

## Corrigé du Devoir Surveillé de chimie n°7

### Premier problème : Dosage des ions $\text{Cu}^{2+}$ par les ions iodure

#### Partie A

1) Pour que la solution reste limpide, la condition à vérifier est :

$$Q = [\text{Cu}^{2+}] \times [\text{HO}^-]^2 < K_s$$

La concentration en ions  $\text{HO}^-$  doit donc être telle que :

$$[\text{HO}^-] < \sqrt{\frac{K_s}{[\text{Cu}^{2+}]}}$$

Application numérique :

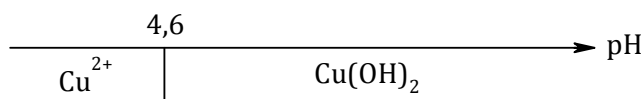
$$[\text{HO}^-] < 4,5 \cdot 10^{-10} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

Or  $\text{pH} = -\log[\text{H}_3\text{O}^+] = -\log \frac{K_e}{[\text{HO}^-]} = 14 + \log[\text{HO}^-]$ , on trouve donc :

$$\text{pH} < 4,65$$

Pour que la solution reste limpide, le pH ne doit pas dépasser la valeur 4,6.

2) Comme on l'a dit à la question précédente, le précipité n'existe pas avec  $[\text{Cu}^{2+}] = C_{tra} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  si  $\text{pH} < 4,6$ . D'où le diagramme d'existence :

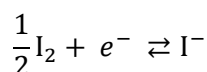
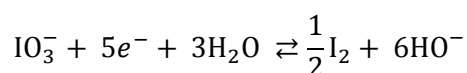


3) Nombres d'oxydation de l'iode :

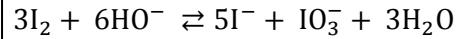
+V dans $\text{IO}_3^-$ -I dans $\text{I}^-$ 0 dans $\text{I}_2$
--

On dit qu'une espèce se dismute si elle réagit avec elle-même pour donner une espèce de nombre d'oxydation supérieur et une espèce de nombre d'oxydation inférieur. Ici, le diiode ( $n.o. = 0$ ) se dismute en ion iodate ( $n.o. = +V > 0$ ) et en ion iodure ( $n.o. = -I < 0$ ).

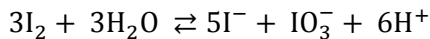
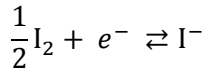
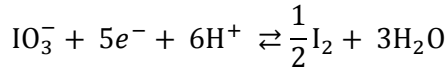
4) On définit les deux couples  $\text{IO}_3^-/\text{I}_2$  et  $\text{I}_2/\text{I}^-$ , de demi-équations électroniques respectives en milieu basique :



On multiplie la seconde équation par 5 et on soustrait la première pour éliminer les électrons :



5) On rappelle que les potentiels standard des couples  $IO_3^-/I_2$  et  $I_2/I^-$  sont fournis à  $pH = 0$ , qui signifie que pour pouvoir les utiliser dans la formule de Nernst, **les demi-équations électroniques doivent être écrites avec la particule  $H^+$** . On commence donc par déterminer la constante d'équilibre de la réaction écrite en milieu acide :



Pour trouver la constante d'équilibre  $K_{acide}^0 = \frac{[I^-]^5 [IO_3^-] [H^+]^6}{[I_2]^3}$  de cette dismutation en milieu acide on écrit l'unicité du potentiel de Nernst pour un système à l'équilibre :

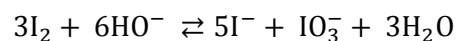
$$E_1^0 + \frac{0,06}{5} \log \frac{[IO_3^-] [H^+]^6}{[I_2]^{\frac{1}{2}}} = E_2^0 + 0,06 \log \frac{[I_2]^{\frac{1}{2}}}{[I^-]}$$

$$E_1^0 + \frac{0,06}{5} \log \frac{[IO_3^-] [H^+]^6}{[I_2]^{\frac{1}{2}}} = E_2^0 + \frac{0,06}{5} \log \frac{[I_2]^{\frac{5}{2}}}{[I^-]^5}$$

$$\frac{0,06}{5} \log K_{acide}^0 = E_2^0 - E_1^0$$

$$K_{acide}^0 = 10^{\frac{5}{0,06}(E_2^0 - E_1^0)} = 10^{-46,7}$$

On trouve  $K_{acide}^0 \ll 1$  : la dismutation en milieu acide est très peu favorable ! Mais la question porte sur la dismutation en milieu basique, on cherche donc maintenant la constante d'équilibre de la réaction écrite à la question 4 :



$$K^0 = \frac{[I^-]^5 [IO_3^-]}{[I_2]^3 [HO^-]^6} = \frac{[I^-]^5 [IO_3^-]}{[I_2]^3 [HO^-]^6} \times \frac{[H_3O^+]^6}{[H_3O^+]^6} = \frac{K_{acide}^0}{K_e^6} = \frac{10^{-46,7}}{(10^{-14})^6} = 10^{+37,3} = 2 \cdot 10^{37}$$

On trouve  $K^0 = 2 \cdot 10^{37} \gg 1$  : la dismutation est très favorable en milieu basique.

### Partie B

6) Les nombres d'oxydation du cuivre dans  $Cu^{2+}$ ,  $Cu^+$  et  $Cu$  étant respectivement de +II, +I et 0, la **relation barycentrique de l'oxydoréduction** donne immédiatement :

$$2 \times E_3^0 = 1 \times E_4^0 + 1 \times E_5^0$$

On en tire :

$$E_5^0 = 2E_3^0 - E_4^0 = 0,52 \text{ V}$$

7) Couple  $Cu^{2+}/Cu^+$  ( $Cu^{2+} + e^- \rightleftharpoons Cu^+$ ), potentiel de Nernst :  $E = E_4^0 + 0,06 \log \left( \frac{[Cu^{2+}]}{[Cu^+]} \right)$

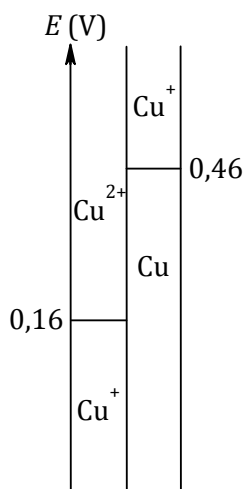
À la frontière de **prédominance**, on a égalité des concentrations des deux ions, donc  $E_{fr} = E_4^0 = 0,16 \text{ V}$ .

Couple  $Cu^+/Cu$  ( $Cu^+ + e^- \rightleftharpoons Cu$ ), potentiel de Nernst si le cuivre métallique est présent :

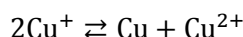
$$E = E_5^0 + 0,06 \log [Cu^+]$$

À la frontière d'**existence** du cuivre métallique, la concentration de  $\text{Cu}^+$  atteint sa valeur maximale en solution c'est-à-dire la concentration de tracé fixée à  $C_{tra} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  par l'énoncé.  
Donc  $E_{fr} = E_5^0 + 0,06 \log C_{tra} = 0,46 \text{ V}$ .

Diagrammes :



**8)** On constate que les domaines de stabilité de l'ion  $\text{Cu}^+$  sont **disjoints**.  $\text{Cu}^+$  est donc une espèce instable, qui tend à se **dismuter** fortement, selon la réaction très favorable :



On négligera donc par la suite l'espèce  $\text{Cu}^+$ .

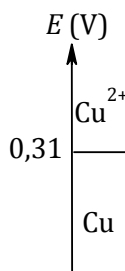
On s'intéresse alors au couple  $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}$  ( $\text{Cu}^{2+} + 2e^- \rightleftharpoons \text{Cu}$ ), de potentiel de Nernst si le cuivre métallique est présent :  $E = E_3^0 + \frac{0,06}{2} \log[\text{Cu}^{2+}]$

À la frontière d'**existence** du cuivre métallique, la concentration de  $\text{Cu}^{2+}$  atteint sa valeur maximale en solution c'est-à-dire la concentration de tracé fixée à  $C_{tra} = 0,1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  par l'énoncé.

Donc  $E_{fr} = E_3^0 + 0,03 \log C_{tra} = 0,31 \text{ V}$ .

Remarque : on vérifie que la concentration des ions  $\text{Cu}^+$  est bien négligeable à cette frontière en utilisant l'unicité du potentiel.  $0,31 \text{ V} = E_4^0 + 0,06 \log \left( \frac{0,1}{[\text{Cu}^+]} \right)$ , qui donne  $[\text{Cu}^+] = 3,2 \cdot 10^{-4} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \ll 0,1$ .

Diagramme :



**9)** Couple  $\text{I}_2/\text{I}^-$  ( $\text{I}_2 + 2e^- \rightleftharpoons 2\text{I}^-$ ), potentiel de Nernst :  $E = E_2^0 + \frac{0,06}{2} \log \left( \frac{[\text{I}_2]}{[\text{I}^-]^2} \right)$

La concentration de tracé est la concentration totale en élément iode dissous, soit  $C_{tra} = 2[\text{I}_2] + [\text{I}^-]$ .

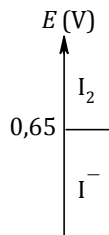
On peut alors **choisir** l'une des conventions de frontière de prédominance suivantes :

- Égalité des concentrations en oxydant et réducteur :  $[\text{I}_2] = [\text{I}^-]$ , ce qui donne  $[\text{I}^-] = \frac{C_{tra}}{3}$ , et dans ce cas la frontière est située à  $E_{fr} = E_2^0 + 0,03 \log \left( \frac{3}{C_{tra}} \right) = 0,66 \text{ V}$ ;

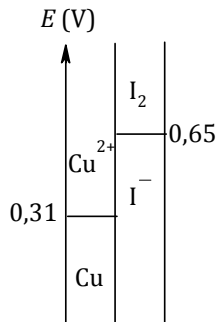
- Égalité des concentrations en élément iode dans chacune des deux espèces, soit  $2[\text{I}_2] = [\text{I}^-]$ , ce

qui donne  $[I^-] = \frac{C_{tra}}{2}$  et  $[I_2] = \frac{C_{tra}}{4}$ , d'où une frontière à  $E_{fr} = E_2^0 + 0,03 \log\left(\frac{1}{C_{tra}}\right) = 0,65 \text{ V}$ .

Si on retient cette deuxième convention, alors on obtient le diagramme :



10) On juxtapose les diagrammes des questions 8 et 9 :



On s'aperçoit ainsi que  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{I}^-$  ont des domaines de prédominance communs. Par conséquent, ce sont des espèces compatibles ; leur réaction selon  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{I}^- \rightleftharpoons \text{Cu} + \text{I}_2$  est très peu avancée dans des conditions usuelles. Cette réaction ne peut donc convenir pour un titrage.

11) Couple  $\text{Cu}^{2+}/\text{CuI}$  :  $\text{Cu}^{2+} + \text{I}^- + e^- \rightleftharpoons \text{CuI}$

12) On applique la formule de Nernst pour la demi-équation électronique précédente :

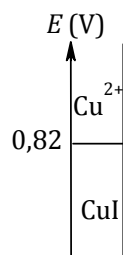
$$E = E_6^0 + 0,06 \log([\text{Cu}^{2+}] \cdot [\text{I}^-]), \text{ valable en présence du précipité.}$$

À la limite d'**existence** du précipité,  $\text{Cu}^{2+}$  atteint la concentration de tracé  $C_{tra}$  et la concentration en  $\text{I}^-$  est prise égale à  $1 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$  comme le suggère l'énoncé.

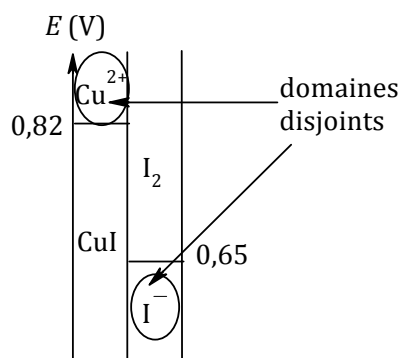
On trouve donc une frontière d'existence à :

$$E_{fr} = E_6^0 + 0,06 \log(C_{tra} \times 1) = 0,82 \text{ V}$$

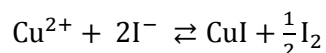
D'où le diagramme demandé :



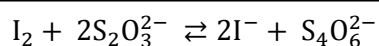
13) En juxtaposant avec le diagramme de l'iode, on constate maintenant que  $\text{Cu}^{2+}$  et  $\text{I}^-$  ont des domaines disjoints :



On prévoit donc une réaction très avancée, d'équation chimique :



14) Équation chimique de titrage du diiode par le thiosulfate :



En écrivant l'unicité du potentiel de Nernst à l'équilibre pour les couples  $\text{I}_2/\text{I}^{-}$  et  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-}/\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$  (demi-équation :  $\text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2e^{-} \rightleftharpoons 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$ ) on trouve :

$$E = E_2^0 + \frac{0,06}{2} \log \left( \frac{[\text{I}_2]}{[\text{I}^{-}]^2} \right) = E_7^0 + \frac{0,06}{2} \log \left( \frac{[\text{S}_4\text{O}_6^{2-}]}{[\text{S}_2\text{O}_3^{2-}]^2} \right)$$

$$E_2^0 - E_7^0 = \frac{0,06}{2} \log K^0$$

$$K^0 = 10^{\frac{2}{0,06} \times (E_2^0 - E_7^0)} = 10^{+18}$$

$K^0 \gg 1$  : Cette réaction semble donc bien extrêmement favorable et convient pour doser le diiode.

15) On réalise un **dosage indirect** :

La quantité d'ions  $\text{Cu}^{2+}$  dans le prélèvement est  $C_0V_0$ .

Cette quantité est convertie par la réaction de la question 13 en une quantité  $\frac{C_0V_0}{2}$  de diiode.

Ce diiode est alors dosé par le thiosulfate selon la réaction de dosage de la question 14. D'après la stœchiométrie de cette réaction, la quantité de thiosulfate à l'équivalence est le double de la quantité à doser de diiode, soit  $CV_E = 2 \times \left( \frac{C_0V_0}{2} \right) = C_0V_0$ .

Finalement, on trouve :

$$C_0 = \frac{CV_E}{V_0} = 0,090 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$$

On peut maintenant calculer la quantité de  $\text{Cu}^{2+}$  dans le prélèvement :  $C_0V_0 = 1,8 \cdot 10^{-3}$  mol. D'après la réaction de la question 13, il fallait donc apporter au minimum  $2 \times 1,8 \cdot 10^{-3} = 3,6 \cdot 10^{-3}$  mol d'ions iodure. Or on en a apporté  $C_1V_1 = 10,0 \cdot 10^{-3}$  mol :

Les ions iodure ont bien été apportés en excès.

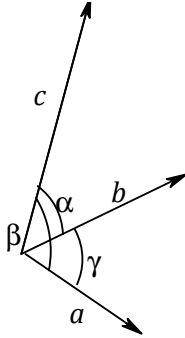
## Deuxième problème : Structure cristalline du fer et de l'acier

### 1 - Fer $\alpha$

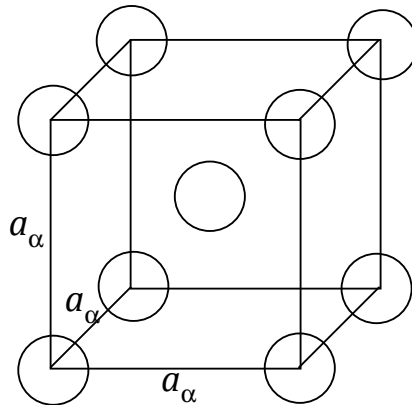
**1\*a.** Une maille élémentaire est une unité de base parallélépipédique à partir de laquelle on peut engendrer tout un cristal (parfait) uniquement par des translations.

La maille élémentaire est construite sur trois vecteurs de base  $\vec{a}, \vec{b}, \vec{c}$ . On peut donc donner pour la caractériser :

- les trois longueurs  $a, b$  et  $c$  ;
- les angles que font les vecteurs entre eux :  $\alpha, \beta$  et  $\gamma$  :



**1\*b** Maille cubique centrée :



**1\*c** La population est de  $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$  atomes par maille.

**1\*d** La compacité est le taux de remplissage de l'espace par les atomes, ceux-ci étant modélisés par des sphères dures indéformables en contact, de rayon  $R_\alpha$ .

Les sphères étant en contact le long de la grande diagonale du cube d'arête  $a_\alpha$ , on a la relation :

$$\frac{a_\alpha \sqrt{3}}{2} = 2R_\alpha$$

D'où la compacité :

$$C_{CC} = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi R_\alpha^3}{a_\alpha^3} = \frac{8\pi R_\alpha^3}{3 \left(\frac{4R_\alpha}{\sqrt{3}}\right)^3}$$

Après simplification, on trouve :

$$C_{CC} = \frac{\pi\sqrt{3}}{8} = 0,680 \text{ (68,0\%)}$$

**1\*e** La masse volumique se retrouve à l'échelle de la maille par :

$$\rho_\alpha = \frac{\text{masse d'une maille}}{\text{volume d'une maille}} = \frac{2 \times M(\text{Fe})}{N_A \times a_\alpha^3}$$

On en déduit le paramètre  $a_\alpha$  :

$$a_\alpha = \sqrt[3]{\frac{2M(\text{Fe})}{N_A \rho_\alpha}} = 286,8 \text{ pm}$$

**1\*f** On applique la relation  $\frac{a_\alpha \sqrt{3}}{2} = 2R_\alpha$  déjà mentionnée précédemment :

$$R_\alpha = \frac{a_\alpha \sqrt{3}}{4} = 124,2 \text{ pm}$$

## 2 - Influence de la température

**2\*a** Le volume massique est simplement l'inverse de la masse volumique.

On reprend donc l'expression utilisée à la question 1\*e :

$$a_{\alpha,20} = \sqrt[3]{\frac{2M(\text{Fe})v_{(\alpha)20}}{N_A}} = 286,8 \text{ pm (on retrouve la valeur précédente) ;}$$

$$a_{\alpha,910} = \sqrt[3]{\frac{2M(\text{Fe})v_{(\alpha)910}}{N_A}} = 290,5 \text{ pm.}$$

Attention aux conversions :  $0,1271 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1} = 0,1271 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \dots$

Le paramètre de maille varie donc entre 286,8 et 290,5 pm entre 20 et 910°C.

**2\*b** On reprend l'expression de la question 1\*f :

$$R_{\alpha,910} = \frac{a_{\alpha,910} \sqrt{3}}{4} = 125,8 \text{ pm}$$

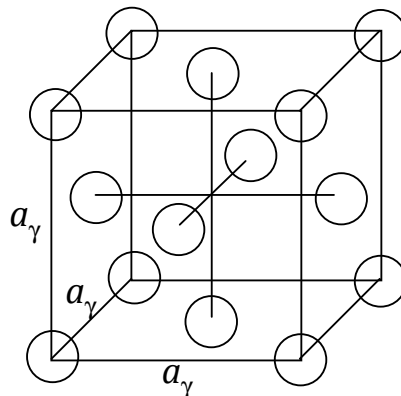
La valeur moyenne du rayon dans l'intervalle précédent est donc de  $R_\alpha = 125,0 \text{ pm}$  et les valeurs ne s'écartent pas plus de 0,6%. On prend donc pour la suite l'approximation  $R_\alpha = 125 \text{ pm}$  en se limitant à ces trois chiffres significatifs.

Le rayon fourni par la suite pour le fer  $\gamma$  se limite également à trois chiffres significatifs  $R_\gamma = 129 \text{ pm}$ .

On donnera donc 3 chiffres significatifs dans tous les résultats ultérieurs du problème.

## 3 - Fer $\gamma$

**3\*a** Maille cubique faces centrées :



**3\*b** La population est de  $8 \times \frac{1}{8} + 6 \times \frac{1}{2} = 4$  atomes par maille.

**3\*c** La compacité est le taux de remplissage de l'espace par les atomes, ceux-ci étant modélisés par des

sphères dures indéformables en contact, de rayon  $R_\gamma$ .

Les sphères étant en contact le long de la diagonale d'une face du cube d'arête  $a_\gamma$ , on a la relation :

$$\frac{a_\gamma\sqrt{2}}{2} = 2R_\gamma$$

D'où la compacité :

$$C_{\text{CFC}} = \frac{4 \times \frac{4}{3}\pi R_\gamma^3}{a_\gamma^3} = \frac{16\pi R_\gamma^3}{3(2\sqrt{2}R_\gamma)^3}$$

Après simplification, on trouve :

$$C_{\text{CFC}} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0,740 \text{ (74,0\%)}$$

**3\*d** On applique la relation  $\frac{a_\gamma\sqrt{2}}{2} = 2R_\gamma$  utilisée précédemment :

$$a_\gamma = 2\sqrt{2}R_\gamma = 365 \text{ pm}$$

**3\*e** Le volume massique se retrouve à l'échelle de la maille par :

$$v_{(\gamma)910} = \frac{\text{volume d'une maille}}{\text{masse d'une maille}} = \frac{a_\gamma^3}{\frac{4M(\text{Fe})}{N_A}} = \frac{4\sqrt{2}R_\gamma^3 N_A}{M(\text{Fe})}$$

Application numérique :

$$v_{(\gamma)910} = 0,131 \text{ cm}^3 \cdot \text{g}^{-1}$$

On constate que la transition allotropique  $\text{Fe}_\alpha \rightarrow \text{Fe}_\gamma$  à  $910^\circ\text{C}$  s'accompagne d'une légère contraction de volume (de l'ordre de 0,8%), l'une des causes étant l'augmentation de la compacité. Paradoxalement, certains interstices du réseau CFC sont pourtant de plus grande taille que les interstices du réseau CC, ce qu'on va étudier dans la suite du problème.

#### 4 – Sites octaédriques

**4\*a** Sur le dessin de la figure 1, le site interstitiel est localisé entre six atomes de fer, qui constituent un **octaèdre** (huit faces)

L'octaèdre **n'est pas régulier**, car son centre, localisé au centre de la face commune aux deux cubes accolés, est situé à la distance  $\frac{a_\alpha\sqrt{2}}{2}$  des quatre sommets de cette face, alors qu'il n'est distant que de  $\frac{a_\alpha}{2}$  des deux centres des cubes.

**4\*b** Le plus gros atome que l'on peut insérer au centre de l'octaèdre entre en contact avec les deux centres des cubes distants de  $a_\alpha$ , ce qui permet d'écrire :

$$a_\alpha = 2R_\alpha + 2R_{M\alpha}$$

Or comme on l'a dit précédemment, la relation de maille CC est :

$$a_\alpha = \frac{4R_\alpha}{\sqrt{3}}$$

On trouve donc :

$$R_{M\alpha} = R_\alpha \left( \frac{2}{\sqrt{3}} - 1 \right) = 19,3 \text{ pm}$$

**4\*c** Dans la maille CFC dessinée au 3\*a, les interstices octaédriques sont **réguliers** et situés :

- au centre du cube, site intégralement contenu dans la maille, les sommets de l'octaèdre étant les six centres de faces du cube ;

- au milieu de chaque arête, dans ce cas seul un quart de l'interstice octaédrique appartient à la maille.

**4\*d** Le plus gros atome que l'on peut insérer au centre du cube de la maille CFC entre en contact avec deux centres de faces opposés distants de  $a_\gamma$ , ce qui permet d'écrire :

$$a_\gamma = 2R_\gamma + 2R_{M\gamma}$$

Or comme on l'a dit précédemment, la relation de maille CFC est :

$$a_\gamma = 2\sqrt{2}R_\gamma$$

On trouve donc :

$$R_{M\gamma} = R_\gamma(\sqrt{2} - 1) = 53,4 \text{ pm}$$

**4\*e** Le rayon de l'atome de carbone étant de  $R_C = 77 \text{ pm}$ , on en conclut que pour les deux variétés allotropiques du fer, les interstices octaédriques sont trop petits pour qu'un atome de carbone puisse s'y insérer. Le carbone devrait donc être insoluble dans le fer  $\alpha$  et dans le fer  $\gamma$ .

Cependant, on sait qu'une petite quantité d'atomes de carbone peuvent s'insérer malgré tout. On peut penser que cela est plus facile dans le fer  $\gamma$  car  $R_{M\gamma} \gg R_{M\alpha}$ . La solubilité du carbone est donc probablement meilleure dans le fer  $\gamma$ .

### 5 - Insertion du carbone

**5\*a** On fait ici l'hypothèse que l'insertion du carbone crée une expansion de la maille élémentaire. Le contact entre les atomes impose donc cette fois un nouveau paramètre de maille  $a'_\alpha$  tel que :

$$a'_\alpha = 2R_\alpha + 2R_C = 404 \text{ pm}$$

Le volume de la maille passe donc de  $V = a_\alpha^3$  (où  $a_\alpha = \frac{4R_\alpha}{\sqrt{3}} = 289 \text{ pm}$ ) à  $V' = a'^3_\alpha$ , soit une extension relative de :

$$\frac{V'-V}{V} = \frac{a'^3_\alpha - a^3_\alpha}{a^3_\alpha} = 1,73 \text{ (173\%)}$$

**5\*b** Ici, l'extension impose la relation :

$$a'_\gamma = 2R_\gamma + 2R_C = 412 \text{ pm}$$

Le volume de la maille passe donc de  $V = a_\gamma^3$  (où  $a_\gamma = 2\sqrt{2}R_\gamma = 365 \text{ pm}$ ) à  $V' = a'^3_\gamma$ , soit une extension relative de :

$$\frac{V'-V}{V} = \frac{a'^3_\gamma - a^3_\gamma}{a^3_\gamma} = 0,44 \text{ (44\%)}$$

**5\*c** On peut faire les remarques suivantes :

- l'extension de volume nécessaire à l'insertion du carbone dans le fer  $\gamma$  est beaucoup plus faible que dans le fer  $\alpha$  : on s'attend donc à ce que le carbone s'insère plus facilement dans le fer  $\gamma$ , c'est-à-dire que sa solubilité y soit supérieure ;

- mais dans tous les cas les extensions de volumes sont considérables ! Il paraît peu probable qu'une extension uniforme de toutes les mailles se produise ainsi, car cela éloignerait beaucoup trop les atomes de fer les uns des autres, ce qui est contradictoire avec la tendance qu'ont les atomes des éléments métalliques de s'empiler avec une haute compacité.

L'insertion de carbone se fait donc plutôt dans un nombre limité de mailles, créant une déformation locale qui se compense sur les mailles voisines, le paramètre de maille étant ainsi globalement peu modifié.

**5\*d** Soit  $n$  le nombre d'atomes de carbone par maille. On peut exprimer le taux massique  $x = 0,0133$  de carbone comme la masse de carbone contenue dans une mole de mailles par rapport à la masse

totale d'une mole de mailles et obtenir ainsi la relation :

$$x = \frac{n \times M(\text{C})}{n \times M(\text{C}) + 4 \times M(\text{Fe})}$$

On en déduit :

$$n = \frac{4xM(\text{Fe})}{(1-x)M(\text{C})} = 0,25 \text{ atomes de carbone par maille}$$

Autrement dit, il y a un atome de carbone inséré dans une maille sur 4 seulement.

**5\*e** Si on persiste dans l'hypothèse de l'extension de volume, c'est-à-dire  $a'_\gamma = 412 \text{ pm}$ , alors on trouve une masse volumique :

$$\rho = \frac{4M(\text{Fe}) + 0,25M(\text{C})}{N_A a'^3_\gamma} = 5,4 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Cette valeur est beaucoup plus faible que celle du fer pur donnée en début d'énoncé, ce qui paraît incohérent : l'acier n'est pas connu pour être un alliage de faible densité !

Si on admet maintenant que le paramètre de maille  $a_\gamma = 365 \text{ pm}$  est peu modifié par l'insertion de carbone, alors on trouve plutôt :

$$\rho = \frac{4M(\text{Fe}) + 0,25M(\text{C})}{N_A a^3_\gamma} = 7,7 \cdot 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Cette valeur semble beaucoup plus plausible.