

# STRUCTURE CRISTALLINE DES MÉTAUX ET ALLIAGES

## I. Définition

### 1-1 Métal pur :

Un métal pur est un métal exempt de toute impureté c'est-à-dire contenant une pureté de 100% d'une seule espèce. Cela n'existe pas mais il peut atteindre une pureté de 99,9% pour le Nickel, 99,99% pour le cuivre, 99,998% pour l'aluminium.

### 1-2 Alliage :

Un alliage est un métal pur dans le quel on a introduit volontairement un ou plusieurs éléments d'addition pour allier certaines propriétés mécaniques. Il peut être binaire, ternaire ou quaternaire selon qu'il renferme deux, trois ou quatre éléments d'addition.

#### 1-2-1 Composition chimique des alliages

Dans un alliage la proportion de chaque élément est définie par son titre (on l'appelle aussi teneur ou fraction massique).

Le titre est le rapport de la masse de l'élément sur la masse de l'alliage.

$$\text{Titre de l'élément} = \frac{\text{Masse de l'élément}}{\text{Masse de l'alliage}}$$

### NB :

Le titre est toujours inférieur à 1 et on l'exprime souvent en pourcentage.

La fraction molaire est le rapport entre le nombre de mole de l'élément sur le nombre de mole de l'alliage.

$$\text{Fraction molaire} = \frac{\text{Nbre de mole de l'élément}}{\text{Nbre de mole de l'alliage}}$$

### APPLICATION :

Déterminer le titre, puis la fraction molaire du carbone contenu dans la cémentite Fe<sub>3</sub>C.

Masse atomique fer =56g

Masse atomique carbone=12g

$$\text{Titre carbone} = \frac{\text{Masse carbone}}{\text{Masse cimentite}} = \frac{12}{(56 \times 3) + 12} = \frac{1}{15} = 0,0667$$

Soit 6,67% de carbone.

$$\text{Fraction molaire} = \frac{\text{Nbre de mole carbone}}{\text{Nbre de mole de cimentite}} = \frac{1}{3+1} = \frac{1}{4} = 0,25$$

## II - ATOMES ET IONS METALLIQUES

### 2-1 Définition de l'ATOME :

L'atome est la plus petite quantité de matière qui présente les caractéristiques individuelles d'un corps simple.

**2-2 Constituants de l'atome :** un atome est constitué d'un noyau au tour duquel gravitent des électrons.

#### 2-2-1 Le noyau :

Il est essentiellement formé de deux particules :

- Le proton : Il a une masse  $m_p$  de  $1,67 \cdot 10^{-27}$  Kg et une charge électrique positive de  $1,6 \cdot 10^{-19}$  C
- Le neutron : la masse d'un neutron est également supérieur à celle du proton. Il ne porte pas de charge électrique.

**2-2-2 L'électron :** chaque électron porte une charge électrique négative de même valeur absolue que celle du proton. Il est plus de mille fois moins lourd que le proton.

Sa masse est :  $M = m_p / 1840 = 1,67 \cdot 10^{-27} / 1840 = 0,91 \cdot 10^{-30}$  Kg

#### 2-3 Charge et masse d'un atome :

**2-3-1 Charge :** Dans un atome, le nombre d'électrons est égal au nombre de protons (Z). Il en résulte que la charge électrique totale d'un atome est nulle. Z est appelé nombre atomique ou numéro atomique. Il correspond au nombre d'électrons ou de protons.

**2-3-2 Masse :** La masse d'un atome est concentré dans le noyau. Son volume est très réduit et sa masse volumique très grande.

#### Remarque :

- une mole d'atome est une quantité arbitraire contenant  $N = 6,02 \cdot 10^{23}$  atomes réels. N est appelé nombre d'Avogadro

- La masse en gramme d'une mole d'atomes est appelée masse atomique et elle est désignée par la lettre A.

La masse d'un atome est le rapport qui existe entre la masse atomique et le nombre d'Avogadro.

$$m = A / N$$

**2-3-3 Couches électroniques** : Suivant leurs énergies, les électrons se répartissent au tour du noyau sur des couches électroniques repérées K, L, M, N.....et au fur et à mesure que l'on s'éloigne du noyau.

#### **2-4 Ions métalliques (ou cations)**

Les électrons chargés négativement sont attirés par le noyau chargé positivement.

On peut concevoir en toute logique que les électrons de la couche périphérique de l'atome ne subissent pratiquement aucune attraction. Il en résulte que l'atome ayant perdu 1, 2, 3... n électrons, présente un excès 1, 2, 3 n charges positives : il n'est plus électriquement neutre. Il s'est ainsi transformé en ion électropositif ou cation de valence=1, 2, 3 .....n.

Ceux sont ces ions qui existent dans les métaux : **ions métalliques**.

### **III - STRUCTURE DES METAUX ET ALLIAGES**

L'observation des métaux et alliages montre que ceux-ci ont une organisation interne appelée structure. L'utilisation de certaines méthodes d'investigation nous permet de connaître les détails de la structure. Suivant le mode d'observation on peut distinguer :

-  la structure macrographique ou macrostructure
-  la structure micrographique ou microstructure
-  la structure cristalline

#### **3-1 Structure macrographique**

L'examen macrographique utilise l'œil ou la loupe et met généralement en exergue :

- la grosseur et la forme des grains
- les traitements mécaniques tels que le laminage et le forgeage
- la structure dendrites
- la répartition des inclusions ou des cavités

En plus de la macrographie, il existe la macro fractologie qui consiste à faire l'analyse morphologique des pièces à partir de leur cassure en vue de déterminer la cause de celle-ci.

### 3-2 La structure micrographique

En examinant au microscope un acier poli attaqué par un réactif convenable, on voit qu'il est constitué de nombreux grains serrés les uns contre les autres et variables.

La micrographie permet de contrôler les traitements chimiques ou mécaniques subis par un acier.

Les constituants micrographiques peuvent être :

- des corps purs
- des mélanges homogènes (solution solide)
- des mélanges hétérogènes

### 3-3 La structure cristalline des métaux

L'utilisation des rayons x ou y, qui ont la possibilité de pénétrer dans les métaux et même de les traverser sous une épaisseur de plusieurs centimètres, a permis d'établir que les grains sont formés de matières cristallisées appelées ions.

Ceux-ci sont régulièrement disposés sous forme d'un réseau cristallin.

#### 3 3-1 structures cristallines des métaux purs

Les métaux sont des **solides cristallisés** constitués de mailles élémentaires qui sont des regroupements ordonnés d'atomes. C'est la répétition de ces mailles dans les trois directions qui compose la matière. Dans un métal pur les centres des ions coïncident avec les sommets des mailles, mais de plus certains ions peuvent être situés à l'intérieur des mailles dans des positions bien déterminées. La plus part des métaux purs cristallise dans l'un des trois systèmes suivant.

- **Structure cubique centré (C.C) :**

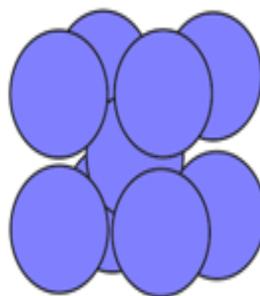
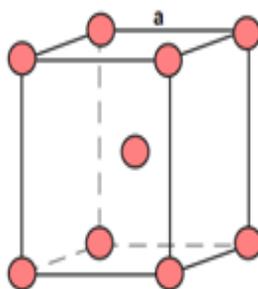


Figure I - 1 : Représentations schématiques du réseau cubique centré

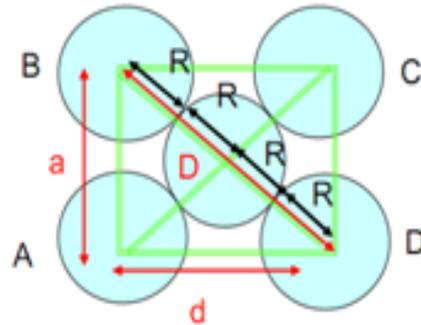
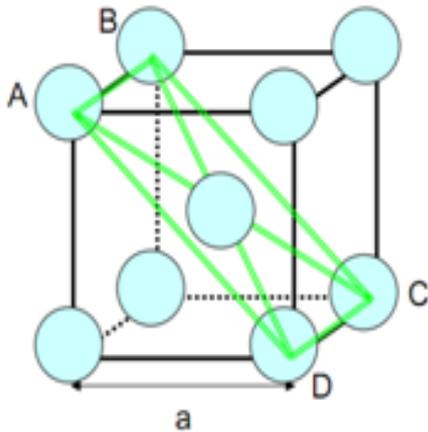
La maille du réseau est cubique. Les atomes sont disposés à chaque sommet et au centre du cube. En réalité, chaque ion occupant un sommet appartient à huit cubes (mailles). C'est le cas du Fer  $\alpha$ , du Chrome, du tungstène.

Paramètre de la maille :  $a$  est l'arête du cube

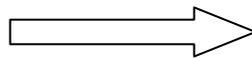
$R$  = rayon de l'atome

Nombre d'atomes par maille =  $8 \times 1/8 + 1 = 2$

## Relation entre a et R

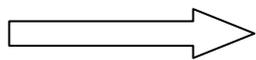


**d** : diagonale de la face du cube



$$d = a\sqrt{2}$$

**D** : diagonale du cube



$$D^2 = a^2 + d^2 = a^2 + 2a^2 = 3a^2$$

$$D = a\sqrt{3}$$

$$D = 4R$$

$$4R = a\sqrt{3}$$

### Compacité ou coefficient d'empilement :

C'est le rapport du volume occupé par les atomes de la maille au volume de la maille.

**Volume occupé par tous les atomes**

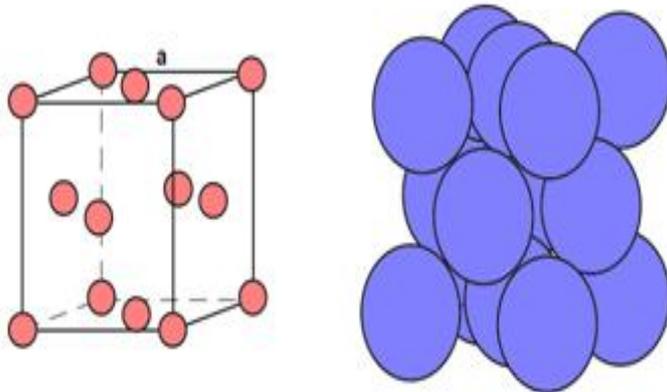
**C =** -----

**Volume de la maille**

Masse volumique :

$$\rho = \frac{N \times M}{N_a \times a^3}$$

➤ Structure cubique à face centré (C.F.C) :



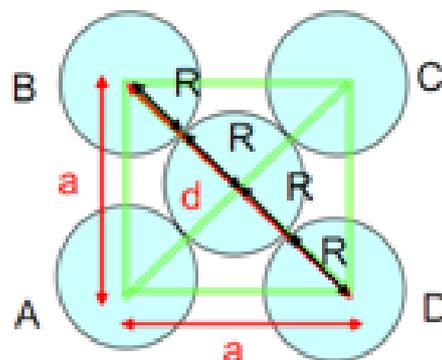
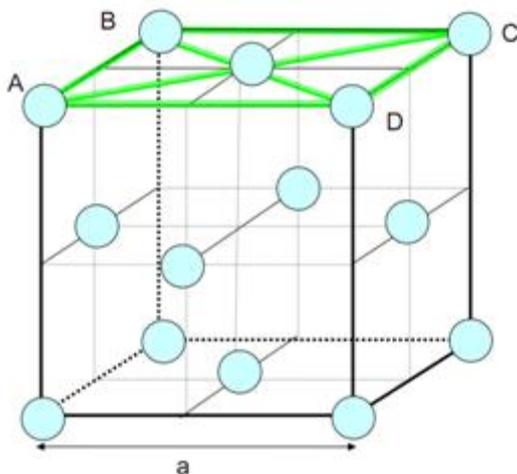
La maille du réseau est cubique. Les atomes sont disposés à chaque sommet et au centre de chaque face cube. C'est le cas : Ag, Al, Au, Cu, Ni et Fe y

Figure 1 - 2 : Représentations schématiques du réseau cubique faces centrées

- Chaque atome au sommet appartient à huit cubes (mailles)
- Chaque atome au centre d'une face appartient à deux cubes (mailles)

Le nombre d'atome par maille =  $8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$

Relation entre a et R



Plan de compacité sur la petite diagonale.

On a :  $d^2 = 2a^2 = 4R$  alors

$$4R = a\sqrt{2}$$

Compacité ou coefficient d'empilement :

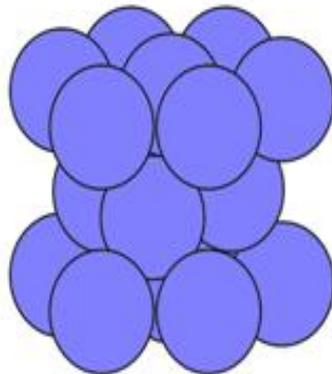
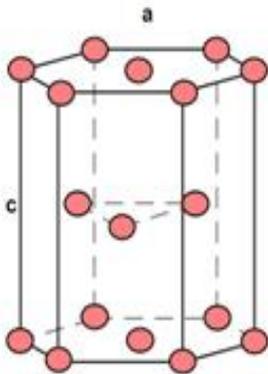
$$C = \frac{\text{Volume occupé par tous les atomes}}{\text{Volume de la maille}}$$

Exemple :  $CE=0,74$  soit 74% ce qui correspond à la compacité maximale

Masse volumique :

$$\rho = \frac{N \times M}{N_a \times a^3}$$

➤ Structure hexagonale compacte :



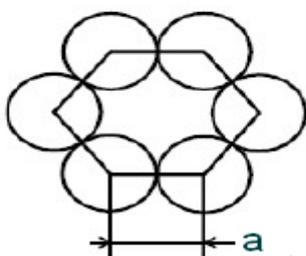
La maille est un prisme droit ayant pour base un hexagone régulier.

La maille est occupée par 6 ions :

- 3 à l'intérieur dans le plan médian
- 2 au centre des bases appartenant chacun à 2 mailles
- 12 sur les sommets

Figure I - 3 : Représentations schématiques du réseau hexagonal compact

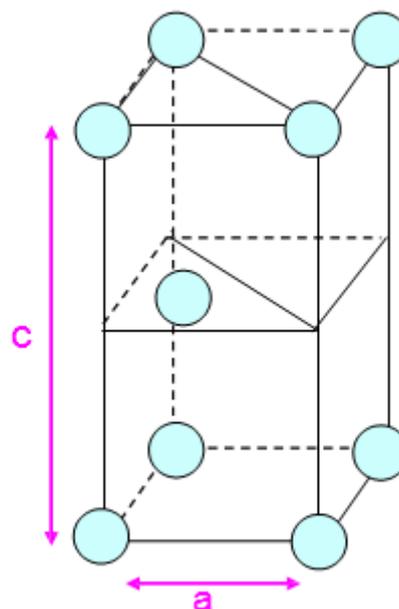
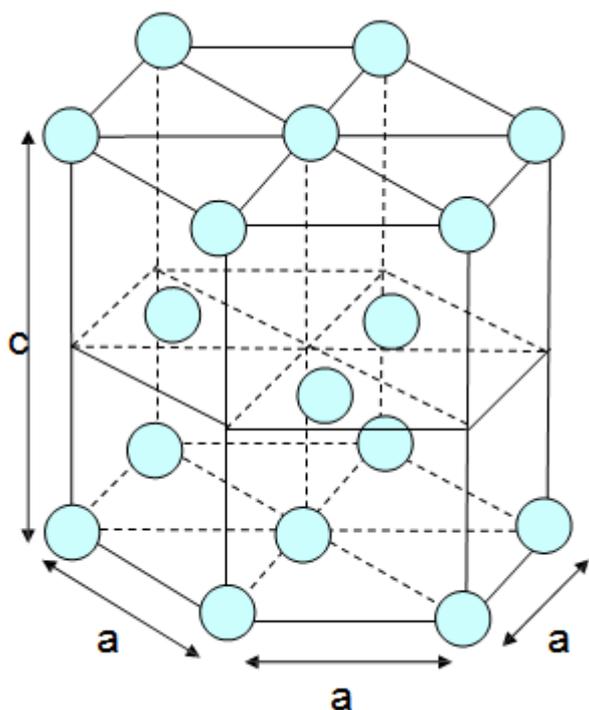
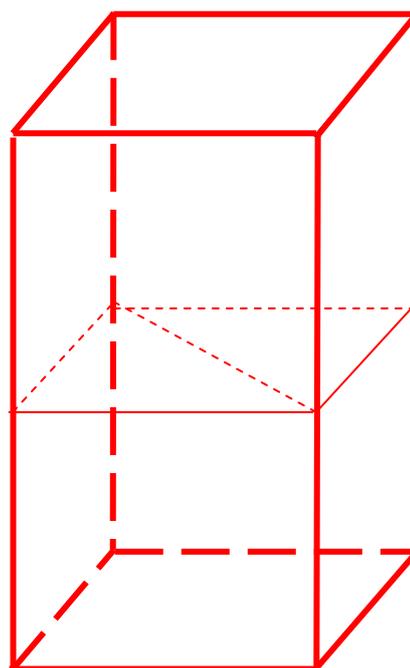
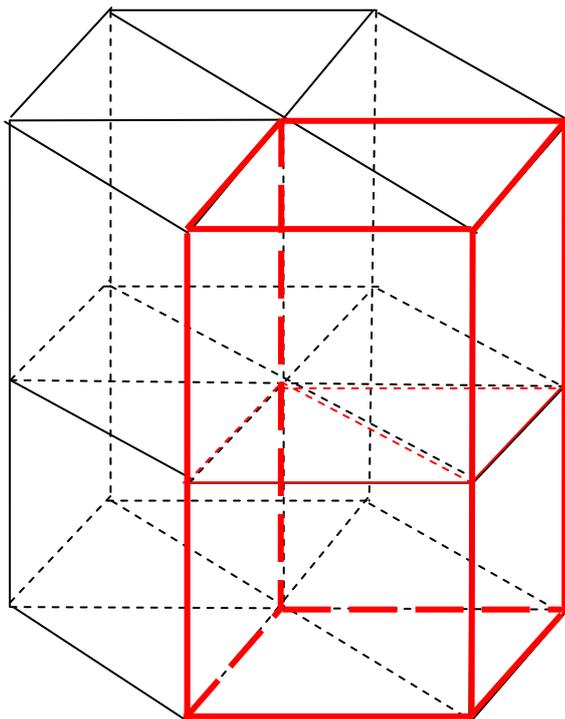
Relation entre a et R



$$a = 2R$$

Maille : Prisme droit à base hexagonale ou

Prisme droit a base losange 1/3 de la maille



Nombre d'atomes par maille hexagonale ou Nombre d'atomes par prise droit à base losange

1 atome à chaque sommet :  $12 \times 1/6$

1 atome à chaque sommet :  $8 \times 1/8$

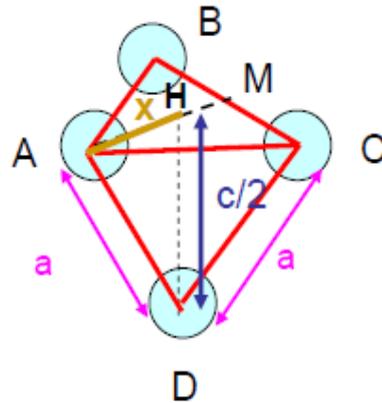
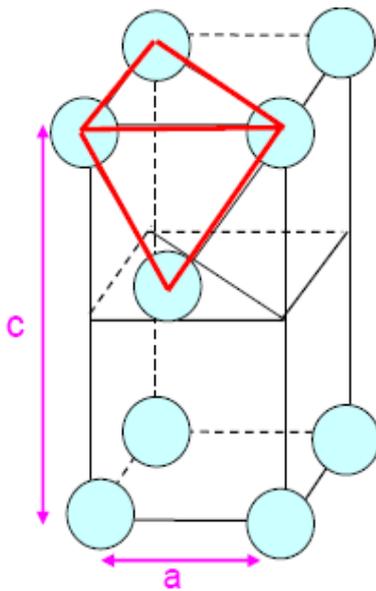
1 atome au centre des 2 bases :  $2 \times 1/2$

1 atome à  $c/2$  :  $1$

3 atomes à  $c/2$  :  $3 \times 1$

**6 atomes /maille**

**2 atomes /maille**



Relation entre a et c

$a = 2R$

$c = f(a)?$

Soit M: milieu de l'arête BC

Triangle AMC rectangle en M

$AM^2 + MC^2 = AC^2$

$AM^2 + (a/2)^2 = a^2$

$AM^2 = a^2 - a^2/4 = \frac{3}{4}a^2$

Projection de D sur le plan ABC: point H

$HD = c/2$

Propriété du projeté:  $AH = 2/3 AM$

$AH = 2/3 a \sqrt{3/4} = 1/\sqrt{3} a = x$

Triangle AHD rectangle en H

$AH^2 + HD^2 = AD^2$

$x^2 + (c/2)^2 = a^2 \quad a^2/3 + c^2/4 = a^2$

$c^2/4 = 2/3 a^2 \quad c^2 = 8/3 a^2$

$c = 2\sqrt{\frac{2}{3}}a$

soit  $c = 4R\sqrt{\frac{2}{3}}$

Volume de la maille élémentaire

$V = a \times AM \times c = a \times a\sqrt{\frac{3}{2}} \times 2\sqrt{\frac{2}{3}}a$

soit

$V = \sqrt{2} a^3$

**Compacité ou coefficient d'empilement :**

C'est le rapport du volume occupé par les atomes de la maille au volume de la maille.

**Volume occupé par tous les atomes**

$C = \frac{\text{Volume occupé par tous les atomes}}{\text{Volume de la maille}}$

Exemple :

$C = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi R^3}{\sqrt{2} a^3} = 0,74 = 74\%$

Masse volumique :

$\rho = \frac{N \times M}{N_a \times a^3}$

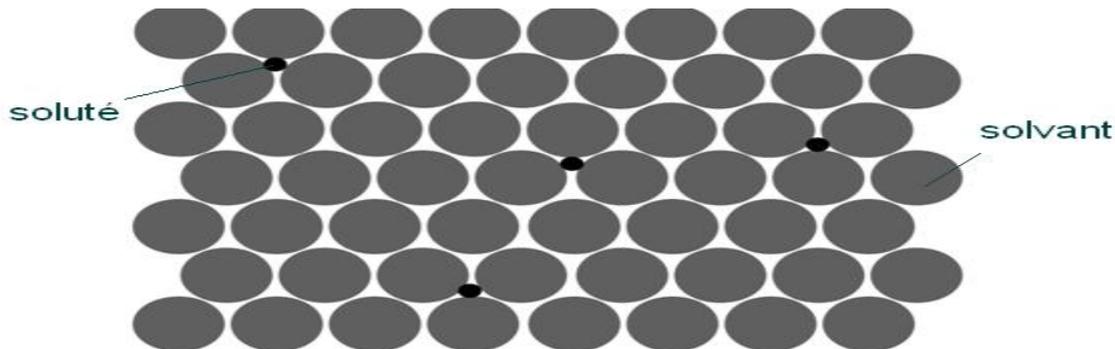
### 3-4 Structure cristalline des alliages

Si nous considérons des alliages binaires formés de deux corps A et B, A étant le solvant et B le soluté. Il existe deux types de solutions solides.

#### 3-4-1 Solution solide d'insertion

Le faible diamètre de l'ion du soluté permet son insertion dans les interstices du réseau atomique.

Exemple d'insertion : le Carbone dans le Fer (voir diagramme d'équilibre FeC)



#### 3-4-2 Solution solide de substitution

Les solutions solides de substitution sont obtenues par remplacement des atomes du solvant par ceux du soluté. Il existe aussi des combinaisons intermétalliques du type  $A_xB_y$  où x et y sont des nombre entiers.

Exemple :  $Fe_3C$  ;  $Cu^2Mg$ .

