

Chapitre 3 – Architecture atomique

EXERCICE 3-11

Pour répondre aux questions de cet exercice, il est bon de se référer aux figures 3.11, 3.14, 3.17 et 3.18 du livre *Des Matériaux*.

a) Indices des directions de plus forte densité atomique :

En considérant la figure 3.17 du livre *Des Matériaux*, on constate que les directions de plus grande densité atomique sont les directions sur lesquelles les atomes de fer se touchent, c'est-à-dire les diagonales des faces de la maille CFC et les grandes diagonales du cube de la maille CC. Puisque dans chacune de ces mailles, ces directions ont le même vecteur période, elles constituent donc une famille de directions dont les indices sont les suivants :

Austénite (CFC)	Ferrite (CC)
$\langle 110 \rangle$	$\langle 111 \rangle$

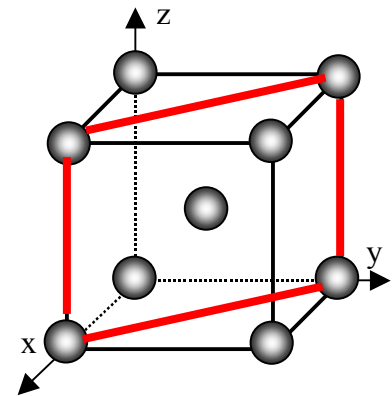
b) Indices de Miller des plans de plus forte densité atomique:

Cas de la ferrite (CC) :

Les plans de plus grande densité atomique sont les plans passant par deux arêtes diagonalement opposées et par l'atome du centre (figure ci-contre)

Comme tous les plans de ce type ont même densité atomique dans le réseau CC, les indices de Miller de cette famille de plans sont les suivants

Ferrite (CC)
$\{110\}$

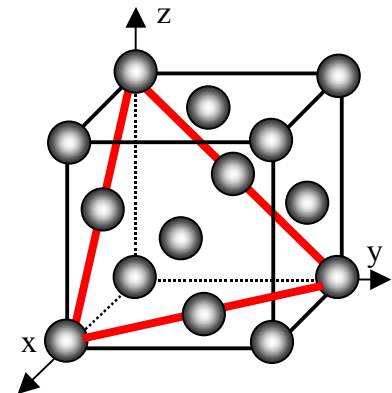


Cas de l'austénite (CFC) :

Les plans de plus grande densité atomique sont les plans passant par trois diagonales des faces . (voir fig. 3.14, 3.18 et figure ci-contre)

Comme tous les plans de ce type ont même densité atomique dans le réseau CFC, les indices de Miller de cette famille de plans sont les suivants

Austénite (CFC)
$\{111\}$

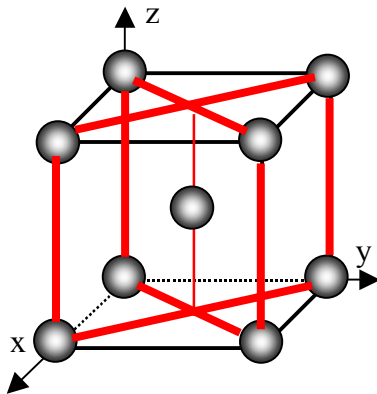


c) Plans spécifiques contenus dans la famille de plans de plus forte densité atomique:

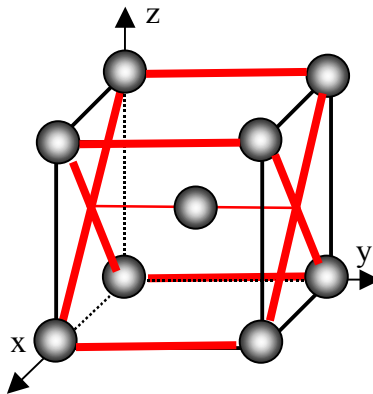
Cas de la ferrite (CC) :

On remarque que les plans de plus grande densité atomique sont les plans parallèles à l'un des axes x , y ou z de la maille. Il y a donc **six** plans spécifiques appartenant à la famille $\{110\}$.

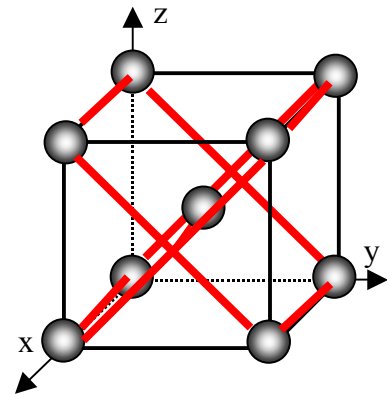
Les indices de Miller des ces six plans spécifiques sont donnés au dessous de chacune des mailles concernées :



(110) et $(\bar{1}\bar{1}0)$



(101) et $(\bar{1}\bar{1}01)$



(011) et $(0\bar{1}\bar{1})$

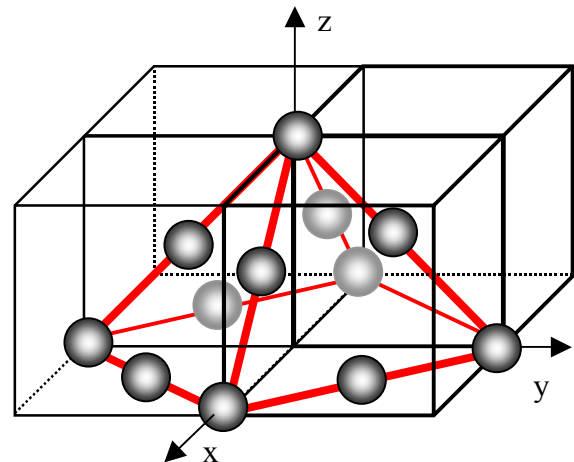
Remarque : tout autre plan P' , qui aurait pour indices 1, 1 et 0 mais de signe opposé aux indices d'un des six plans spécifiques identifiés ci-dessus, sera parallèle à un des six plans ci-dessus, donc identique, par exemple : $(\bar{1}\bar{1}0)$ est parallèle au plan (110) .

Cas de l'austénite (CFC) :

On remarque que les plans de plus grande densité atomique sont les plans diagonaux du cube, chacun coupant les axes x , y ou z de la maille en 1 ou -1. Il y a donc **quatre** plans spécifiques appartenant à la famille $\{111\}$ dans l'austénite.

La position des ces quatre plans spécifiques dans la maille CFC est donnés ci-contre. Seuls les atomes (sommets ou centres des faces de la maille CFC) qui sont situés sur ces plans sont représentés afin d'alléger la figure. Les indices de Miller de ces quatre plans spécifiques sont :

(111) $(\bar{1}\bar{1}1)$ $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ $(\bar{1}11)$



Remarque : tout autre plan P' , qui aurait pour indices 1, 1 et 1 mais de signe opposé aux indices d'un des quatre plans spécifiques identifiés ci-dessus, sera parallèle à un des quatre plans ci-dessus, donc identique, par exemple : $(\bar{1}\bar{1}\bar{1})$ est parallèle au plan (111) .

d) Paramètre a de la ferrite et de l'austénite:Cas de la ferrite (CC) :

On remarque que les atomes de fer se touchent selon les directions $\langle 111 \rangle$ qui sont les grandes diagonales du cube (voir fig. 3.17b du livre *Des Matériaux*). On peut donc écrire l'égalité suivante dont on tire la valeur du paramètre a_{CC} en fonction du diamètre d ($= 0,251$ nm) des atomes de fer :

$$a\sqrt{3} = 2d \quad \text{donc} \quad a = \frac{2d}{\sqrt{3}}$$

$$a_{CC} = 0,2898 \text{ nm}$$

Cas de l'austénite (CFC) :

On remarque que les atomes de fer se touchent selon les directions $\langle 110 \rangle$ qui sont les diagonales des faces du cube (voir fig. 3.17a du livre *Des Matériaux*). On peut donc écrire l'égalité suivante dont on tire la valeur du paramètre a_{CFC} en fonction du diamètre d ($= 0,251$ nm) des atomes de fer :

$$a\sqrt{2} = 2d \quad \text{donc} \quad a = d\sqrt{2}$$

$$a_{CFC} = 0,3550 \text{ nm}$$

e) Masse volumique ρ de la ferrite et de l'austénite:Cas de la ferrite (CC) :

La maille CC de la ferrite possède deux (2) atomes en propre ($1 + 8 \times 1/8$). En rappelant que la masse volumique théorique est égale au rapport de la masse des atomes en propre au volume de la maille, on obtient :

$$\rho_{CC} = \frac{\text{Masse des atomes en propre}}{\text{Volume de la maille}} = \frac{2 \times 55,85 \text{ g/mole}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1} \times (2,898 \times 10^{-8} \text{ cm})^3}$$

$$\rho_{CC} = 7,621 \text{ g/cm}^3$$

Cas de l'austénite (CFC) :

La maille CFC de l'austénite possède quatre (4) atomes en propre ($6 \times 1/2 + 8 \times 1/8$). En rappelant que la masse volumique théorique est égale au rapport de la masse des atomes en propre au volume de la maille, on obtient :

$$\rho_{CFC} = \frac{\text{Masse des atomes en propre}}{\text{Volume de la maille}} = \frac{4 \times 55,85 \text{ g/mole}}{6,022 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1} \times (3,55 \times 10^{-8} \text{ cm})^3}$$

$$\rho_{CFC} = 8,292 \text{ g/cm}^3$$

f) Phénomène quand l'austénite se transforme en ferrite:

Considérons une masse M représentant un certain nombre d'atomes de fer. À 911°C, cette masse de fer est constituée d'austénite CFC et occupe un volume V_{CFC} tel que :

$$V_{CFC} = \frac{M}{\rho_{CFC}} \quad (1)$$

Quand elle est à 909 °C, cette même masse M est constituée de ferrite CC et occupe un volume V_{CC} tel que :

$$V_{CC} = \frac{M}{\rho_{CC}} \quad (2)$$

Comme les masses volumiques ρ_{CFC} et ρ_{CC} ne sont pas égales (l'austénite CFC étant plus compacte que la ferrite CC), **cette même masse M subit une augmentation de volume au cours de la transformation « austénite → ferrite ».**

En tenant compte des équations (1) et (2) ci-dessus, la variation relative $\Delta V/V$ de volume est donnée par l'équation suivante :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{V_{CC} - V_{CFC}}{V_{CFC}} = \frac{\frac{M}{\rho_{CC}} - \frac{M}{\rho_{CFC}}}{\frac{M}{\rho_{CFC}}} = \frac{\rho_{CFC} - \rho_{CC}}{\rho_{CC}} \quad (3)$$

Soit :

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\rho_{CFC} - \rho_{CC}}{\rho_{CC}} = \frac{8,292 - 7,621}{7,621} = 8,02 \times 10^{-2} \cong 8\%$$

Augmentation de volume ; $\Delta V/V = 8\%$

g) Longueur d'une tige après la transformation « austénite → ferrite » :

Puisque la masse de la tige ne change pas au cours de la transformation, la tige aura un volume plus élevé lorsqu'elle se sera transformée en ferrite. Puisque l'on suppose que ce changement de volume se manifeste essentiellement sur la longueur l_0 de la tige (la variation de diamètre – donc de section – étant négligeable), la variation relative $\Delta l/l_0$ de longueur sera égale à la variation de volume $\Delta V/V_0$. La longueur l de la tige après transformation est donc égale à :

$$l = l_0 (1 + \Delta l/l_0) = l_0 (1 + \Delta V/V_0) = 100(1 + 0,08) \text{ cm} = 108 \text{ cm}$$

$l = 108 \text{ cm}$