

tés électriques, thermiques et chimiques des métaux indiquent que les électrons externes sont assez faiblement liés aux noyaux. Cette caractéristique modèle de la liaison métallique : le modèle de DRUDE-Lorentz (modèle du gaz d'électrons).

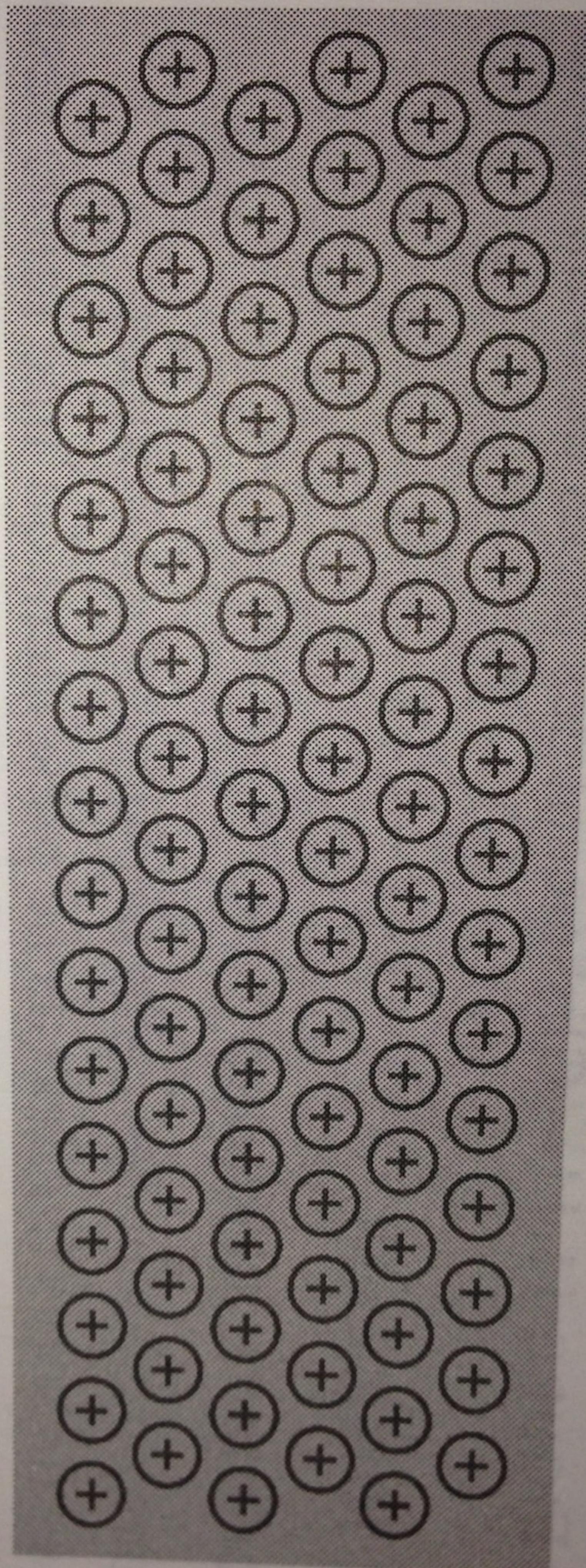
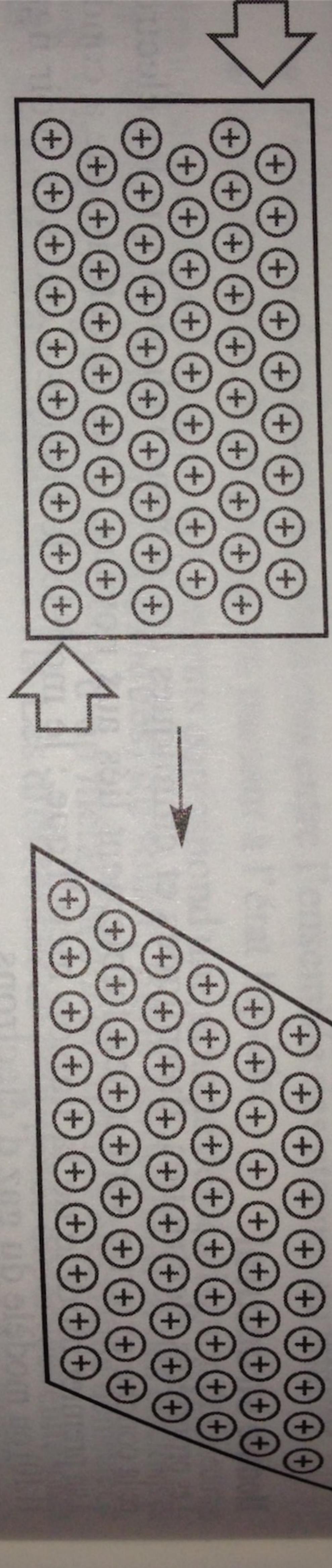


FIGURE 11.10 – Modèle de DRUDE-Lorentz d'un métal

dèle simple, les électrons de la couche externe d'un atome donné, soumises voisins, acquièrent une énergie suffisante pour échapper à l'attraction gine et ont ainsi la possibilité de se déplacer à l'intérieur du métal ; il est composée d'un empilement régulier de cations au sein d'un gaz d'électrons.

II).

FIGURE 11.11 – Glissement des plans dans un métal



contact dans le cristal.

Le modèle de l'empilement d'ions de charges opposées dans un cristal ionique permet de rendre compte simplement de la grande différence de fragilité de ce type de cristaux par rapport aux cristaux métalliques. Lors d'une déformation d'un cristal ionique selon la direction d'un plan, il peut se produire un glissement des plans comme dans le cas des cristaux métalliques. Cependant, dans le cas d'un cristal ionique, le déplacement des ions conduit à mettre en vis-à-vis des charges de même signe, ce qui correspond à une interaction coulombienne répulsive très importante, laquelle conduit à une rupture de la structure le long du plan de glissement (voir figure 11.13).

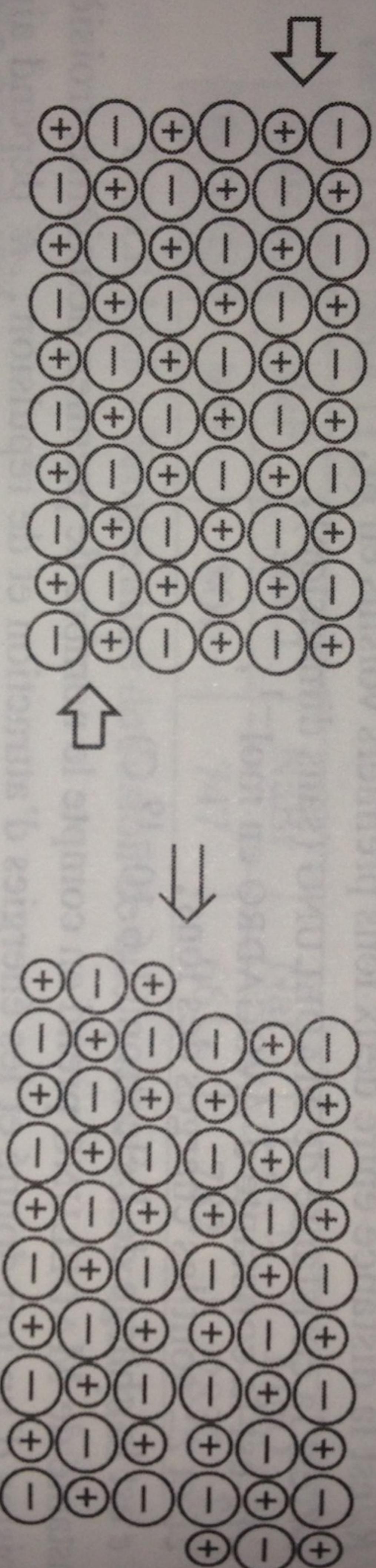


FIGURE 11.13 – Glissement des plans dans un cristal ionique

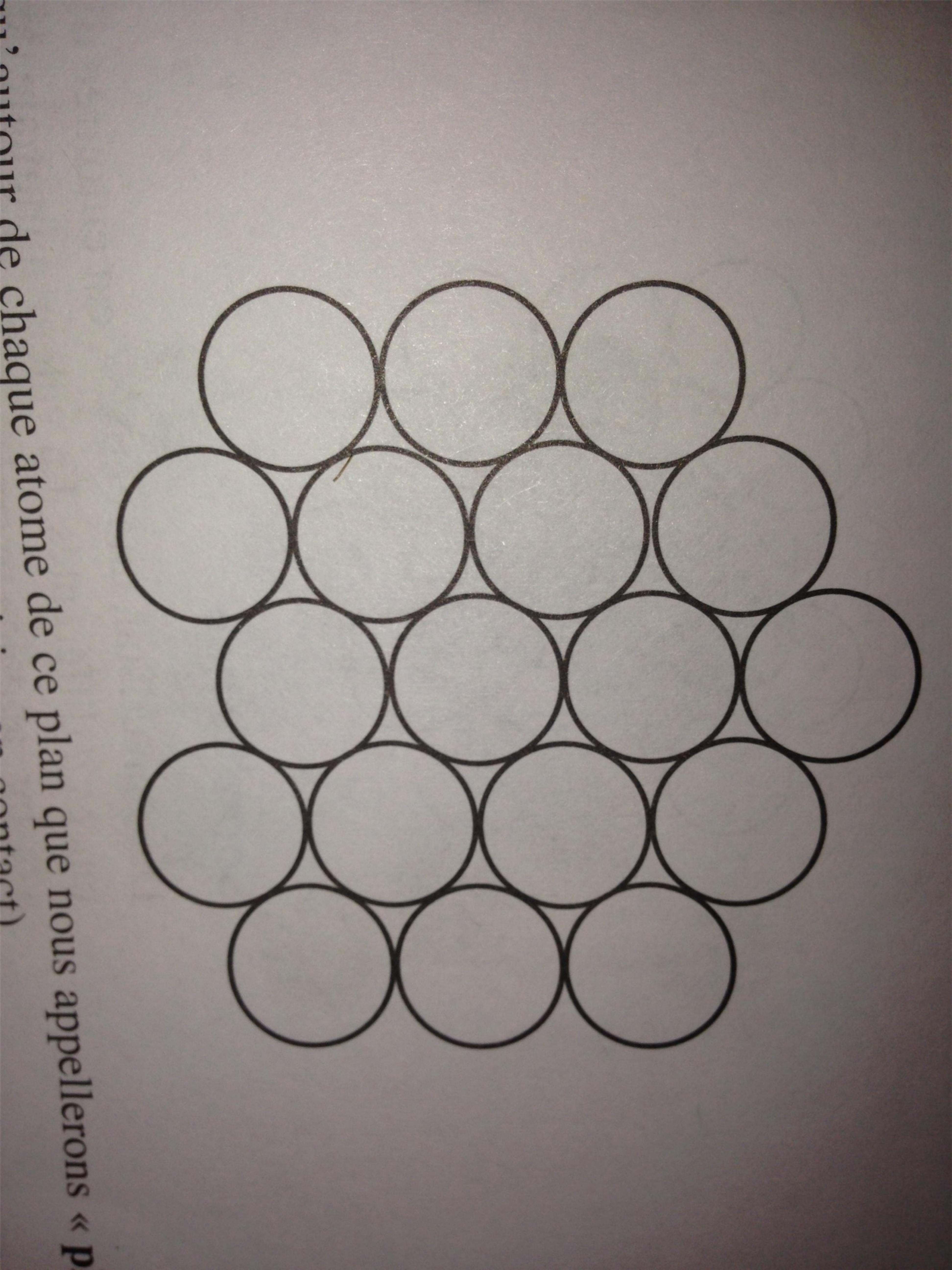
3.4 Cristaux covalents

Propriétés des cristaux covalents

Les cristaux covalents sont moins fréquents que les cristaux métalliques ou les cristaux métalliques. Ils se caractérisent par les propriétés suivantes :

- mécanique : ils présentent une grande durété et résistance à la déformation, leur masse volumique est variable ;

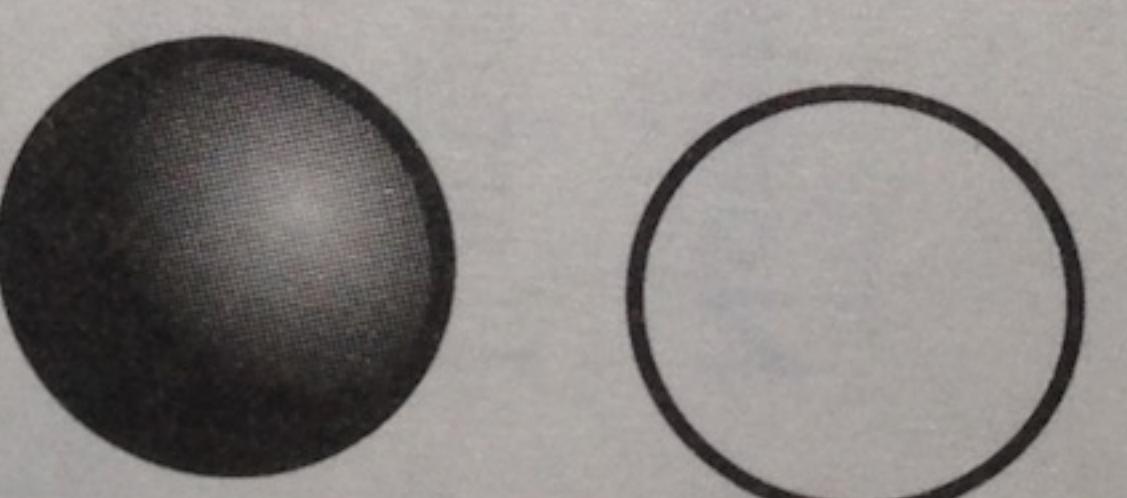
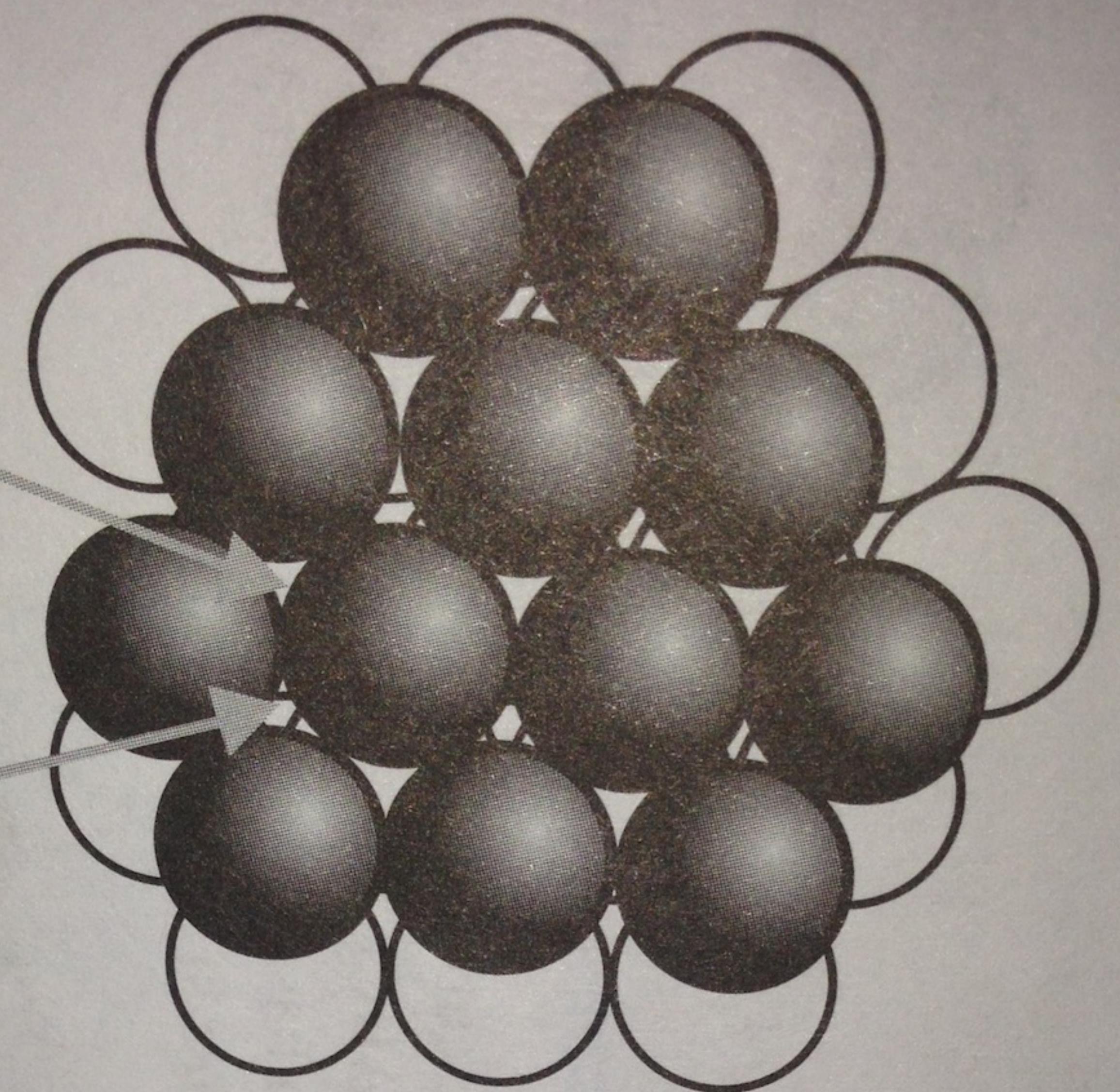




autour de chaque atome de ce plan que nous appellerons « P. (à contact)

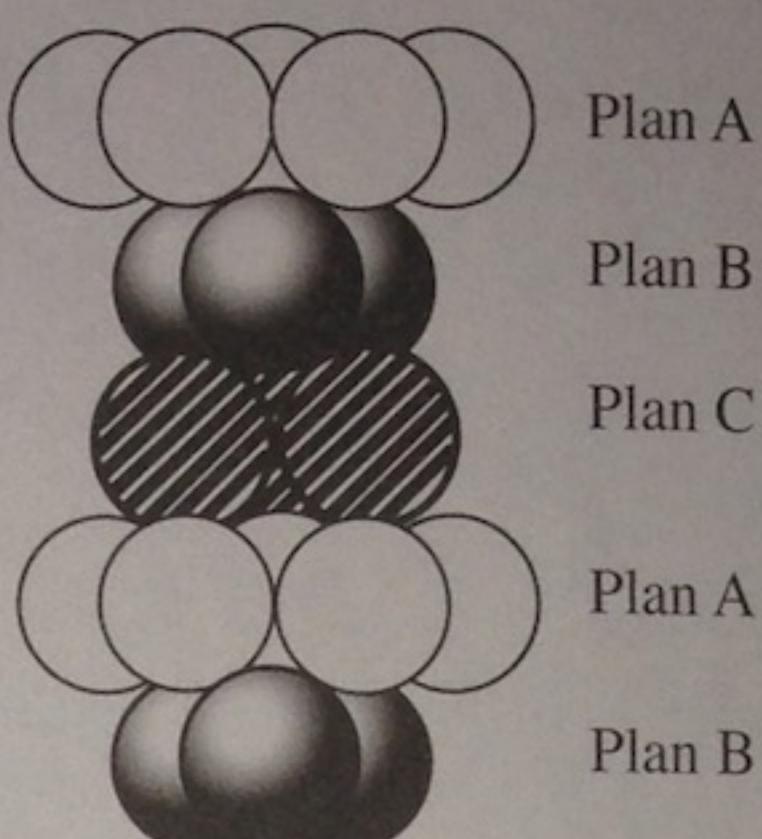
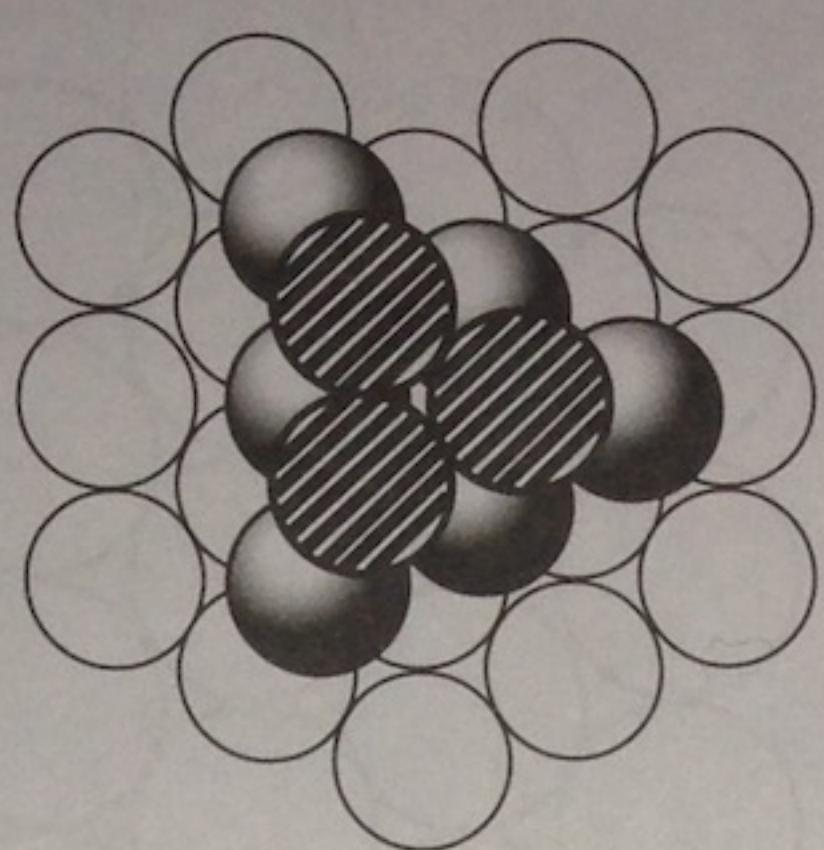
à la position et il existe deux possibilités de le faire : utiliser un site ternaire en-dessous duquel il y a un atome du plan A ;

La figure suivante illustre cette description :



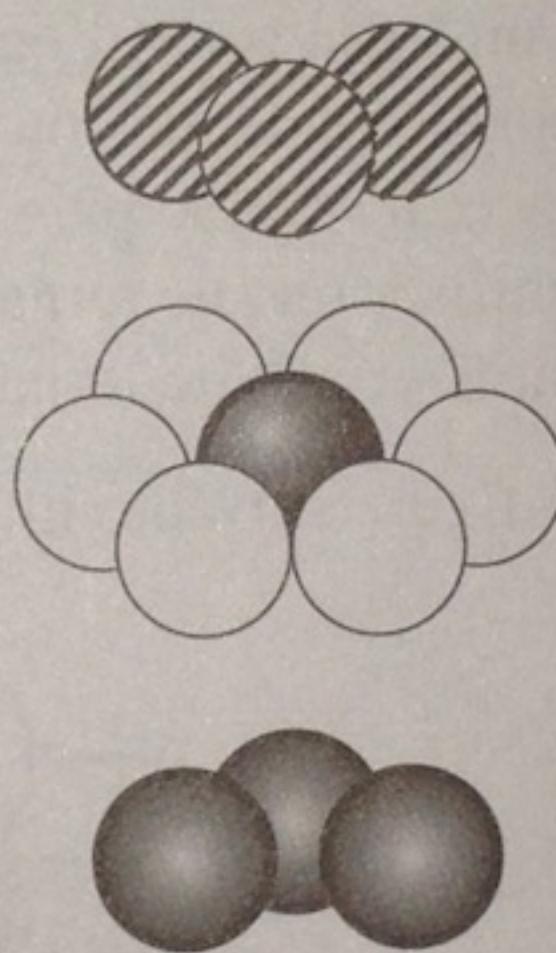
Creux dans le plan B en face d'un creux du plan A

Creux dans le plan B en face d'une sphère du plan A



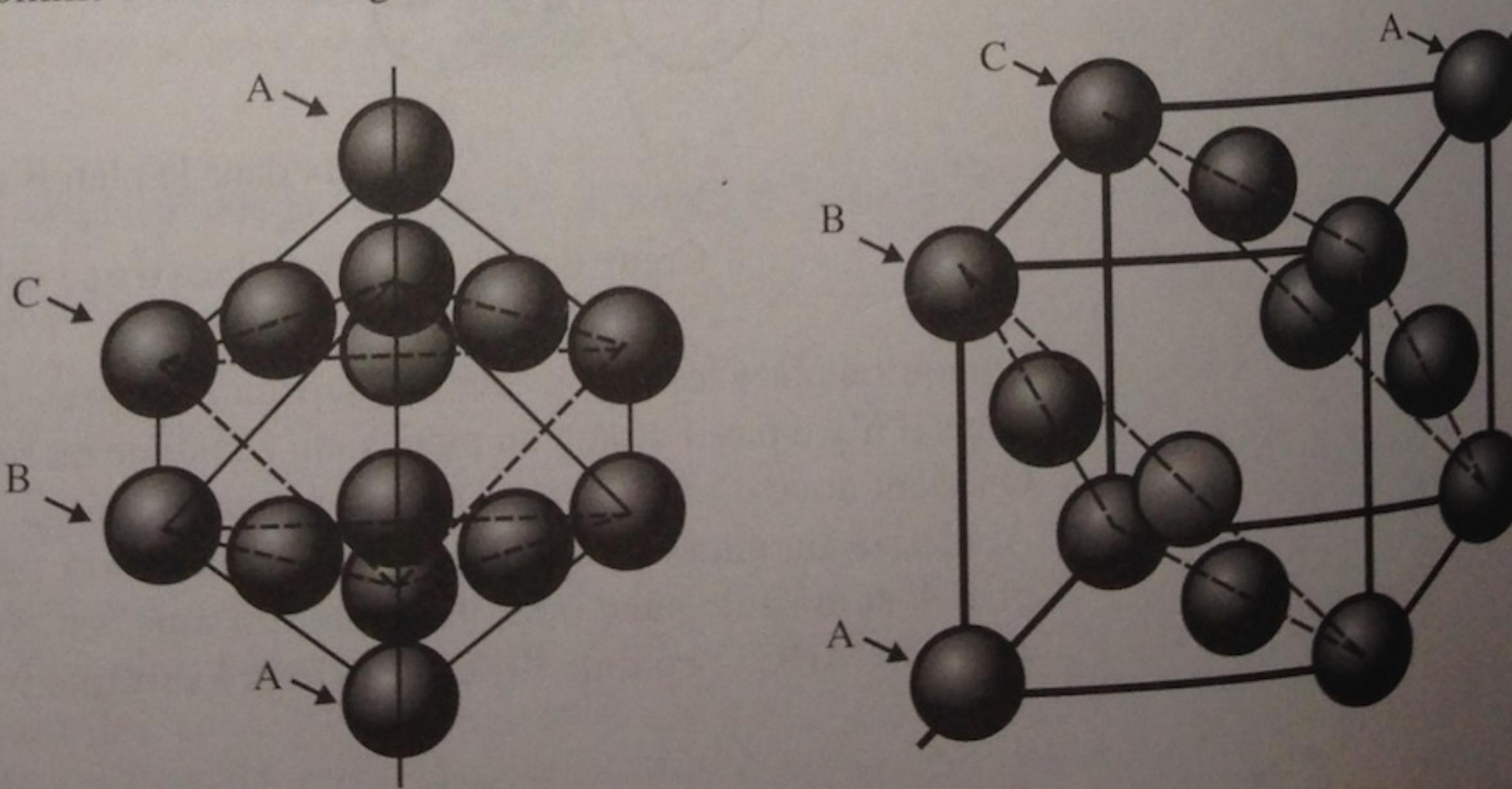
Coordinence

Dans un cristal, une entité X est entourée d'une infinité d'autres entités situées à des distances d différentes. La valeur minimale de d définit la distance de X à ses plus proches voisins, appelés **premiers voisins**. La **coordinence** de l'atome X exprime le nombre de ses premiers voisins. Dans un empilement compact de type cfc, la figure suivante illustre clairement que cette coordinence vaut 12 :



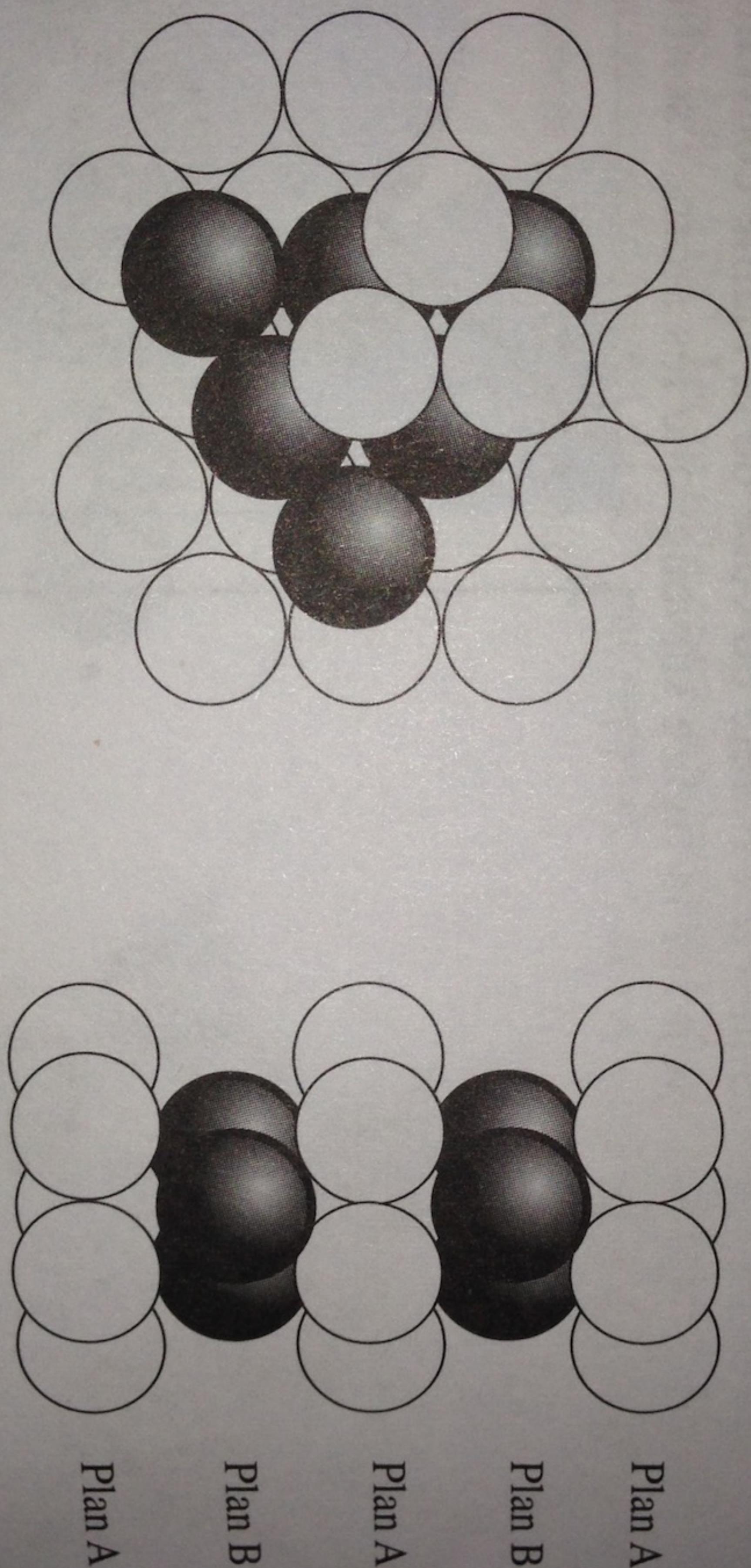
Nombre d'atomes par maille conventionnelle (population)

L'arrangement cubiques à faces centrées cfc résulte d'un enchaînement de plans compacts de type ABCABC. La maille conventionnelle est une maille de symétrie cubique obtenue par un basculement de 45° par rapport à l'axe d'empilement des plans compacts comme l'illustre la figure suivante :



Il par exemple.

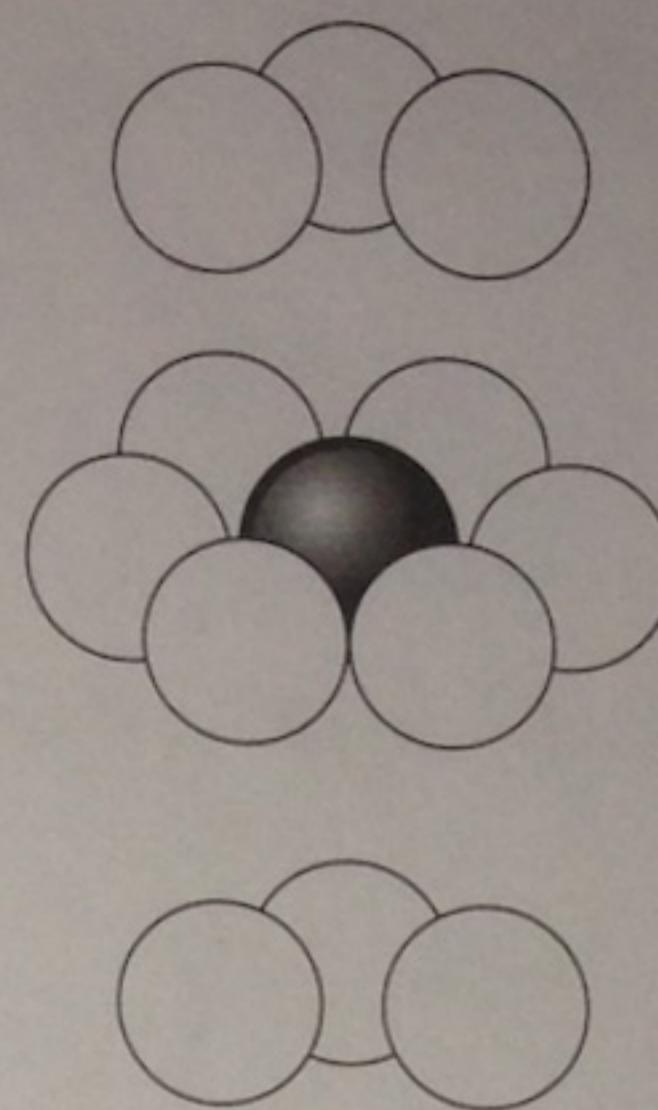
La construction de ce type d'empilement est très simple à comprendre dès lors que l'on a bien assimilé la construction précédemment décrite. La construction débute de la même façon que pour la structure cfc avec la disposition des plans A et B. En revanche, il n'y a pas de plan C dans cette structure. Au-dessus du plan B, on place un nouveau plan A, exactement superposé au premier plan A. Cela revient à dire le troisième plan se dispose sur les sites ternaires du deuxième plan en-dessous desquels se trouve directement un atome du premier plan A comme le montre le schéma suivant :



Coordinence

La coordinence est très simple à calculer à partir du schéma ci-après.

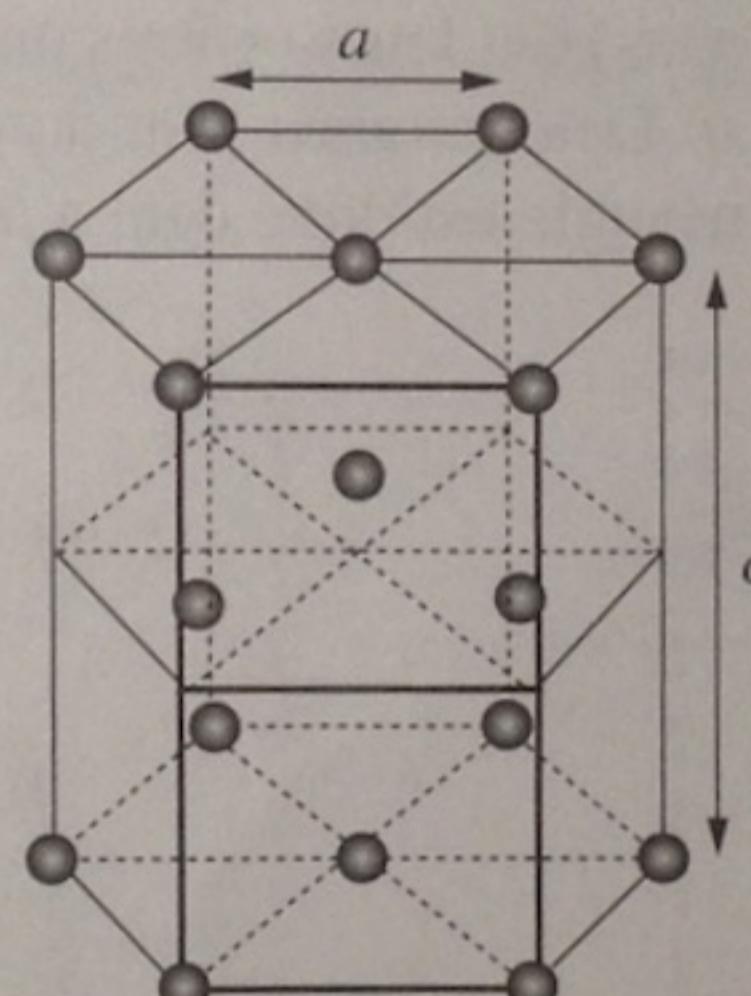
Chaque atome est au contact de 12 autres atomes, 6 dans le même plan, 3 dans le plan au-dessus et 3 dans le plan au-dessous. La coordinence est donc identique à celle de la



Nombre d'atomes par maille conventionnelle (population)

On peut choisir deux mailles cristallines pour décrire l'arrangement hexagonal compact. Le motif est un atome dont les positions dans les mailles sont représentées par des sphères.

La première maille est une maille conventionnelle. Elle a la forme d'un prisme droit à base hexagonale selon le schéma suivant :



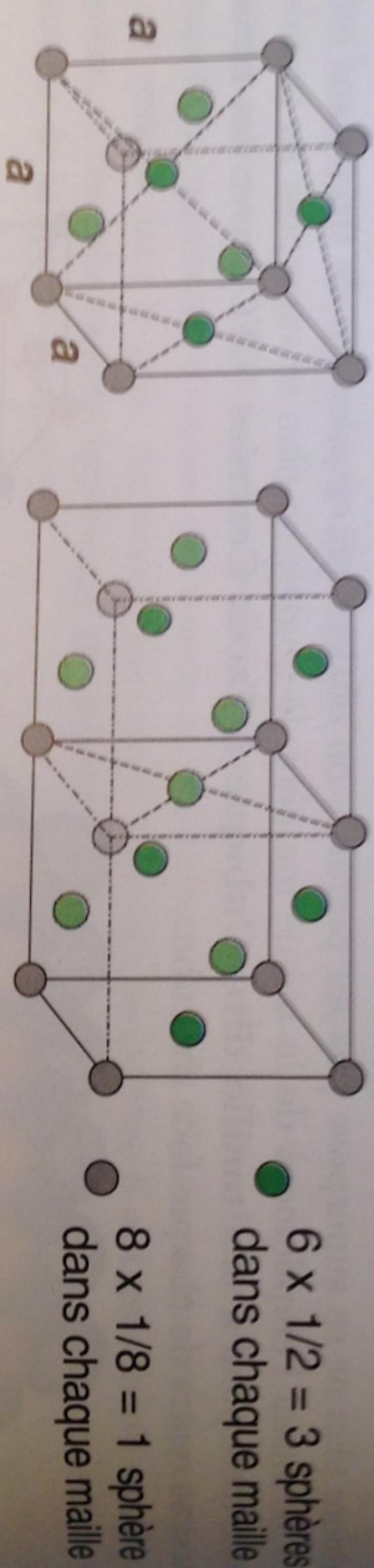
Maille hexagonale

On peut dénombrer les atomes présents dans cette maille :

- 3 atomes présents entièrement dans la maille au niveau du plan intermédiaire,
- 2 atomes présents pour moitié (partagés entre deux mailles) dans la maille au niveau des plans supérieur et inférieur, qui comptent effectivement pour $\frac{2}{2} = 1$ atome dans la maille,
- 12 atomes présents pour un sixième (partagés entre six mailles) dans la maille au niveau des sommets, qui comptent effectivement pour $\frac{12}{6} = 2$ atomes dans la maille.

La population de la maille hexagonale est donc de 6 atomes par maille.

La seconde maille, celle qu'il faut privilégier, est une maille obtenue comme le tiers de la maille hexagonale. Elle a la forme d'un **prisme droit à base losange** :



Maille CFC à gauche, deux mailles adjacentes à droite.

La population (ou multiplicité) de la maille CFC vaut donc 4.

III.2 Coordinence

La coordinence pour un motif dans une maille est le nombre de plus proches voisins de ce motif.

MÉTALLURGIE CRISTAUX MÉTALLIQUES

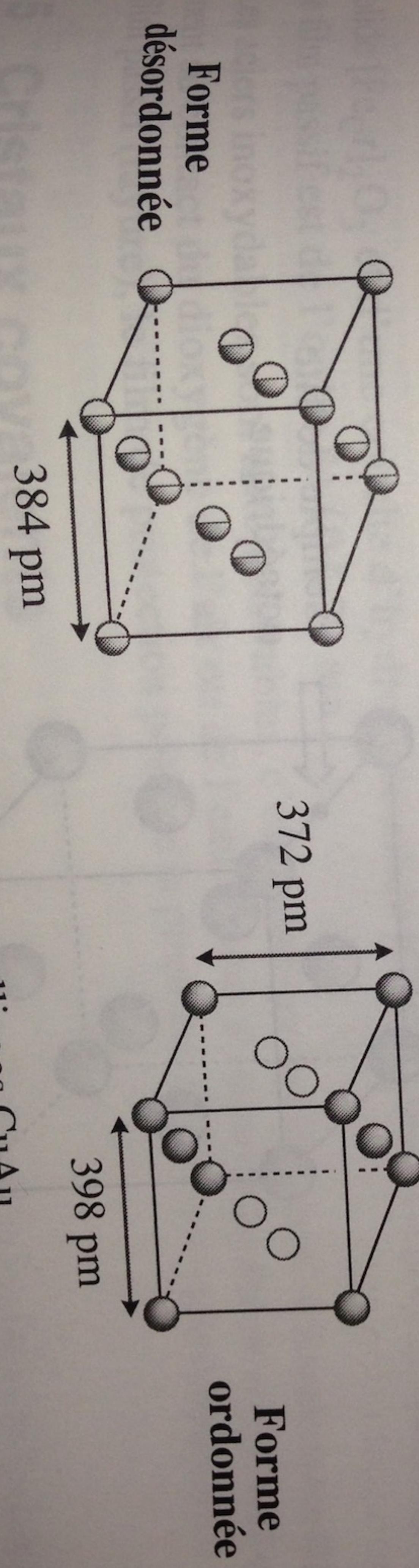


FIGURE 11.40 – Structures des alliages CuAu

Dans certains alliages, le rôle de la structure électronique des métaux peut avoir une importance essentielle pour la géométrie de la maille. La structure cristallographique d'un alliage peut être différente pour posséder une structure

stitution et les alliages à partir de la structure du corps pur solide de l'élément majoritaire.

Cd dom
comple

Alliages de substitution

Les alliages de substitution sont appelés ainsi car ils correspondent au mélange de deux métaux possédant la même structure à l'état pur. Ils sont observés lorsque leurs rayons atomiques ne diffèrent pas trop (moins de 15 %) et que leurs électronégativités sont voisines. Ceci est le cas pour l'alliage cuivre/or : ces deux métaux existent sous la forme c.f.c. et leurs alliages sont également des structures c.f.c..

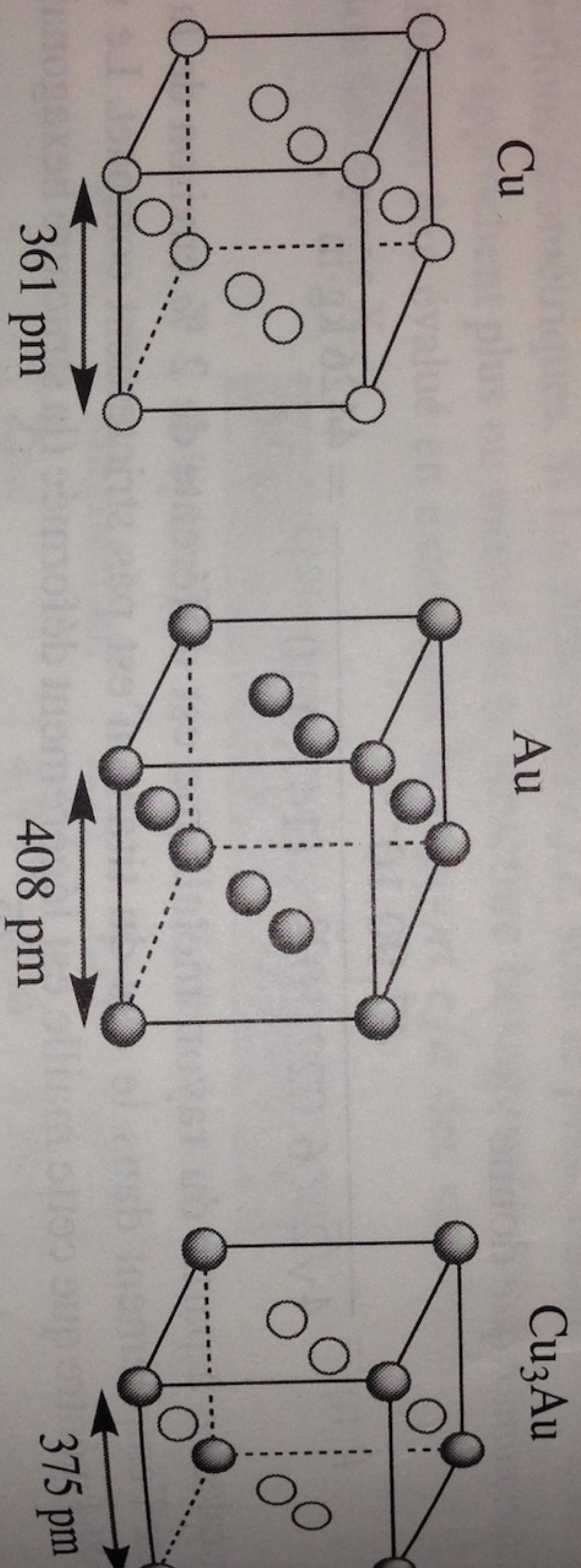
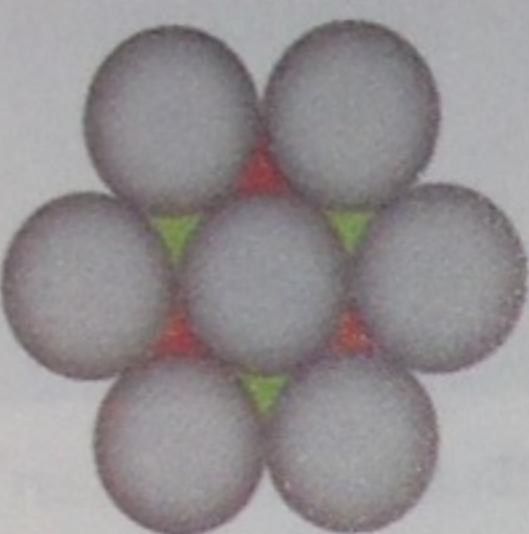


FIGURE 11.39 – Structure c.f.c. du cuivre, de l'or et de l'alliage Cu₃Au

La substitution d'atomes d'or dans le cuivre peut conduire à des structures dans lesquelles les atomes des deux métaux sont disposés au hasard dans la maille (seul le rapport entre les espèces reste constant) ou bien de façon régulière. Ainsi un alliage CuAu peut exister sous deux formes, une forme désordonnée dans laquelle la maille est cubique, une forme ordonnée dans laquelle la maille

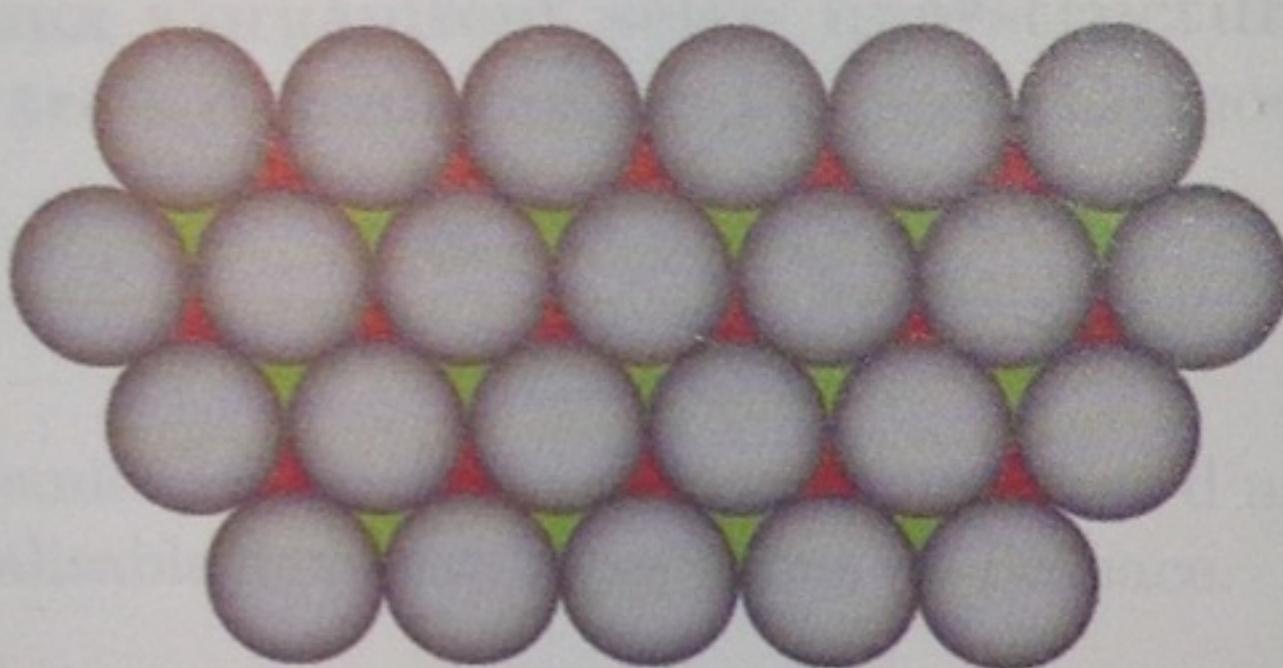
alliage par...
men...
octa...
de f...
dans laquelle la maille

Nous allons maintenant voir comment réaliser un empilement de sphères dures le plus compact possible, qui occupera un maximum d'espace et laissera un minimum de vide. Pour commencer, prenons une seule sphère, et restons dans le plan. Au maximum, il est possible de mettre 6 autres sphères en contact avec la première, et ces sphères sont également en contact de proche en proche. Il reste cependant des espaces vides autour de la sphère centrale.



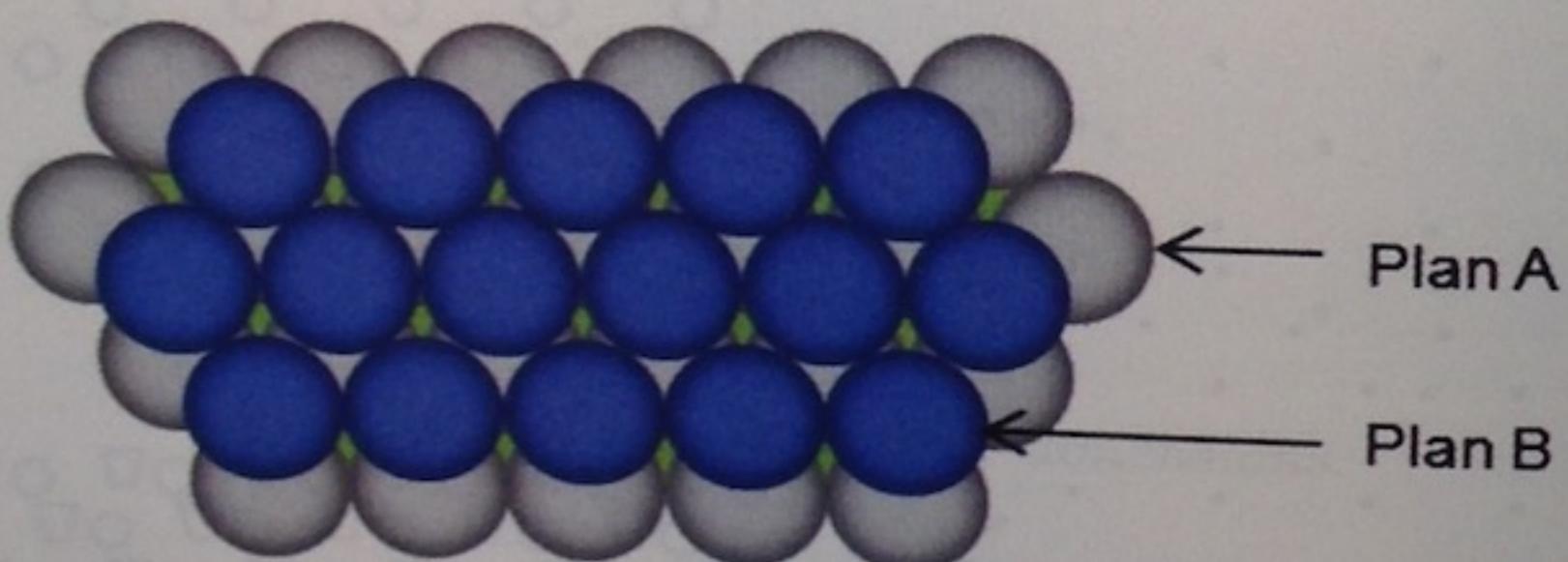
Les interstices triangulaires restants pointent vers le haut (en rouge) ou vers le bas (en vert).

Il est possible de répéter l'opération à l'infini, pour avoir un plan compact. On voit alors apparaître des lignes d'interstices pointant vers le haut, et d'autres pointant vers le bas.



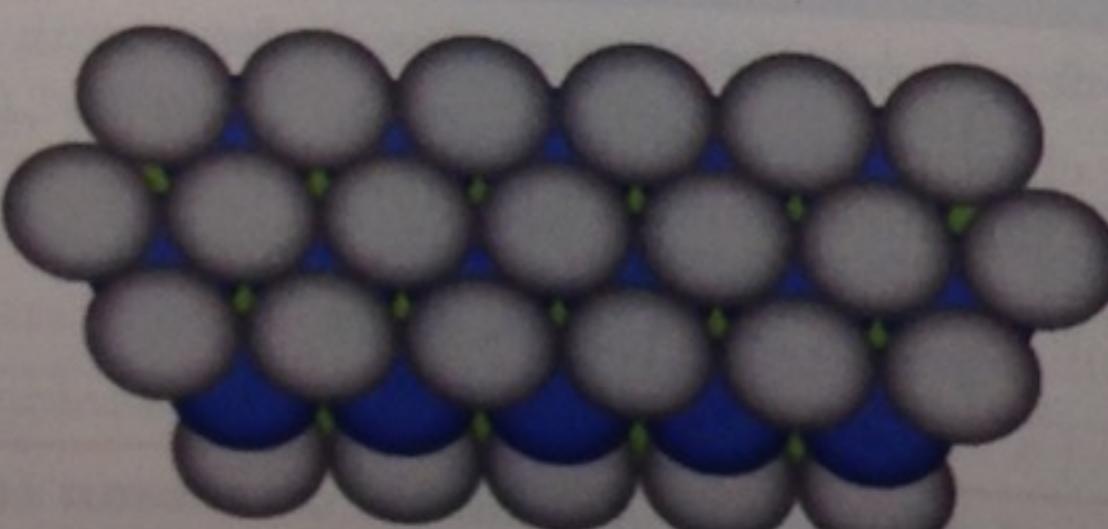
Plan compact de sphères dures.

Lorsque l'on cherche à empiler un autre plan similaire sur le premier, les sphères dures du plan supérieur se logent dans les interstices du plan inférieur. Tous ces interstices ne peuvent pas être occupés car ils sont trop proches les uns des autres. Seule une "famille" d'interstices (rouges ou verts) est recouverte. Par exemple, en recouvrant les interstices rouges, on obtient l'empilement suivant :



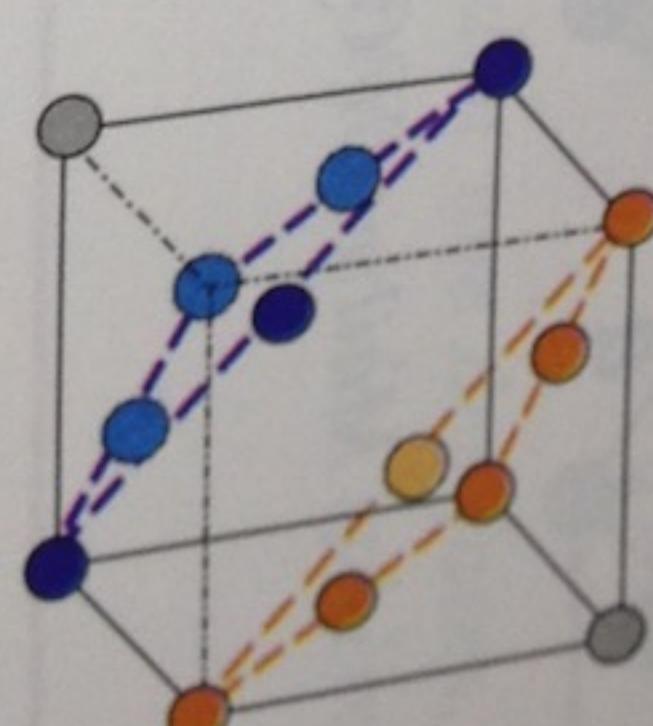
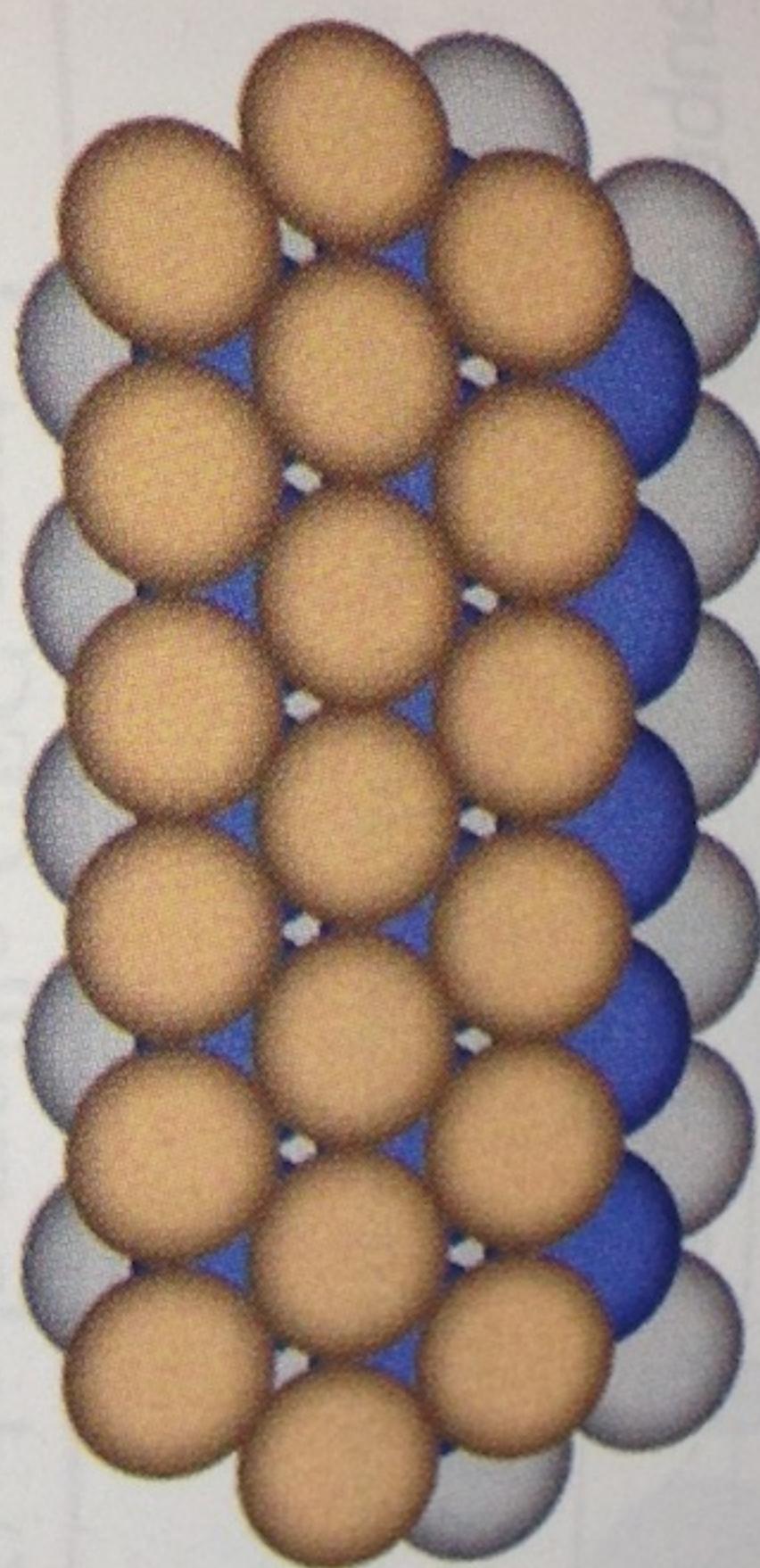
Superposition de deux plans compacts.

On peut à nouveau ajouter un plan compact au-dessus, avec deux possibilités. Soit le troisième plan se superpose avec le premier (plan A ci-dessus). On obtient alors un empilement de type AB.



Empilement de trois plans de type AB, engendrant un empilement hexagonal compact.

Si le troisième plan ne se superpose pas au premier, on obtient un empilement de trois plans différents ABC. En continuant l'empilement de la même manière, le quatrième plan correspond à une **maille dite Cubique à Faces Centrées** (CFC), avec des noeuds aux sommets et au centre de chaque face du cube.



Empilement de trois plans de type ABC. A droite, la maille CFC correspondante, avec les différents plans figurés dans les mêmes couleurs que l'empilement.

Propriétés des mailles cristallines

Il nous allons considérer que les noeuds des mailles sont occupés par des sphères dures