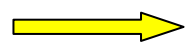


# LA STRUCTURE CRISTALLINE

## A - GENERALITES

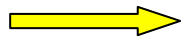
Plutôt que de distinguer les états solide, liquide et gazeux, il convient d'opposer les états **ORDONNES** et **NON ORDONNES**

États **NON ORDONNES** : Particules constituantes réparties **au hasard**



Les gaz et la plupart des liquides et certains solides

Etats **ORDONNES** : Particules constituantes réparties **régulièrement**



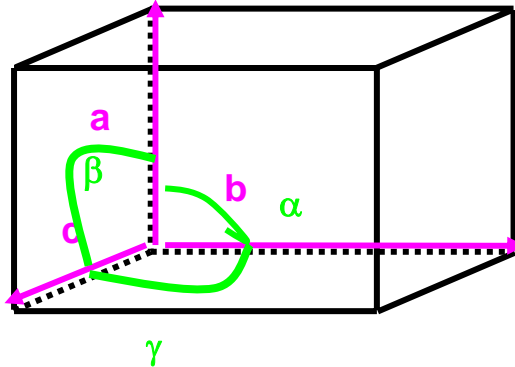
**Solides cristallisés**

**Cristallographie** : Description géométrique de la disposition dans l'espace des éléments (atomes, ions ou molécules) étant considérés comme constituant un cristal.

Ces éléments sont des particules sphériques.

**Maille élémentaire** : Plus petit édifice d'atomes permettant de reconstituer le cristal par répétition périodique du motif dans les trois directions de l'espace.

L'ensemble des mailles superposées constitue le **réseau cristallin**



La maille peut être décrite par:

- les longueurs des arêtes a, b, c ;
- les angles  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  ;
- la nature, le nombre et les positions des atomes formant cet édifice.

**7 systèmes cristallins** ↔ **14 réseaux de Bravais**

Les particules constituantes peuvent être:

DES ATOMES

Les cristaux métalliques

Les cristaux covalents

DES IONS

Les cristaux ioniques

DES MOLECULES

Les cristaux moléculaires

# LES CRISTAUX METALLIQUES

Formés d'**ATOMES** de métal

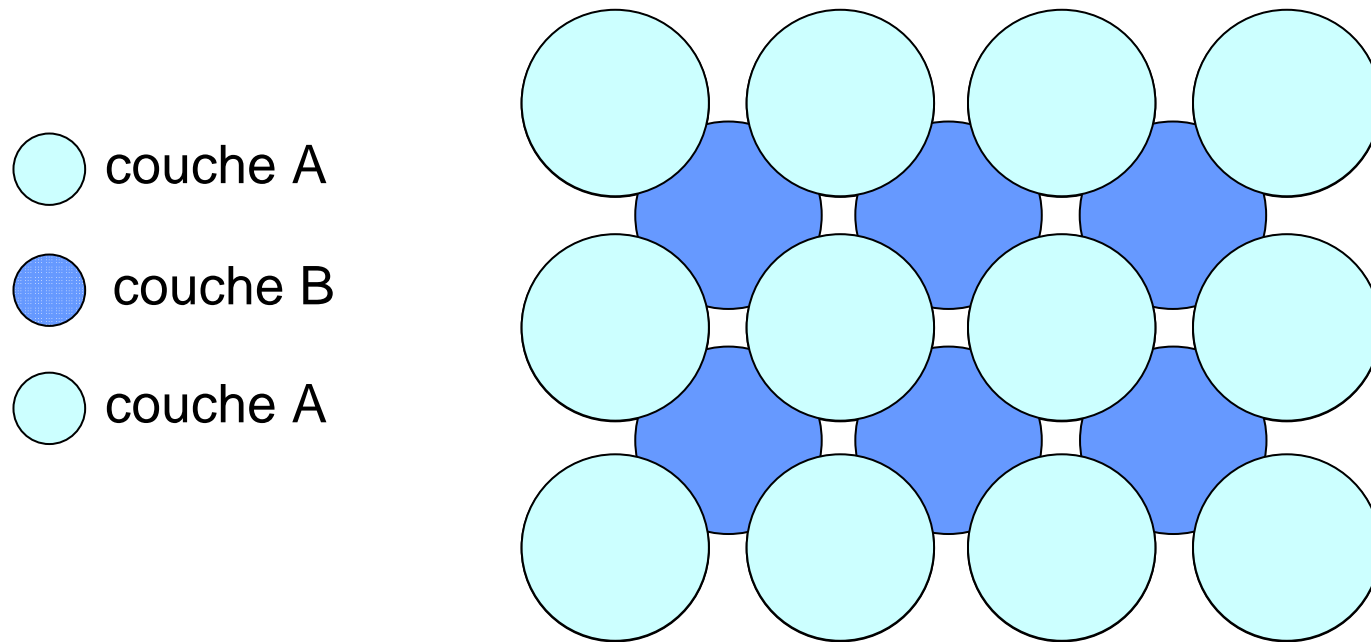
la cohésion est assurée par des liaisons métalliques

Réseau cubique centré

Réseau cubique faces centrées

Réseau hexagonal compact

# 1 - Structure cubique centrée

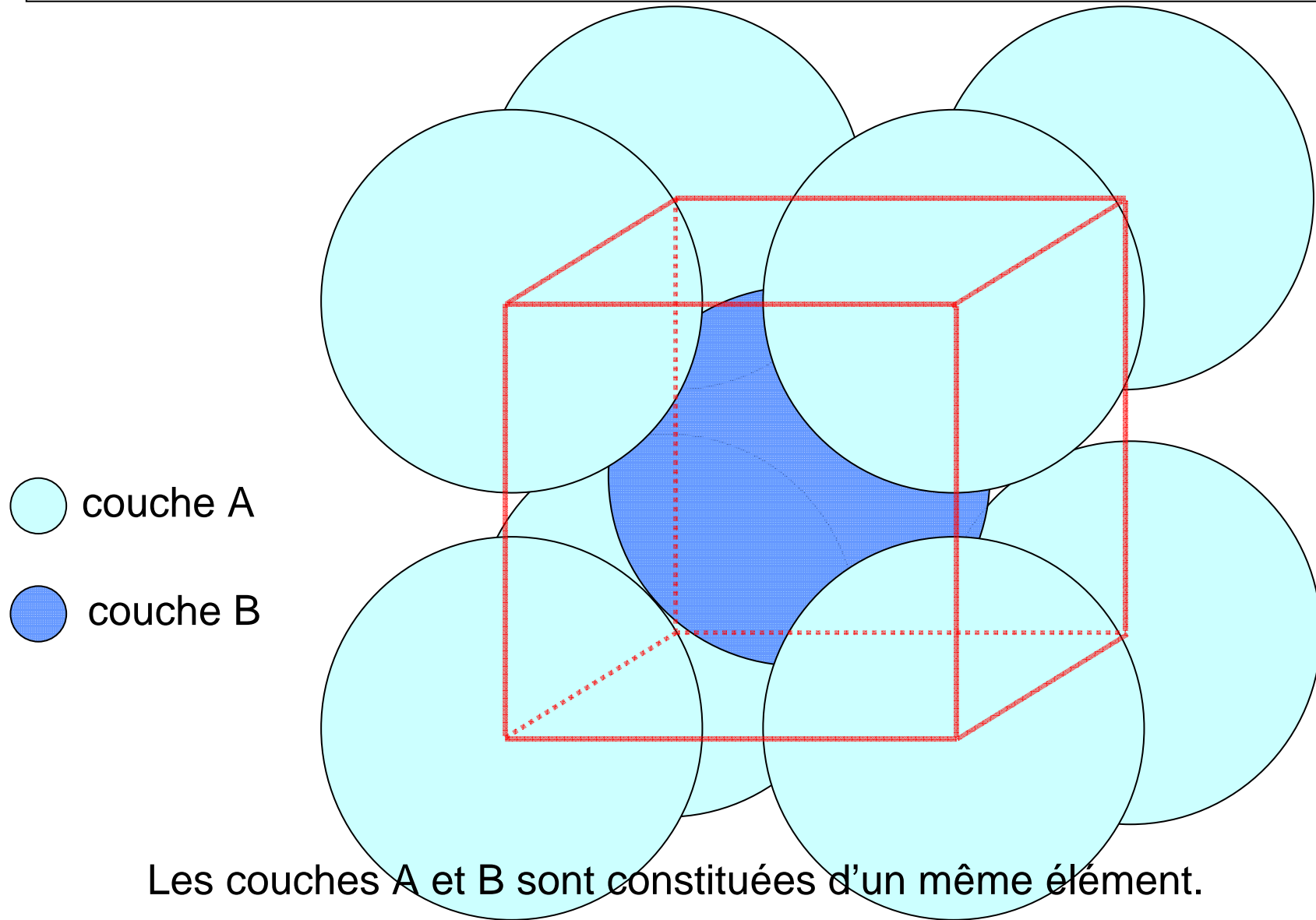


Les couches A et B sont constituées d'un même élément.

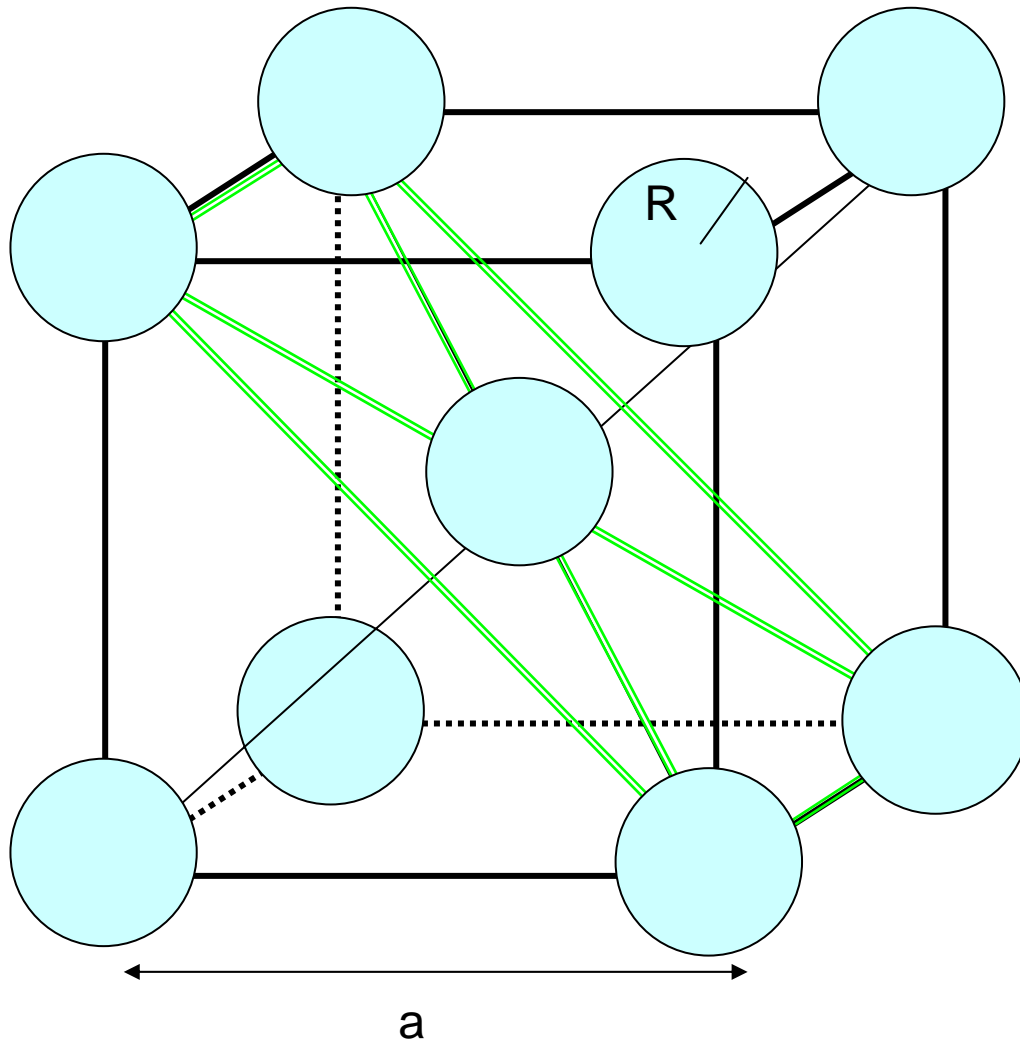
Empilement ABAB... →

Réseau cubique centré CC  
Empilement non compact

# Structure cubique centrée



# Structure cubique centrée



## Descriptif:

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

+ 1 atome au centre du cube :  $+ 1$

**= 2 atomes / maille**

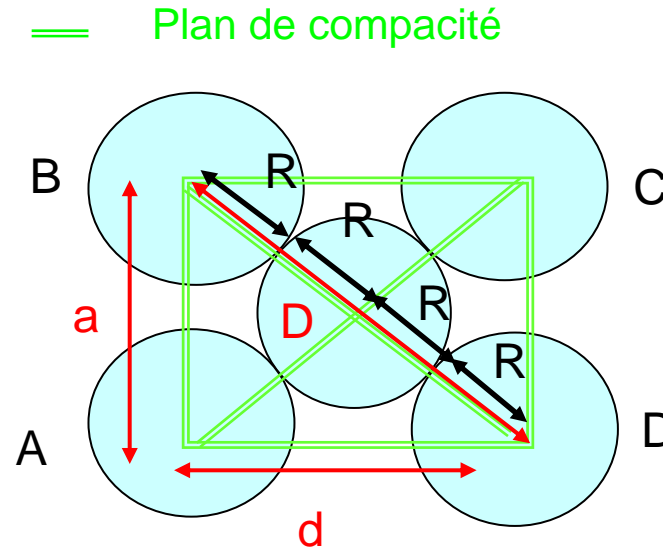
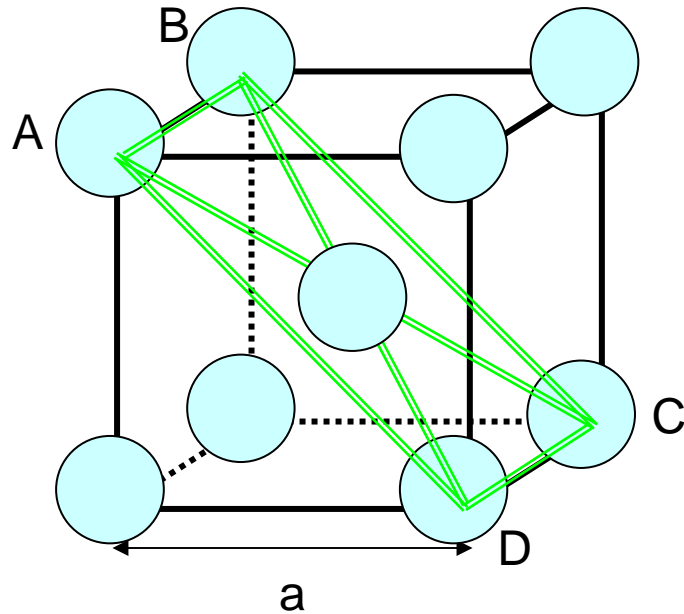
## Paramètre de la maille

a: arête du cube

**== Plan de compacité**

# Structure cubique centrée

## Relation entre $a$ et $R$



$d$  = diagonale de la face du cube



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

$D$  = diagonale du cube



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

Soit:

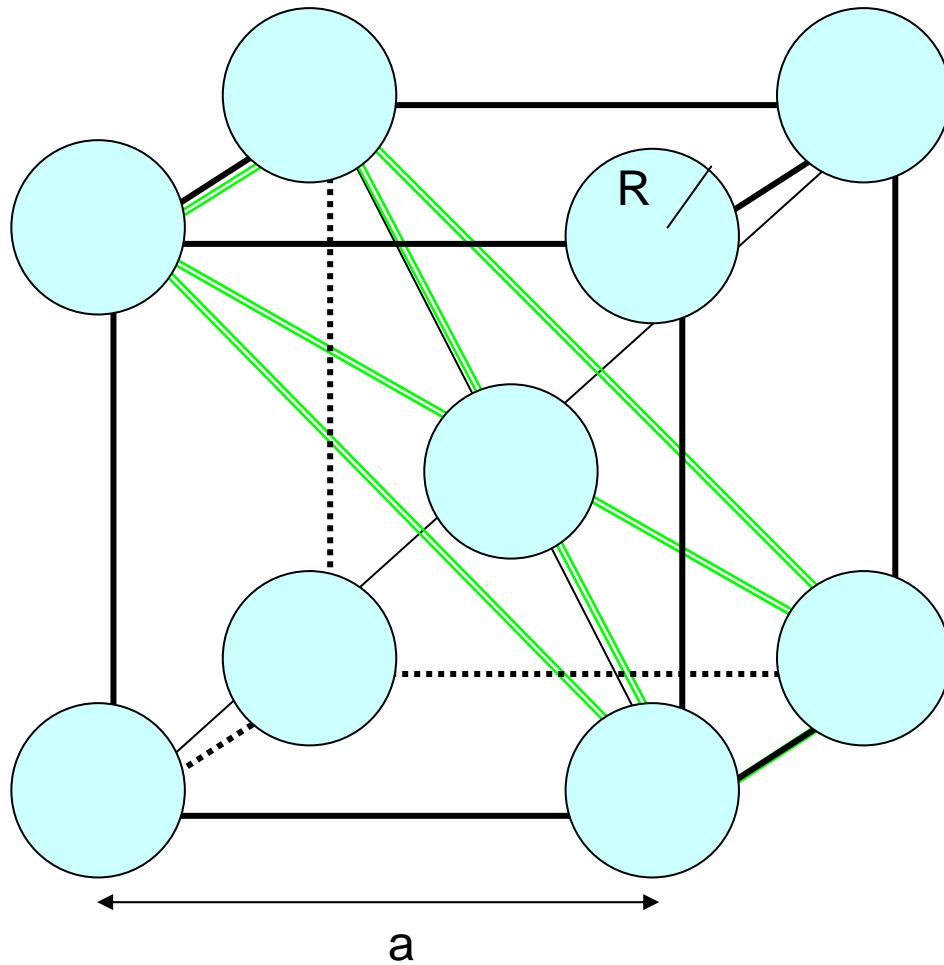
$$D = a\sqrt{3}$$

On a aussi:

$$D = 4R$$

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

# Structure cubique centrée



== Plan de compacité

## Coordinance :

Nombre de plus proches voisins à égale distance d'un atome donné

8 atomes à  $a\sqrt{3}/2$

## Compacité :

Volume occupé par tous les atomes

Volume de la maille

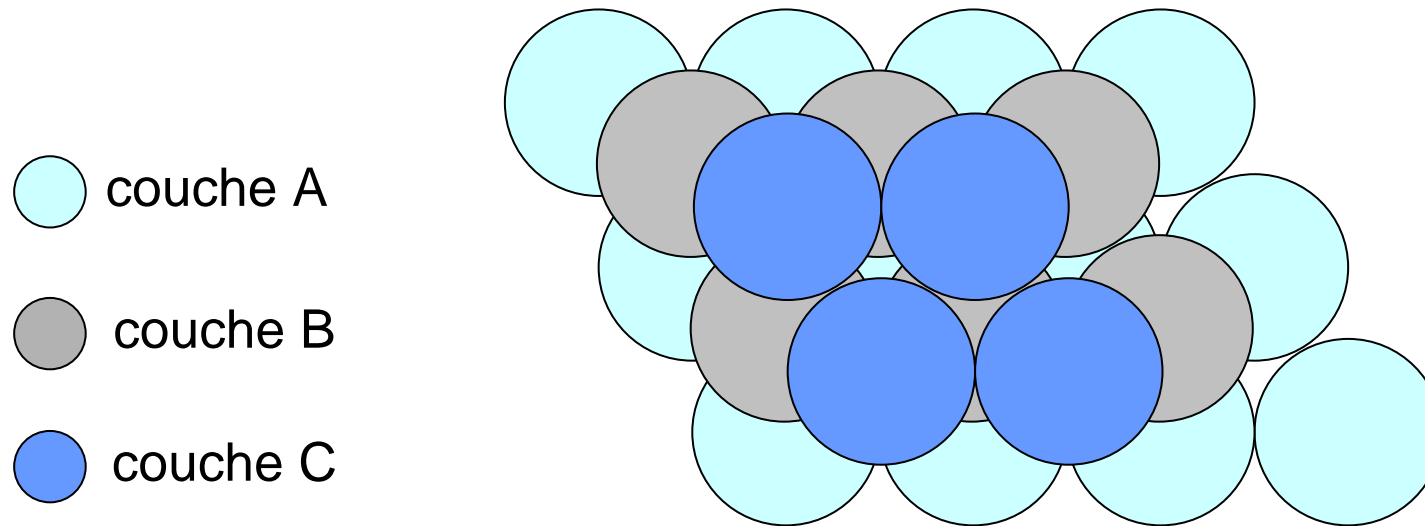
→  $C = 0,68 = 68\%$

soit 32 % de vide

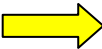
## Masse volumique :

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

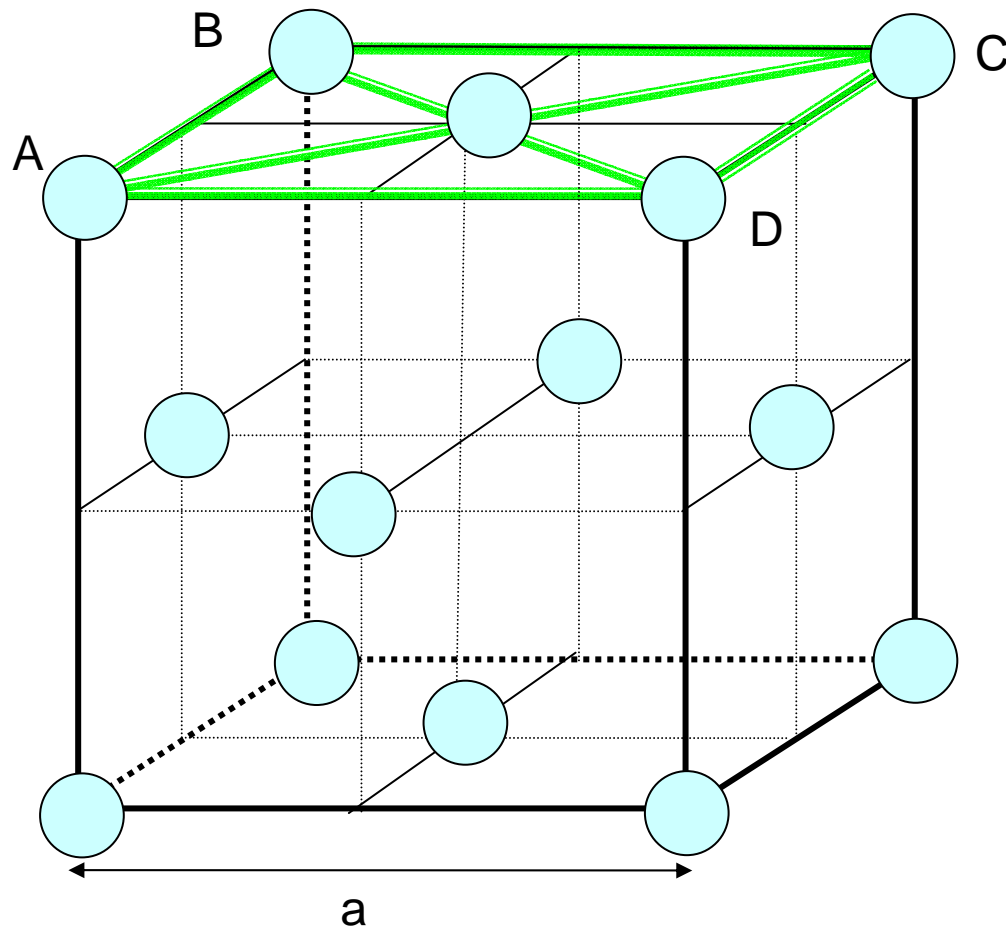
## 2 - Structure cubique faces centrées



Les couches A, B et C sont constituées d'un même élément.

Empilement ABCABC...  Cubique faces centrées

# Structure cubique faces centrées



== Plan de compacité

## Descriptif:

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

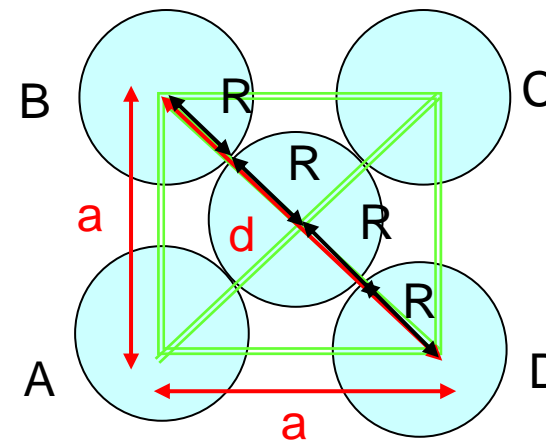
1 atome au centre de chaque face  $6 \times 1/2$

**= 4 atomes / maille**

## Paramètre de la maille

a: arête du cube

## Relation entre a et R



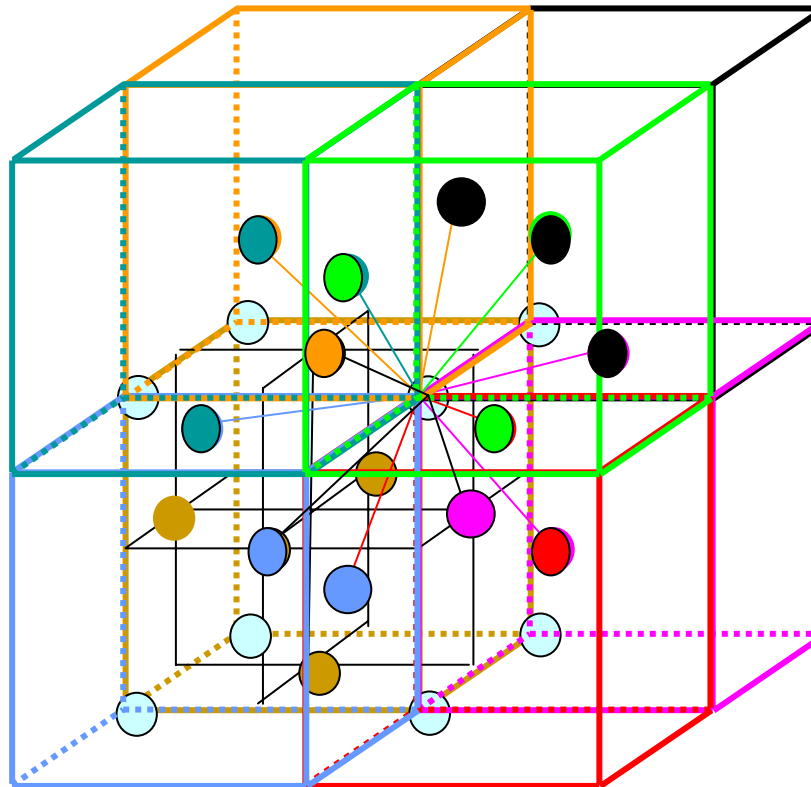
Dans le plan de compacité, sur la petite diagonale, on a :

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

# Structure cubique faces centrées

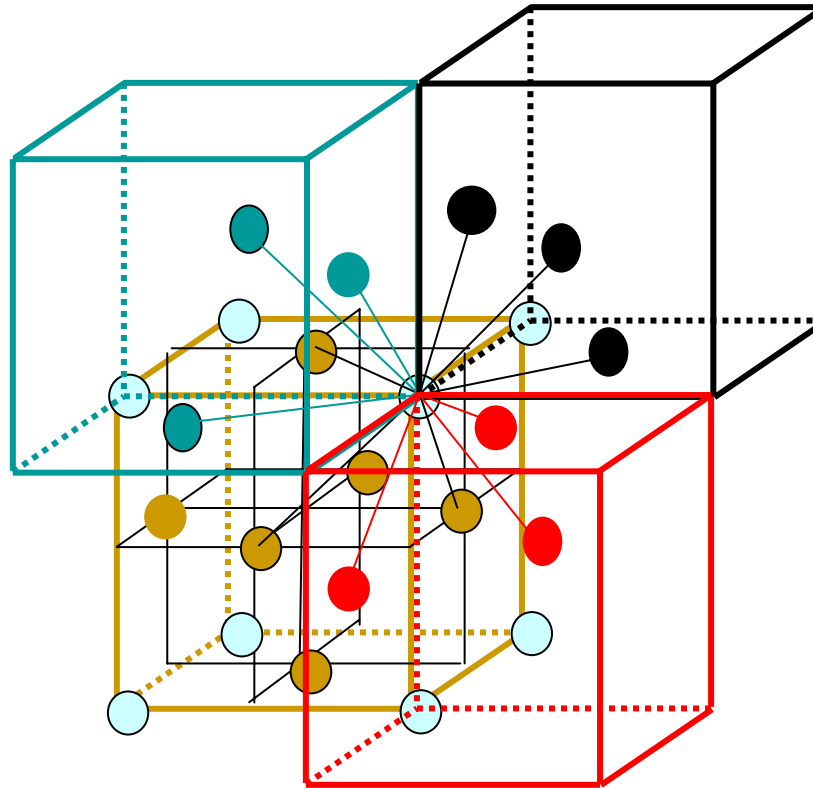
## Coordinance :

Nombre de plus proches voisins à égale distance d'un atome donné

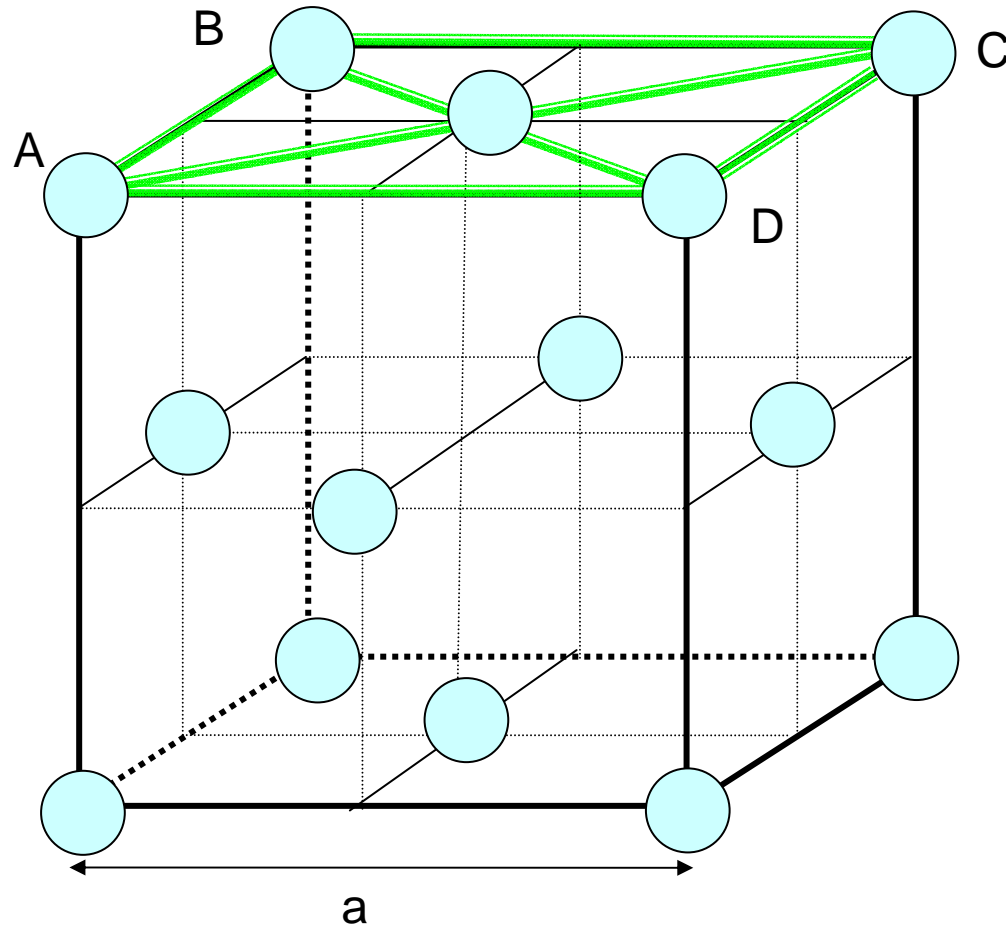


12 atomes à  $a \sqrt{2}/2$

# Structure cubique faces centrées



# Structure cubique faces centrées



== Plan de compacité

Compacité :

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

Volume de la maille

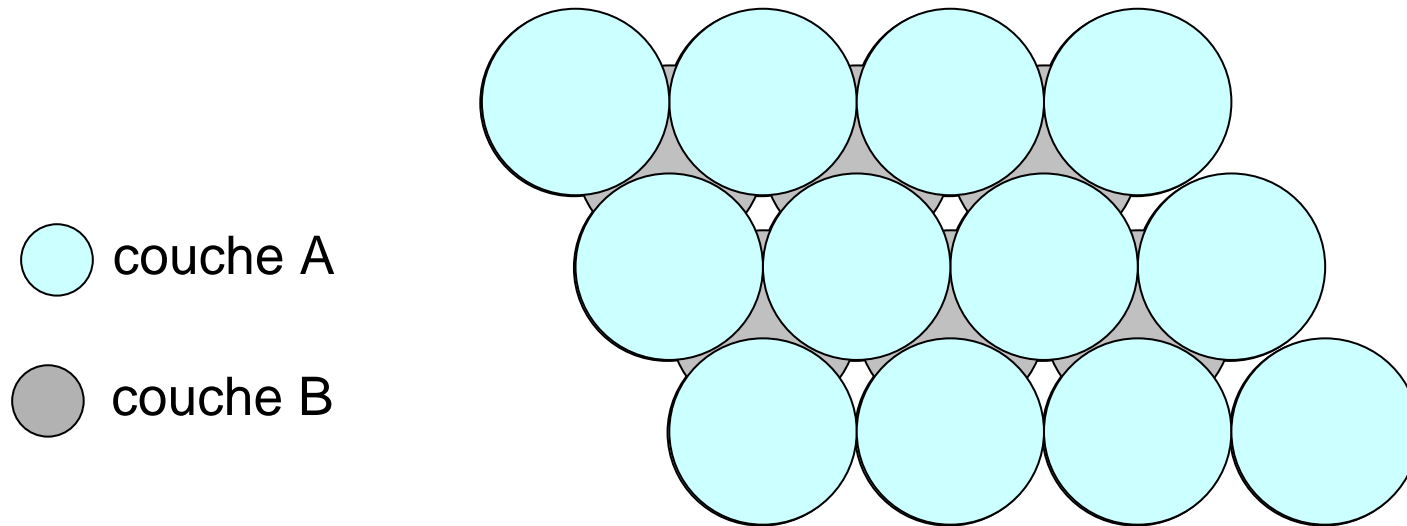
→  $C = 0,74 = 74\%$   
soit 26 % de vide

On dit que le système est **COMPACT**

Masse volumique :

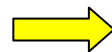
$$\rho = \frac{N \times M}{N_a \times a^3}$$

### 3 - Structure hexagonale compacte



Les couches A et B sont constituées d'un même élément.

Empilement ABAB...



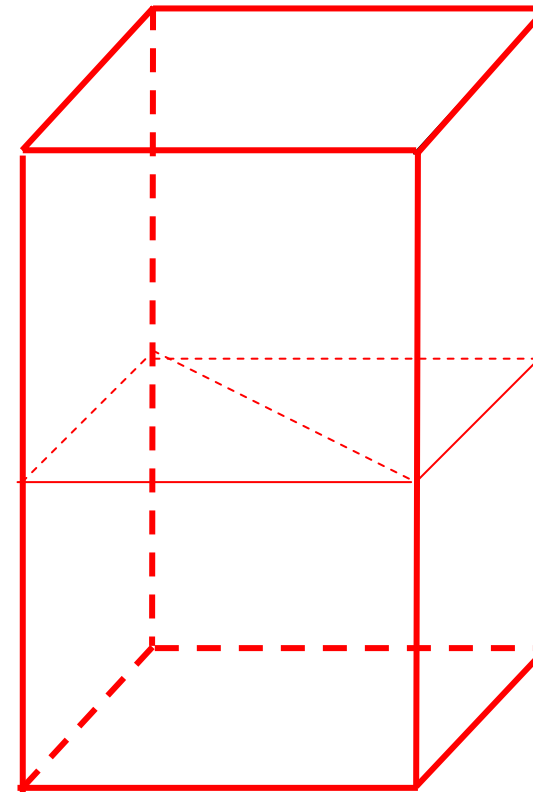
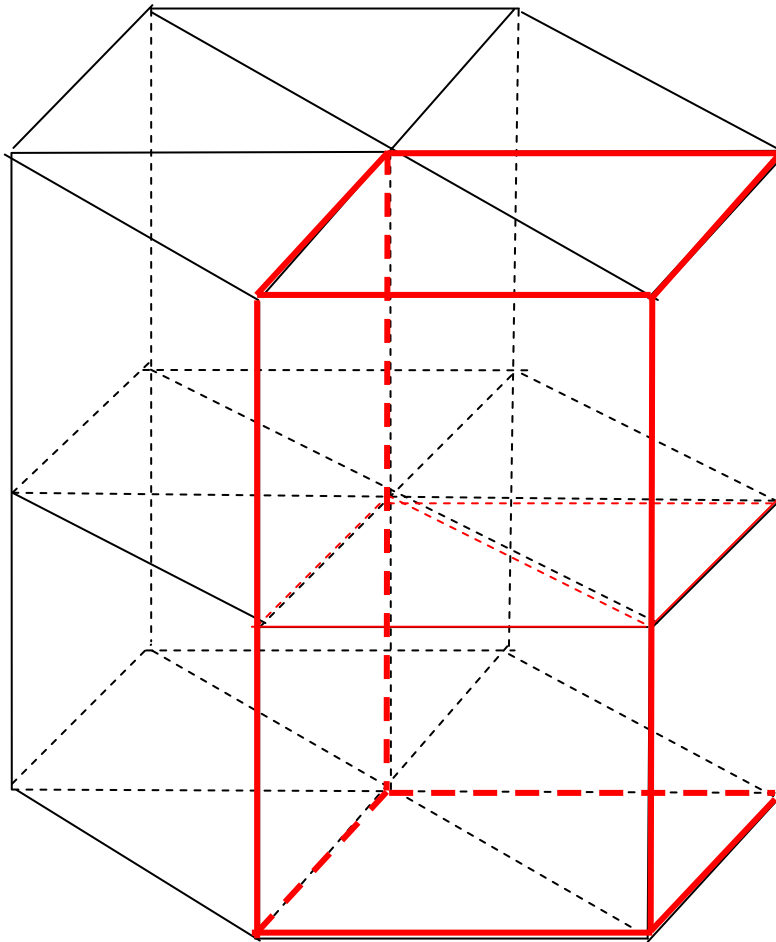
Hexagonal compact

# Structure hexagonale compacte

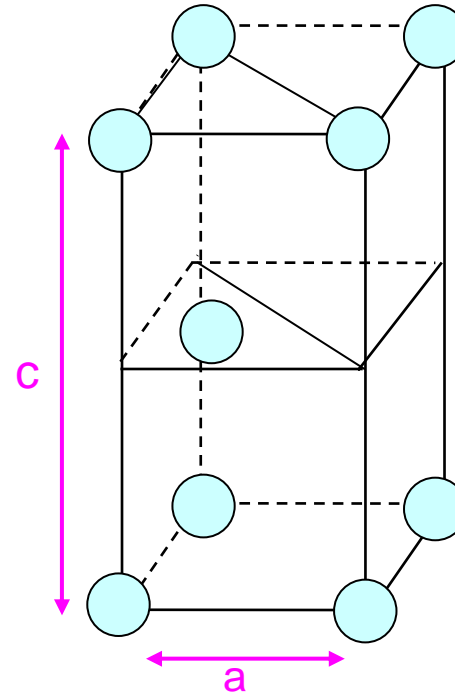
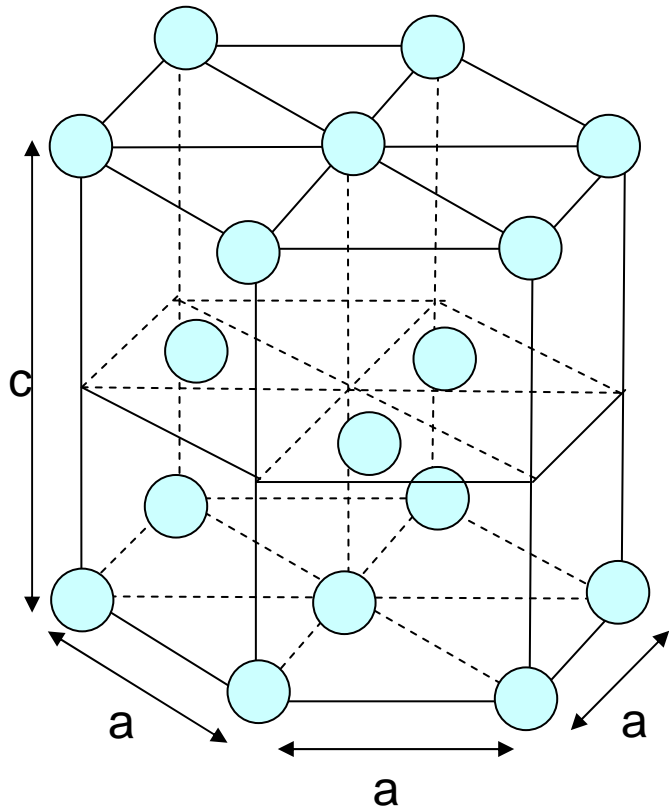
Maille: Prisme droit à base hexagonale

Ou Prisme droit à base losange

1/3 de la maille



# Structure hexagonale compacte



## Paramètres de la maille

- a: arêtes des bases hexagonales
- c: Hauteur du prisme

## Coordinance :

$$6 + 2 \times 3 = 12$$

Nombre d'atomes par maille hexagonale:

- 1 atome à chaque sommet :  $12 \times \frac{1}{6}$
- 1 atome au centre des 2 bases :  $2 \times \frac{1}{2}$
- 3 atomes à  $c/2$  :  $3 \times 1$

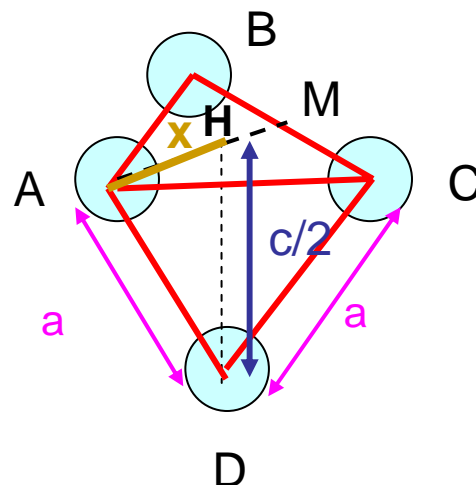
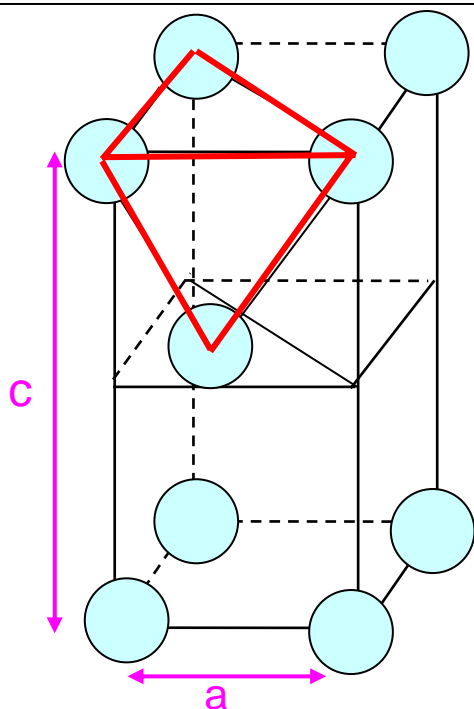
**= 6 atomes / maille**

OU Nombre d'atomes par prisme droit à base losange:

- 1 atome à chaque sommet :  $8 \times \frac{1}{8}$
- 1 atome à  $c/2$  :  $1$

**= 2 atomes / maille élémentaire**

# Structure hexagonale compacte



## Relation entre a et c

$$a = 2R$$

$$c = f(a)?$$

Soit M: milieu de l'arête BC

Triangle AMC rectangle en M

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## 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 :

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

## 4- Les alliages

alliages : Ce sont des systèmes formés de **mélanges de métaux**.

Dans certains cas, on obtient des alliages par addition à un métal d'un non-métal

2 types d'alliages :

Solution solide de **SUBSTITUTION**

Solution solide d'**INSERTION**

## a - Solution solide de **SUBSTITUTION**

Si les 2 métaux **crystallisent dans le même système** ;

Si les 2 métaux ont des **rayons atomiques voisins** ;



Le réseau conserve la même structure ;

Mais il comporte des atomes de l'un et de l'autre métal, répartis au hasard.

## **b - Solution solide d'INSERTION**

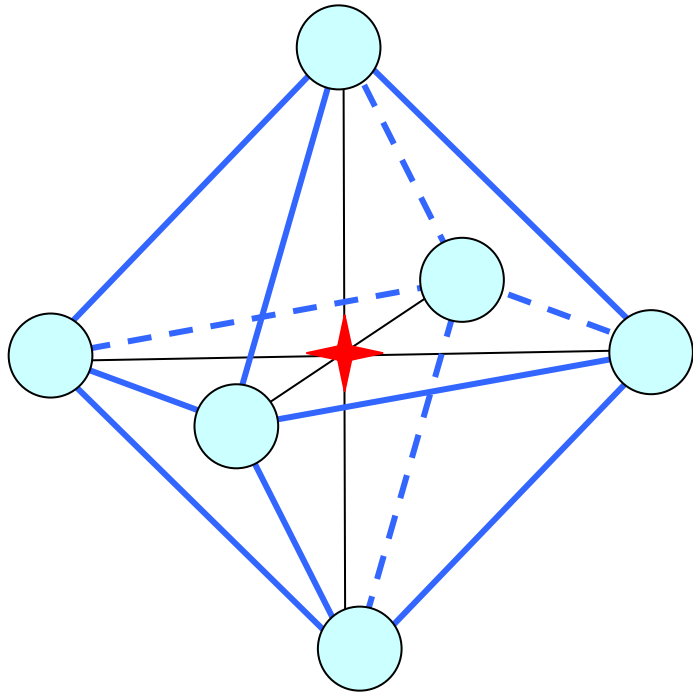
Dans un réseau métallique, il existe, entre les atomes, des INTERSTICES (ou SITES INTERSTICIELS).


Ils sont de 2 types:

**SITES OCTAEDRIQUES**

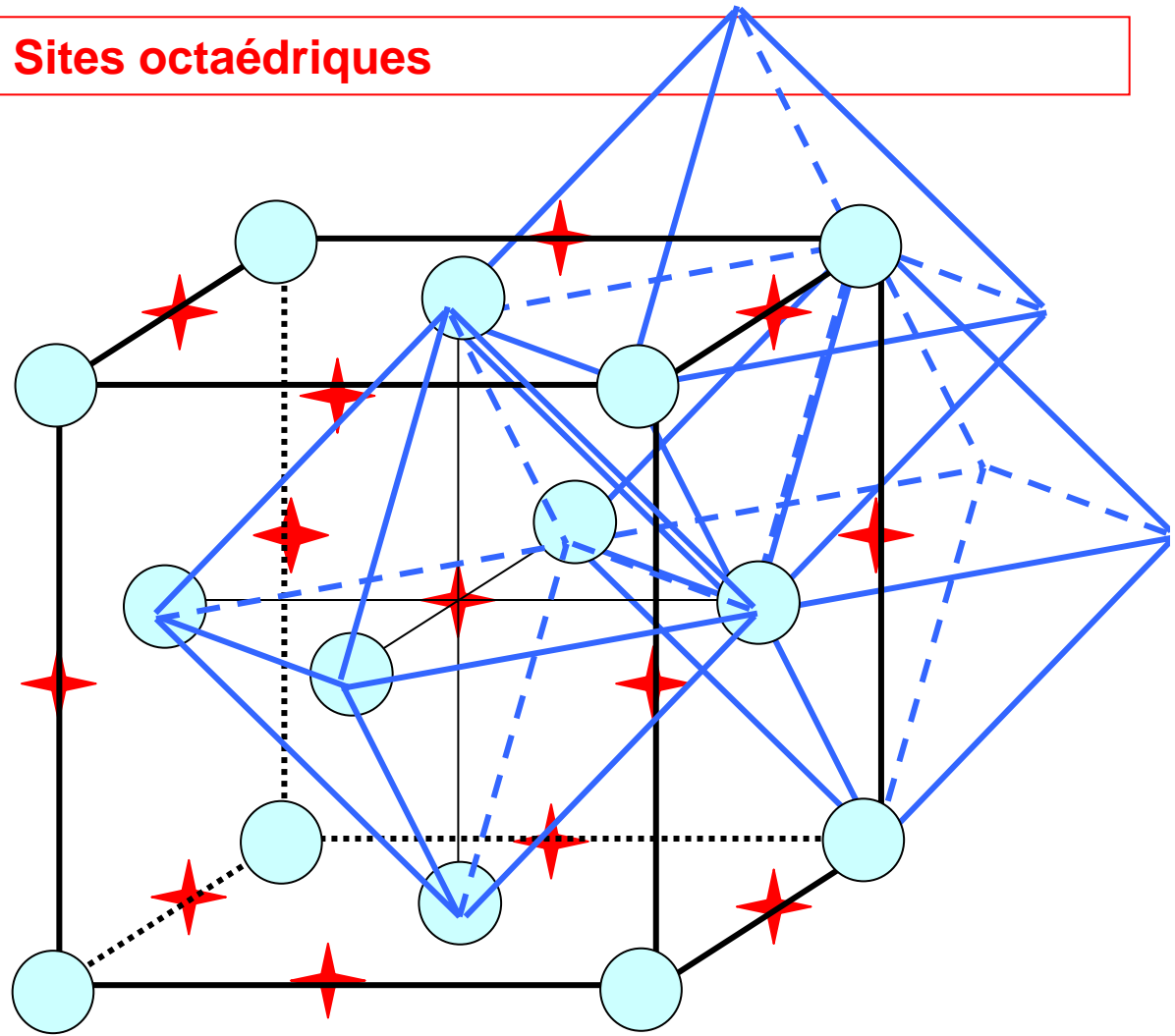
**SITES TETRAEDRIQUES**

## Sites octaédriques



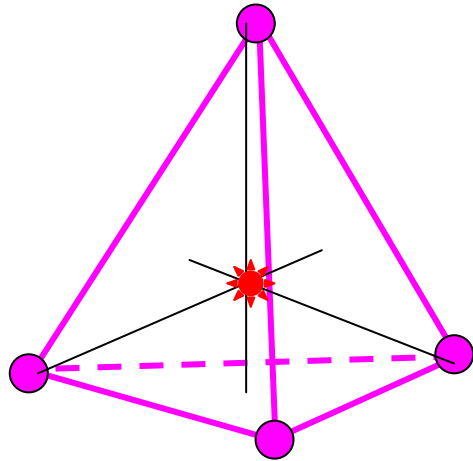
Site octaédrique  =  
centre d'un octaèdre


= à égale distance  
de 6 atomes

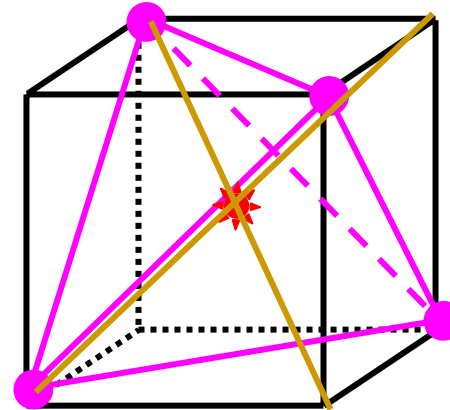


$$1 \text{ au centre du cube} + 1 \text{ au milieu de chaque arête} \\ 1 + 12 \times \frac{1}{4} = 4 \text{ sites octaédriques/maille cfc}$$

## Sites tétraédriques

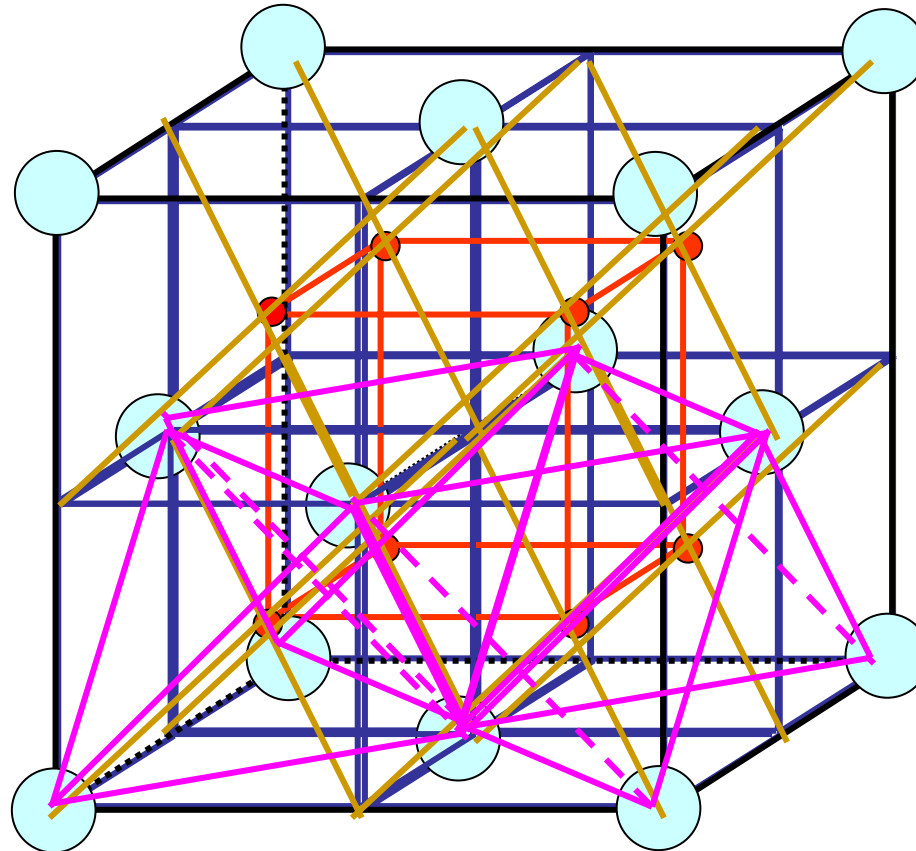


Site tétraédrique  =  
centre d'un tétraèdre  
= à égale distance de 4 atomes



= centre d'un petit cube d'arête  $a/2$

## Sites tétraédriques



**8 sites tétraédriques / maille CFC**