il y en a donc évidemment huit par maille.

4 À la limite où l'anion occupe le site T sans déformer la structure de cations, le contact anion-cation se fait sur la grande diagonale du petit cube d'arête $a/2$, voir figure 2, soit

$$r^+ + r^- \leq \frac{1}{2} \times \frac{a}{2} \times \sqrt{3} \quad \text{d'où} \quad \boxed{r^- \leq \frac{a\sqrt{3}}{4} - r^+ .}$$

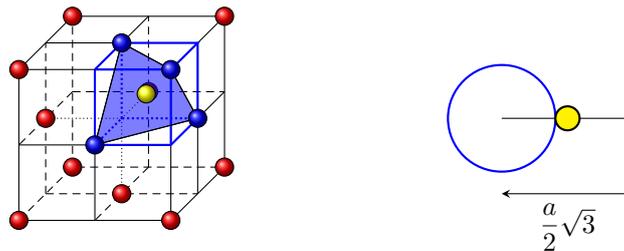


Figure 2 – Site T de la structure CFC. La contrainte sur l'habitabilité du site T est donnée par la tangence le long de la diagonale du cube octant. Version couleur sur le site de la classe.

Les anions ont presque toujours un rayon ionique bien plus grand que les cations, et donc n'ont aucune chance de loger dans un site T du réseau de cations. La question telle qu'elle est posée veut vous faire refaire un calcul du cours mais n'a pas grand sens, puisqu'elle considère un cas qui ne se produit jamais en pratique.

5 Les sites tétraédriques appartiennent en propre à la maille, il y a donc autant d'anions que de sites, c'est-à-dire **huit anions par maille**.

6 On voit à partir des questions précédentes que la maille compte deux fois plus d'anions O^{2-} que de cations Zr^{4+} . La formule la plus simple qui convient est donc ZrO_2 .

Pensez à vérifier que la formule proposée donne bien un cristal neutre : un solide ne peut pas être chargé !

7 La coordinence est le nombre de plus proches voisins. Un anion est situé dans un site T, il a donc quatre plus proches voisins : **la coordinence des anions par rapport aux cations est de 4**. Un cation au centre d'une face (plus facile à voir) ou au sommet de la maille (sans doute moins facile mais équivalent) est entouré de huit cubes d'arête $a/2$ dans lesquels se trouvent les sites T et donc les anions. On en déduit que **la coordinence des anions par rapport aux cations est de 8**.

8 La masse volumique s'exprime à partir de la masse des atomes contenus dans la maille et de son volume,

$$\rho = \frac{4m_{Zr} + 8m_O}{a^3} \quad \text{soit} \quad \rho = \frac{4M_{Zr} + 8M_O}{N_A a^3}$$

9 Comme l'oxygène se trouve toujours sous la forme d'anions O^{2-} (c'est le cas dans tous les oxydes), on déduit la charge z du cation yttrium par la neutralité de la structure,

$$2z + 3 \times (-2) = 0 \quad \text{soit} \quad z = 3,$$

le cation yttrium est donc Y^{3+} .

10 Si la substitution se fait le plus simplement possible, un cation Zr^{4+} est remplacé par un cation Y^{3+} : tout se passe donc comme si le cristal avait perdu une charge $+$, c'est-à-dire qu'il s'est chargé négativement.

11 En fonction de x et y , la formule chimique de la structure s'écrit $Y_x Zr_{1-x} O_y$. La neutralité impose

$$3x + 4(1 - x) - 2y = 0 \quad \text{soit} \quad y = 2 - \frac{x}{2}.$$

Ainsi, au cours du processus de substitution, certains sites tétraédriques de l'alliage se vident de leurs ions O^{2-} pour préserver la neutralité de la structure.

Un moyen efficace de vérifier le calcul est de contrôler que le cas $x = 0$ (pas de dopage) redonne bien $y = 2$.

Exercice 3 : Autour du soufre et de l'oxygène

adapté écrit PT 2014 | 💡 2 | ✂ 1



- ▷ Configuration électronique ;
- ▷ Électronégativité ;
- ▷ Schémas de Lewis.

1 Les éléments d'une même famille sont situés **dans une même colonne** de la classification périodique. Ainsi, le soufre est juste en dessous de l'oxygène.

2 La configuration de l'oxygène s'écrit $1s^2 2s^2 2p^4$, il compte donc six électrons de valence. 3 Un anion est chargé négativement. L'anion le plus stable formé par l'oxygène s'obtient en saturant sa sous-couche $3p$ pour lui permettre d'atteindre une configuration en $3p^6$ identique à celle du gaz noble qui le suit, en l'occurrence le néon. **L'anion le plus courant formé par le soufre est donc S^{O-} .**

4 L'oxygène doit respecter la règle de l'octet (il appartient à la deuxième période), au contraire du soufre qui peut être hypervalent.

▷ Dioxygène O_2 :



▷ Radical anion superoxyde O_2^- : l'espèce compte un électron supplémentaire par rapport à O_2 , qui est célibataire puisqu'il s'agit d'un radical. Comme il est indispensable que l'oxygène respecte la règle de l'octet, la seule représentation possible est



▷ Ozone O_3 :

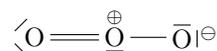
→ Nombre d'électrons de valence : $3 \times 6 = 18$;

→ Nombre de doublets : 9 ;

→ Squelette : $O - O - O$;

→ Liaisons multiples : si toutes les liaisons étaient simples, il faudrait $3 + 2 + 3 = 8$ doublets pour que les trois atomes respectent la règle de l'octet. Comme il ne reste que $9 - 2 = 7$ doublets à attribuer, on en déduit que la molécule compte une liaison double.

→ Répartition des doublets et charges formelles :

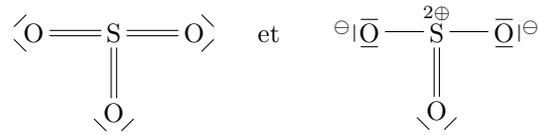


Les molécules cycliques sont rares : l'énoncé vous le précisera forcément si vous en recontrez, et il ne faut pas prendre l'initiative de proposer des structures cycliques. En outre, les cycles de trois atomes sont très instables et n'existent presque pas. En effet, les angles sont trop fermés et la répulsion entre doublets d'électrons trop forte. La quasi-totalité des cycles relativement stables comptent cinq ou six atomes.

▷ Dioxyde de soufre SO_2 : on peut proposer la même structure que l'ozone en remplaçant l'oxygène central par le soufre, mais comme le soufre peut être hypervalent un schéma sans charge formelle est possible et plus proche de la réalité de la molécule.



▷ Trioxyde de soufre SO_3 :



Exercice 4 : Monoxyde de carbone

adapté écrit PT 2013 | 💡 3 | ✂ 1



- ▷ Configuration électronique;
- ▷ Électronégativité
- ▷ Schéma de Lewis.

1 C : $1s^2 2s^2 2p^2$. Le carbone fait partie de la deuxième période de la classification et doit donc respecter **la règle de l'octet**. Comme il compte quatre électrons de valence, **il doit former quatre liaisons** (ce qui est la définition de tétravalent) pour être entouré d'un octet d'électron.

2 Les deux isotopes du carbone les plus répandus sont **le carbone 12** $^{12}_6\text{C}$ et **le carbone 13** $^{13}_6\text{C}$.

3 O : $1s^2 2s^2 2p^4$ et D'après sa configuration électronique, l'oxygène se trouve dans la **deuxième ligne** de la classification périodique et dans la quatrième colonne du bloc p , ce qui correspond à la **seizième colonne** (2 colonnes pour le bloc s puis 10 colonnes pour le bloc d).

4

- ▷ Nombre d'électrons de valence : $4 + 6 = 10$ soit 5 doublets
- ▷ Squelette : C—O.
- ▷ Liaisons multiples : si toutes les liaisons étaient simples, il faudrait $3 + 3 = 6$ doublets non-liants pour que tous les atomes respectent la règle de l'octet, mais il n'en reste que quatre à attribuer. La liaison est donc triple.
- ▷ Répartition des doublets et attribution des charges formelles :



5 L'électronégativité **augmente de gauche à droite** dans une ligne du tableau La formule proposée n'est pas en accord avec les électronégativités puisque $\chi_{\text{O}} > \chi_{\text{C}}$... mais il n'est pas possible de construire un schéma de Lewis respectant la règle de l'octet et l'électronégativité, c'est donc la règle de l'octet qui s'impose.