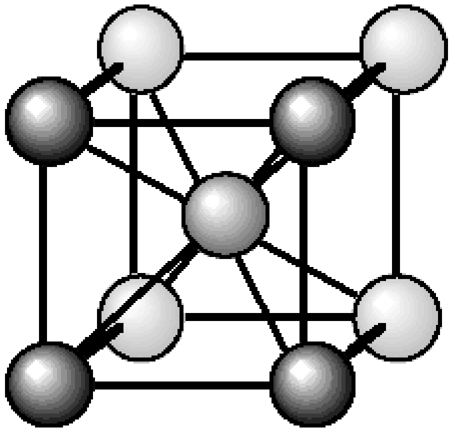
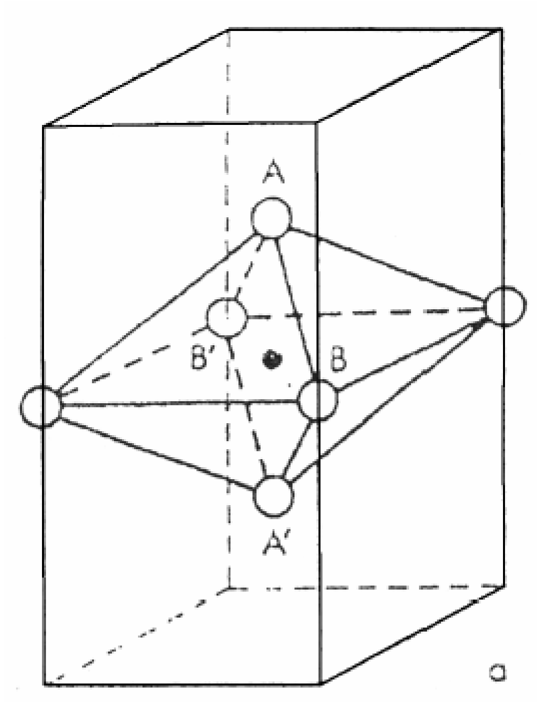
Corrigé exercice 3

FER ET ACIERS

1) Maille cubique centrée :



Le centre d'une face est situé à une distance $\frac{a}{2}$ de deux centres de cubes (A et A'), et $\frac{a\sqrt{2}}{2}$ de quatre sommets de cube (B et B'). Il s'agit donc d'interstices octaédriques déformés (non réguliers) :



La situation est exactement la même au milieu d'une arête puisque ce point est situé à la distance $\frac{a}{2}$ de deux sommets de cubes et $\frac{a\sqrt{2}}{2}$ des centres des quatre cubes qui ont cette arête en commun.

2) Les interstices aux centres des faces sont au nombre de $6 \times \frac{1}{2} = 3$ et ceux aux milieux des arêtes au nombre de $12 \times \frac{1}{4} = 3$. Il y a donc 6 sites octaédriques par maille pour une population de $8 \times \frac{1}{8} + 1 = 2$ atomes de fer. Si tous les sites octaédriques étaient occupés, la formule serait donc :

$$\boxed{FeC_3}$$

3) On calcule tout d'abord le paramètre a de la maille cubique centrée, sachant que les atomes de fer sont en tangence le long de la grande diagonale du cube : $\frac{a\sqrt{3}}{2} = 2R_1$. Donc :

$$a = \frac{4R_1}{\sqrt{3}} = 286 \text{ pm}$$

Pour un atome de carbone inséré au milieu d'une arête, la tangence fer-carbone s'obtiendrait le long de l'arête. On aurait alors :

$$R_1 + R' = \frac{a}{2}$$

On en déduit :

$$R' = \frac{a}{2} - R_1 = R_1\left(\frac{2}{\sqrt{3}} - 1\right) = 19 \text{ pm}$$

$\boxed{\text{La taille du site octaédrique non régulier est } R' = 19 \text{ pm.}}$

La compacité serait alors :

$$\gamma = \frac{2 \times \frac{4}{3}\pi R_1^3 + 6 \times \frac{4}{3} \times \pi R'^3}{a^3} = 0{,}690$$

$\boxed{\gamma = 69{,}0\ \%}$

Les atomes insérés seraient si petits qu'ils ne modifieraient qu'à peine la compacité (un réseau cubique centré a une compacité de 68,0%).

4) Les atomes de carbone ont un rayon bien trop gros pour pouvoir s'insérer sans déformation. On en déduit que le carbone est très peu soluble dans le fer α. Si néanmoins un atome s'insère, il déforme le site en écartant les atomes de fer.
L'énoncé précise que, pour ne pas modifier la géométrie générale du réseau, il faut conserver la compacité calculée pour X. Le volume réellement occupé par les atomes de carbone doit être donc égal au volume des atomes hypothétiques du c), soit :

$$6 \times \frac{4}{3} \times \pi R'^3 = n \times \frac{4}{3}\pi R^3$$

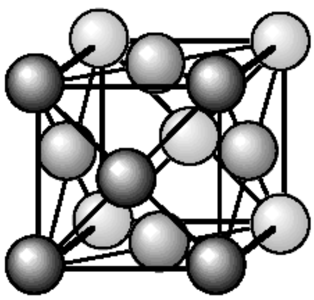
…où n est la population maximale en atomes de carbone.

$$n = 6\left(\frac{R'}{R}\right)^3 = 0{,}090 \text{ atomes de carbone par maille.}$$

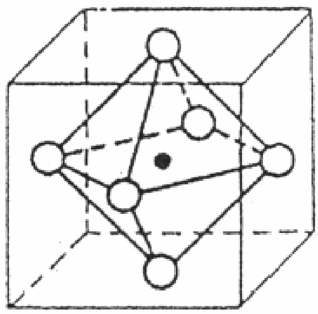
À peine une maille sur dix peut accepter un atome de carbone. Comme il y a deux atomes de fer par maille, $x = 0{,}045$. La solution solide a pour composition limite :

$\boxed{FeC_{0,045}}$

5) Maille cubique à faces centrées :



Sites octaédriques : au centre du cube et au milieu de chacune des arêtes (partagés par quatre mailles), soit $1 + 12 \times \frac{1}{4} = 4$ en tout.



● Site interstitiel

○ Atome du métal C.F.C.

Maille CFC; site interstitiel octaédrique.

On commence par calculer le paramètre b de la maille CFC. La tangence entre les atomes de fer se faisant sur la diagonale d'une face, on a : $\frac{b\sqrt{2}}{2} = 2R_2$. Donc :

$$b = 2\sqrt{2}R_2 = 359 \text{ pm}$$

Taille du site : la tangence entre l'atome de carbone théorique inséré, de rayon R' et les atomes de fer de l'interstice se faisant le long d'une arête (ou du segment entre deux centres de face opposés), $R_2 + R' = \frac{b}{2}$, dont on tire :

$$R' = \frac{b}{2} - R_2 = \left(\sqrt{2} - 1\right)R_2 = 52{,}6 \text{ pm}$$

On ne peut donc introduire sans déformation qu'un atome de rayon

$$\boxed{R' = 52{,}6 \text{ pm}}$$

Ce rayon est encore trop petit pour pouvoir accepter un atome de carbone, de rayon 77 pm. Cependant, par rapport aux 19 pm du fer α, on voit qu'il y a beaucoup plus de place : la déformation du site suite à l'insertion de carbone sera beaucoup moins importante que pour le fer α. On peut donc prévoir que le carbone est plus soluble dans le fer γ que dans le fer α.

6) On peut calculer la composition limite avec la même hypothèse qu'au 2), et on obtient alors qu'on pourrait insérer n atomes de carbone par maille, avec :

$$4 \times \frac{4}{3}\pi R'^3 = n \times \frac{4}{3}\pi R^3$$

$$n = 4 \times \left(\frac{R'}{R}\right)^3 = 1{,}27 \text{ atomes de carbone par maille.}$$

Comme il y a quatre atomes de fer par maille, la composition limite serait :

$$\boxed{FeC_{0,317}}$$

Le fer est alors bien plus riche en carbone que dans le cas du fer α.