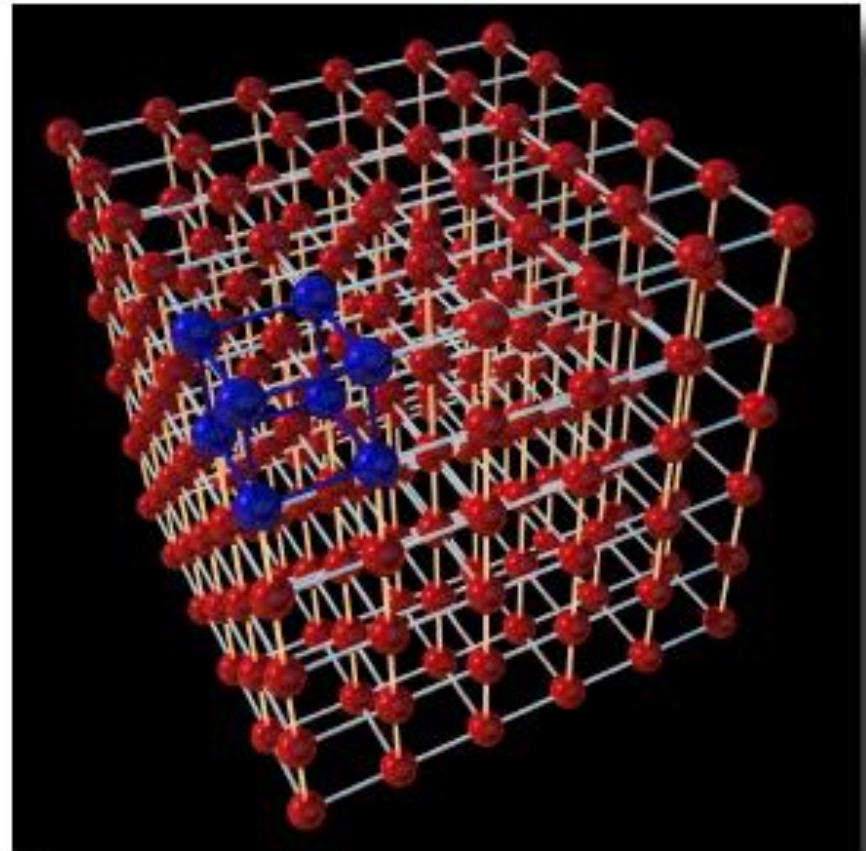
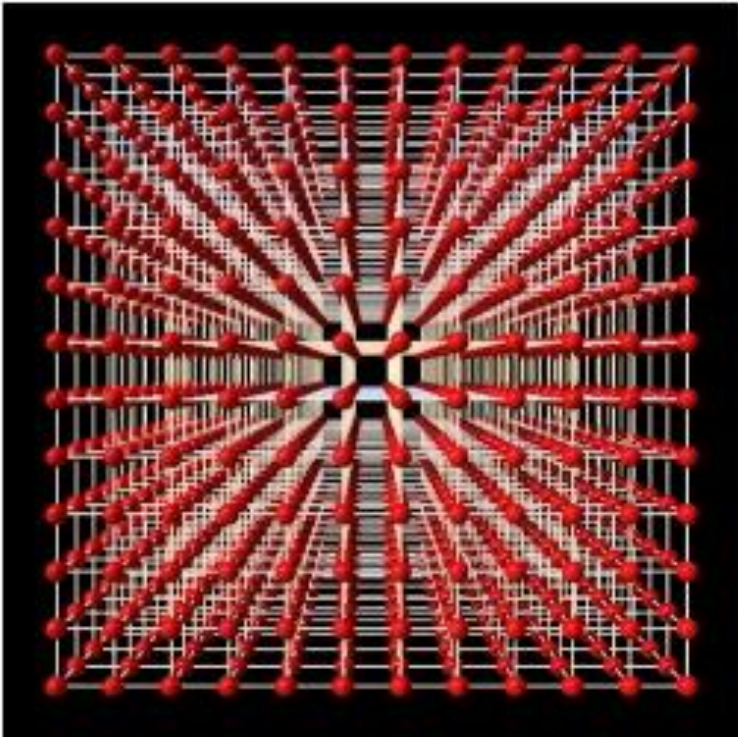


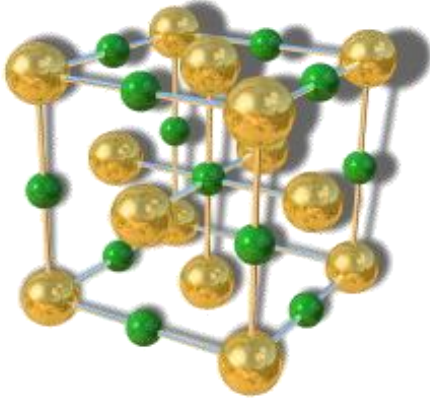
# B. Le cristal

## 1. Définitions et structures

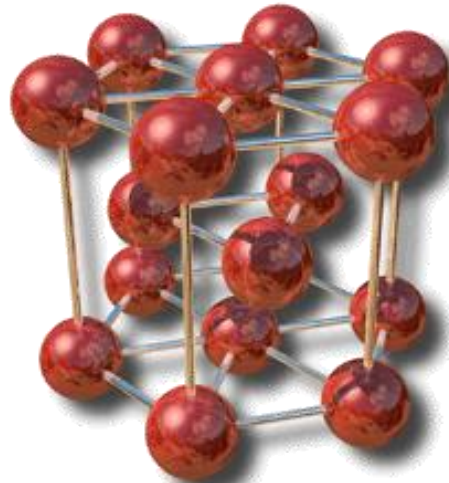
A l'échelle microscopique, les cristaux sont le résultat d'empilements de motifs (atomes, ions, molécules) de façon régulière dans les trois directions de l'espace. Ils forment des structures périodiques. On a représenté ci-contre un fragment de réseau périodique cubique. Les motifs sont figurés par des sphères rouges. Les liens entre motifs ne préjugent pas de l'existence de liaisons chimiques entre les motifs



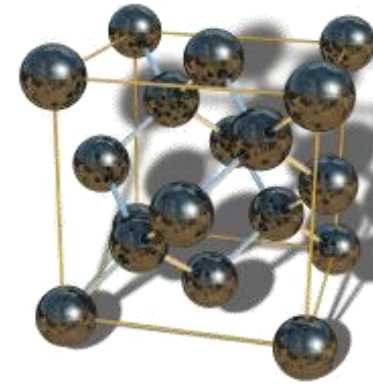
## a. Exemples



Chlorure de sodium (NaCl)



Magnésium Mg



Carbone Diamant (C)

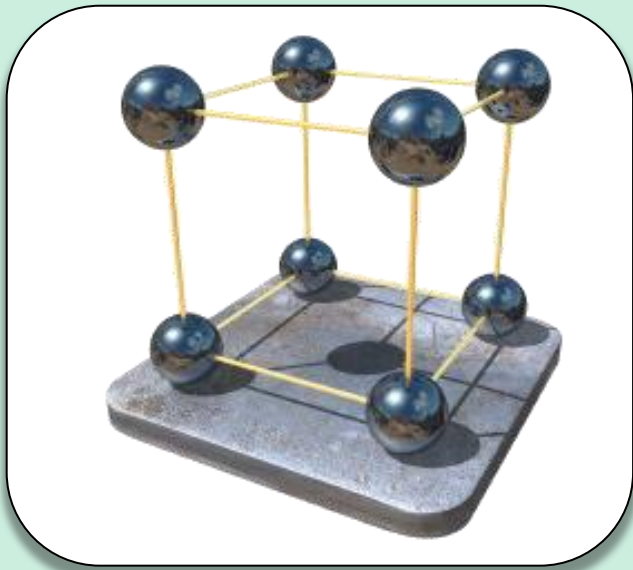
Pour le magnésium (Mg), qui est un métal, il n'y a pas de liaison chimique entre ces atomes au sens de la liaison covalente. Les électrons de valence des atomes de Mg adoptent un comportement métallique. Les  $e^-$  sont délocalisés sur tout le cristal (« mer » d' $e^-$ ).

## b. La maille

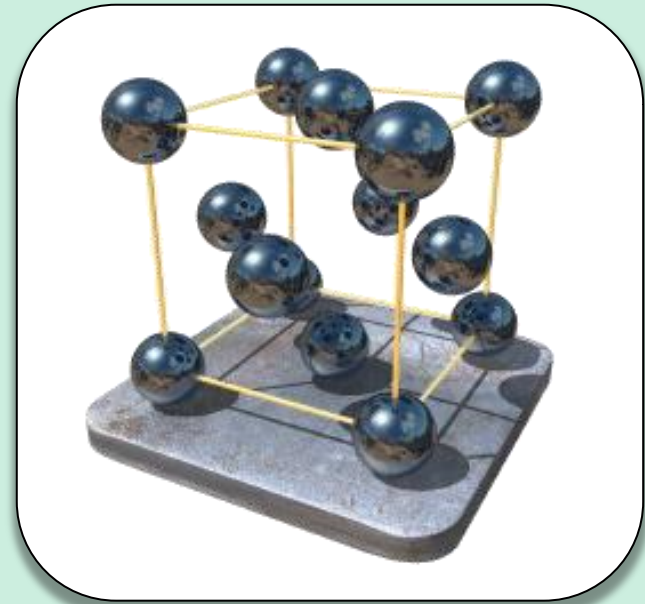
On ne s'intéressera qu'aux mailles cubiques.

Une **maille élémentaire** peut être simple ou multiple. Une **maille simple** contient un groupement formulaire, une **maille multiple** peut contenir plusieurs groupements.

Le nombre de groupements formulaires est appelé **multiplicité de la maille**



*maille simple cubique*

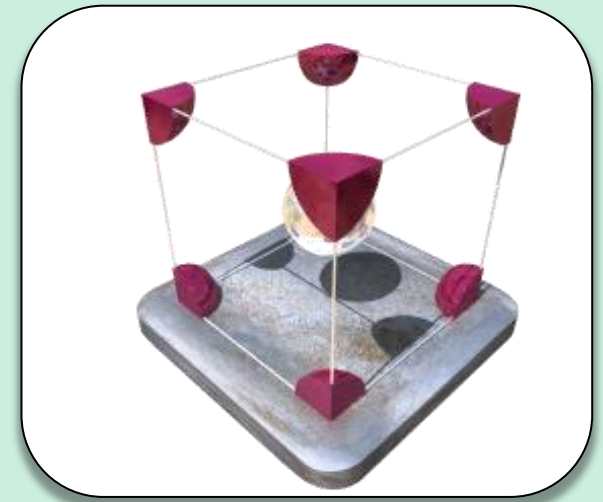


*maille multiple cubique*

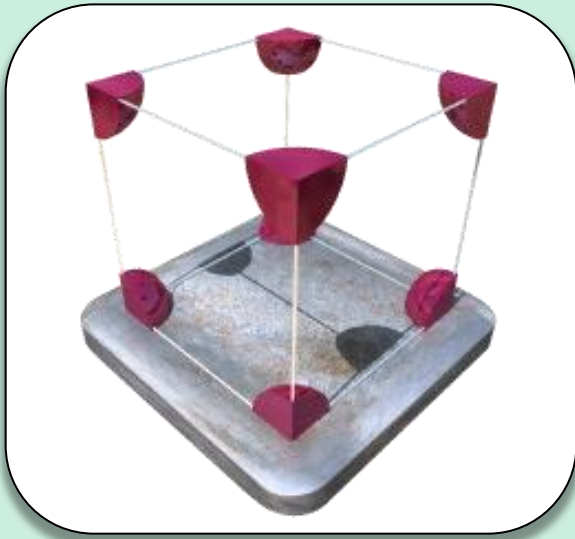
### c. La compacité

#### Décompte des groupements formulaires

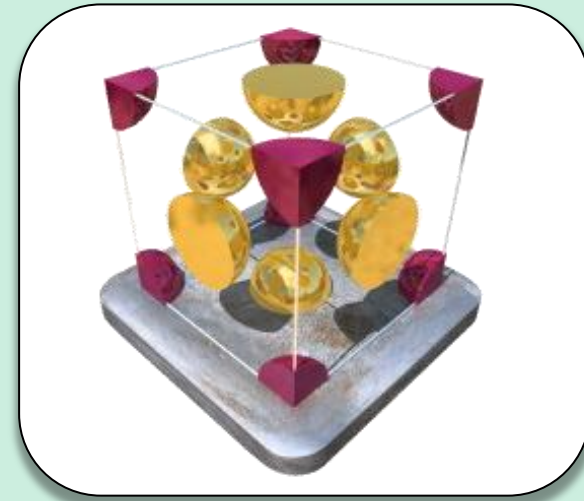
- Un atome à l'intérieur de la maille compte pour 1
- Un atome sur une face compte pour  $\frac{1}{2}$
- Un atome sur une arête compte pour  $\frac{1}{4}$
- Un atome sur un sommet compte pour  $\frac{1}{8}$



La maille contient donc un atome **A** et un atome **B**, soit un groupement formulaire  $AB$



Cette maille contient donc un seul atome **A**



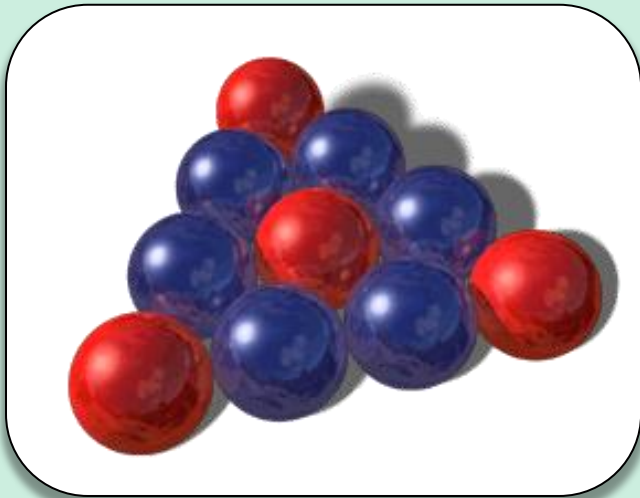
La maille contient 1 atome **A** et 3 atomes **B**, soit un groupement formulaire  $AB_3$



# Les empilements compacts

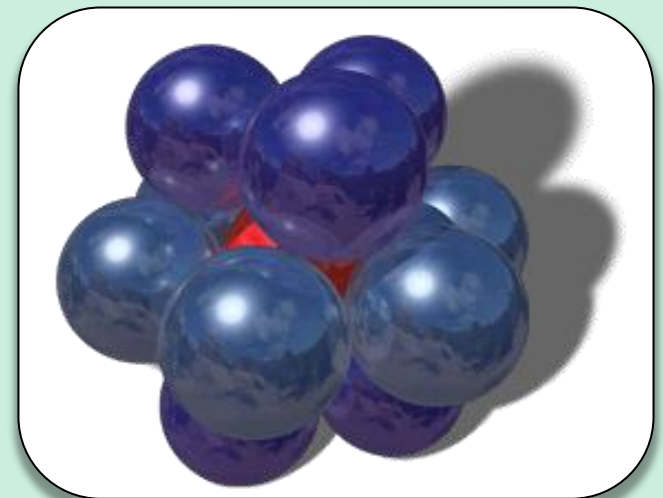
Dans les cristaux de métaux, les atomes sont considérés comme des sphères rigides qui s'empilent de façon à occuper le moins de place possible. Une grande compacité permet en effet de maximiser les forces de cohésion du cristal.

Dans le plan (**A**) ci-dessous, un atome (en rouge) est entouré par six autres atomes identiques (en bleu). C'est un plan compact

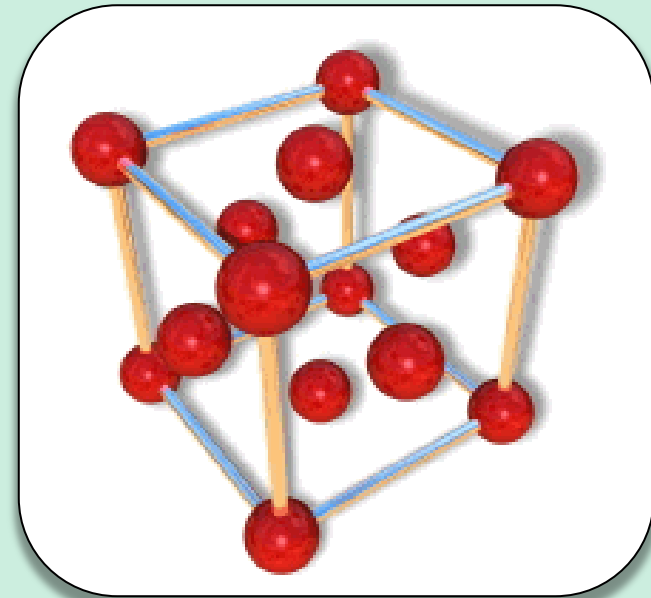
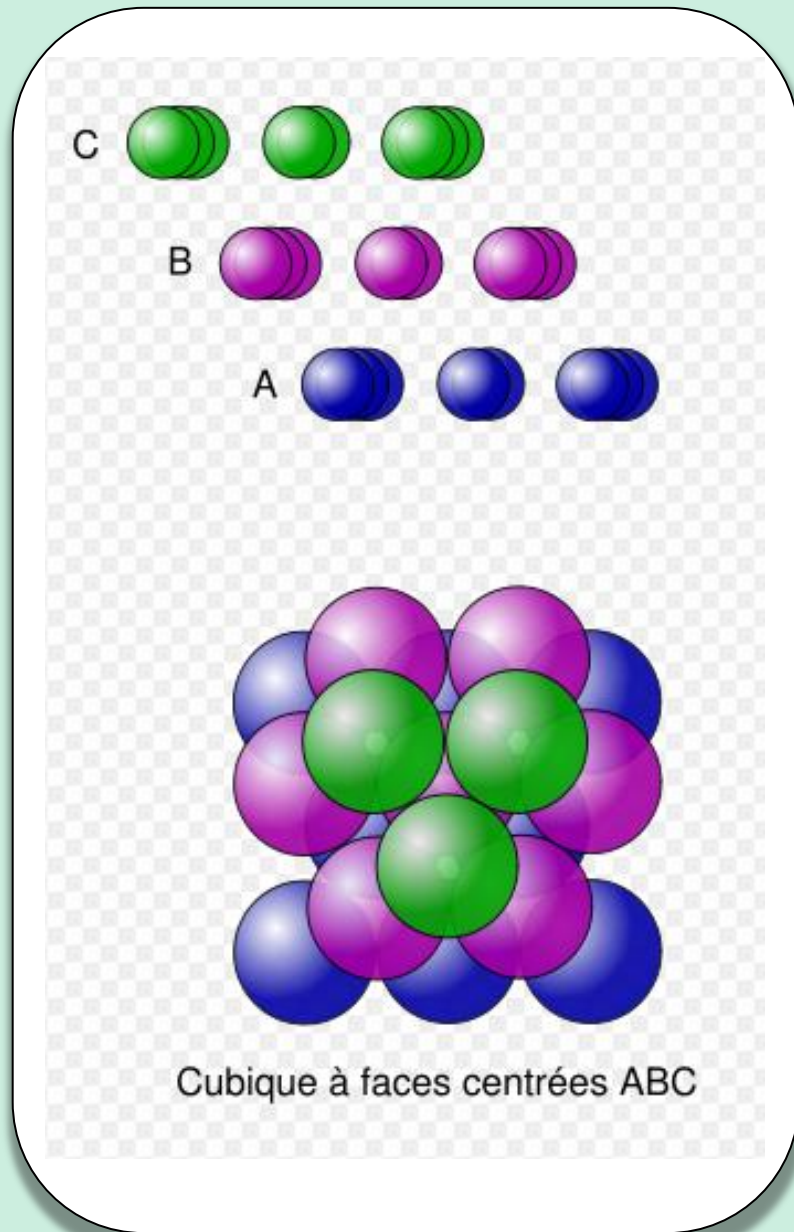


*arrangement compact dans un plan*

Au dessus et au dessous du plan **A**, 3 atomes viennent se placer contre l'atome central en utilisant la place libre entre trois atomes contigus. L'atome central possède alors douze voisins ; on dit alors qu'il est de **coordinnence 12**. C'est la coordinnence maximale.



Comment réaliser un assemblage compact par une succession de plans de sphères ?  
→ Plan A, puis B, puis C (tous décalés) : **ABC**

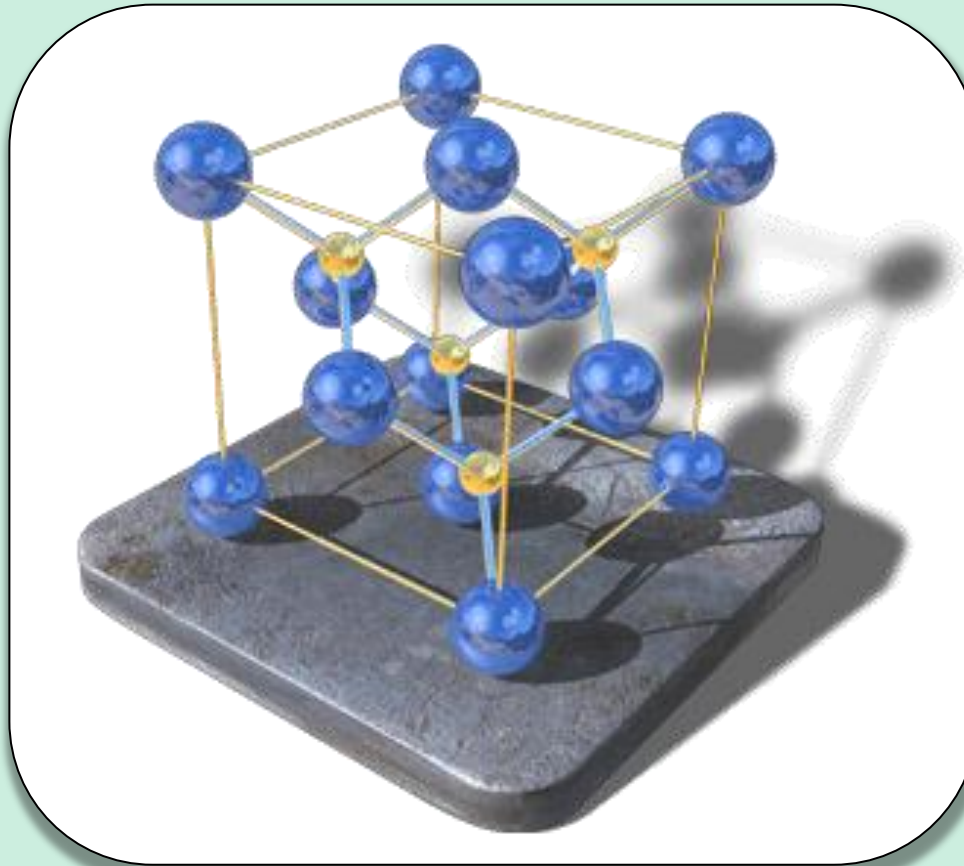


Al, Ca, Ni ou Cu : assemblage  
cubique faces centrées  
**(cfc)**

## 2. Structure du silicium cristallin

Le silicium Si, ou le germanium Ge, cristallisent dans le système cubique à faces centrées CFC. Ces atomes sont représentés en bleu.

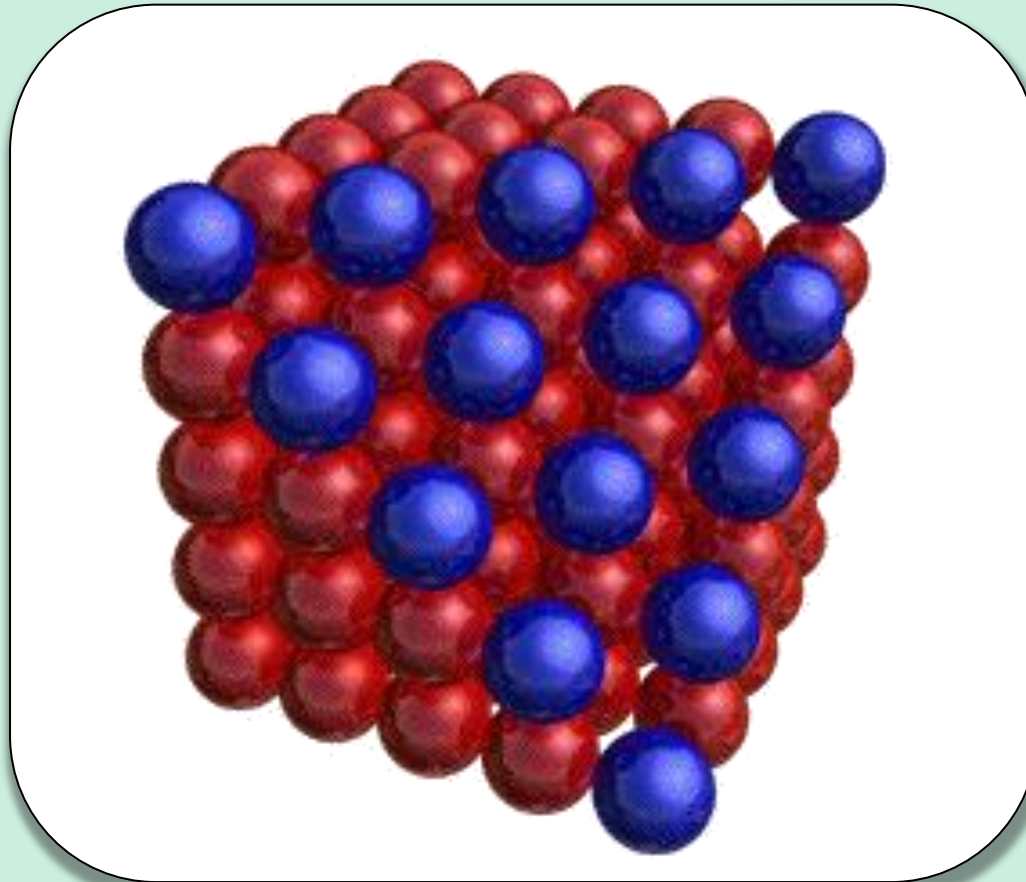
A cela s'ajoute 4 autres atomes au centre de quatre sites tétraédriques (en jaune).



### 3. Les plans réticulaires

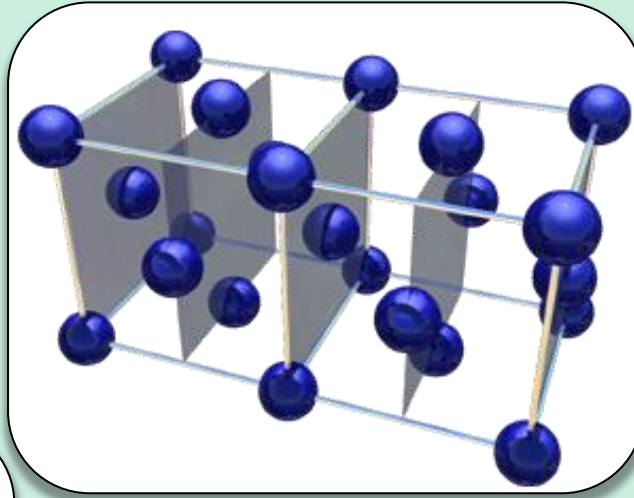
#### a. Le plan : une surface

Les plans constitués par les noeuds du réseau sont appelés **plans réticulaires**. Cicontre en bleu, un plan réticulaire particulier dans un réseau cubique. Il existe plusieurs types de plans qui se distinguent par leur orientation par rapport au réseau



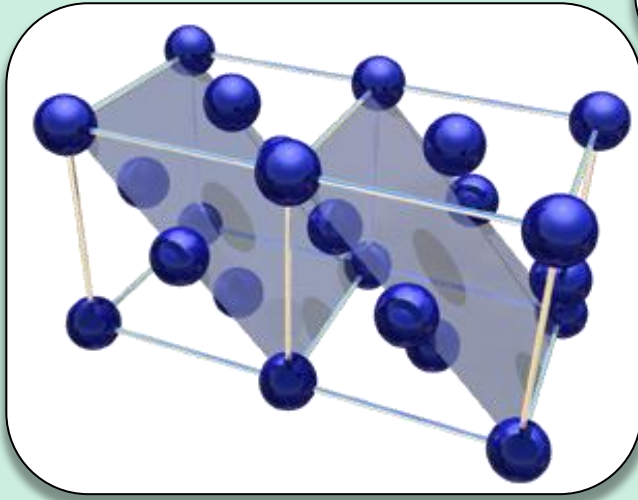


## b. Les familles de plans

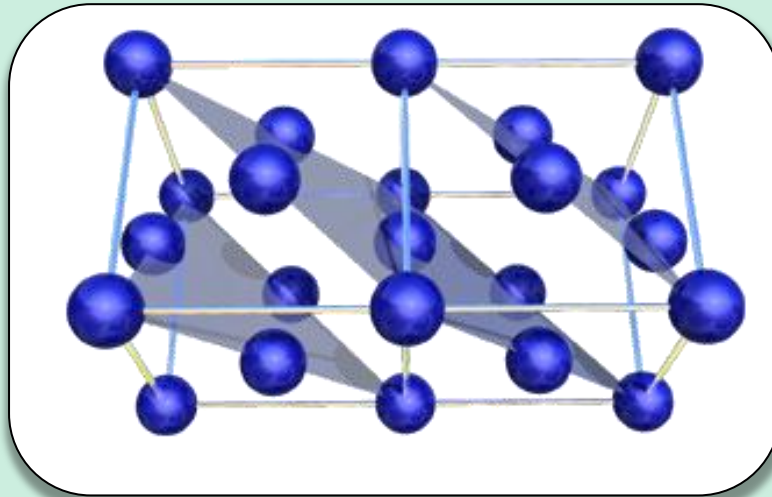


Ci-contre une famille de plans réticulaires dans un réseau cubique faces centrées. La distance entre chaque plan vaut :

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



Une autre famille de plans.  $d = \frac{a}{\sqrt{2}}$



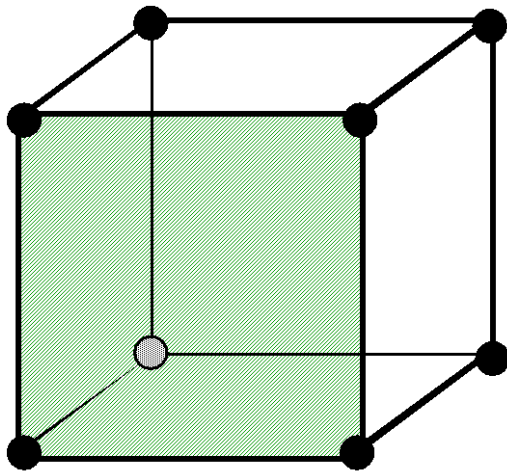
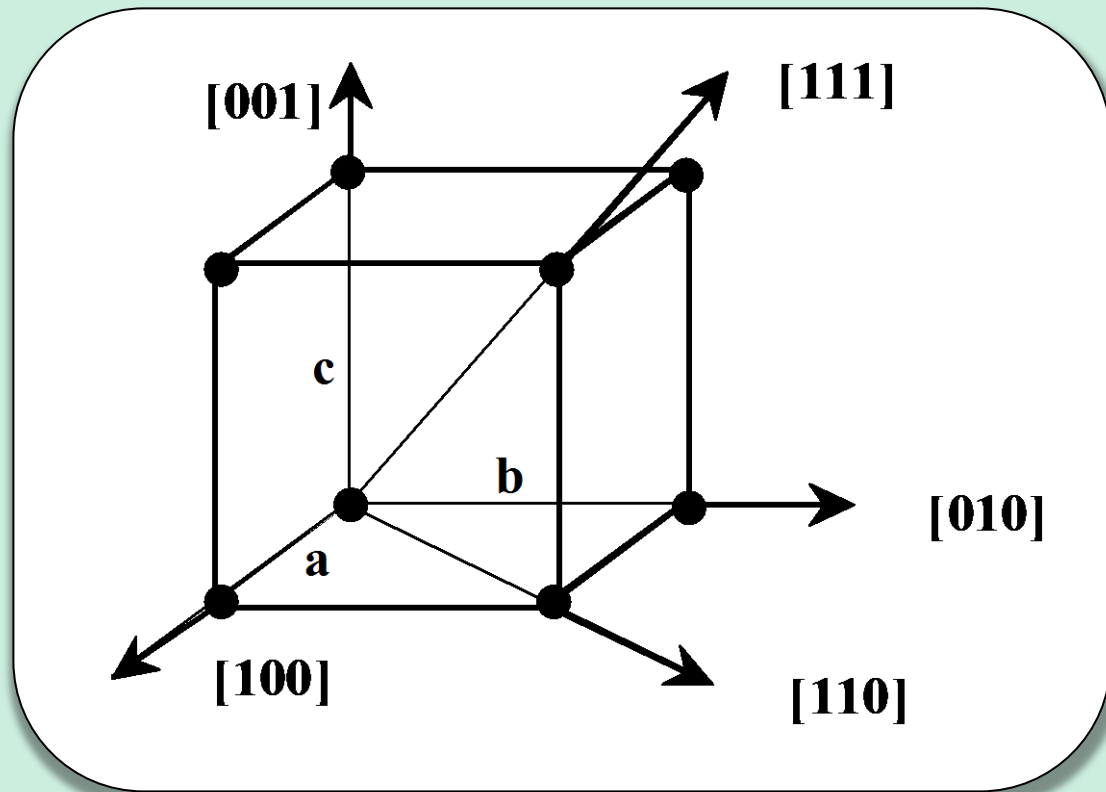
Et ici,  $d = \frac{a}{\sqrt{3}}$

### c. Indices de Miller

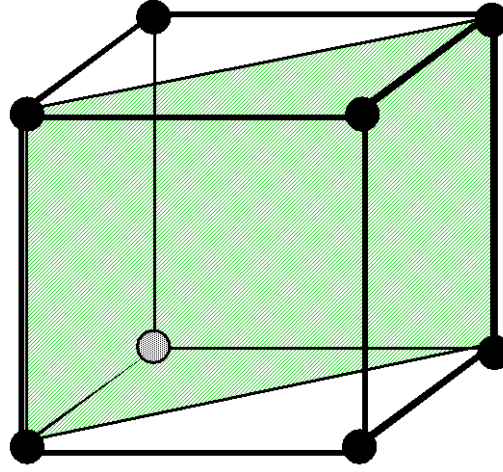


**Permet de nommer  
les plans**

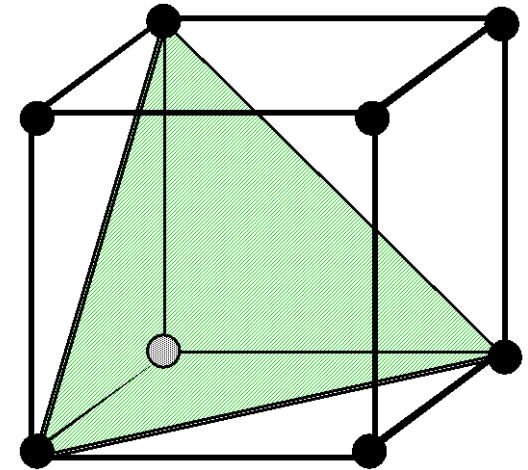
**Notation : (h k l)**



**(100)**



**(110)**



**(111)**

## 4. Intermède techno. : la fabrication des wafer de Si

### Origines du Silicium

C'est le deuxième élément le plus abondant de la croûte terrestre :  
O (46%), Si (28%), Al (8%)

Les sources naturelles sont essentiellement les sables.

Il doit être purifié afin d'obtenir un Si de qualité métallurgique  
(**M**etallurgic **G**rade **S**ilicon)  
puis encore purifié pour obtenir la qualité électronique ou **EGS**  
(**E**lectronic **G**rade **S**ilicon).

### Pourquoi une telle pureté ?

Le Si EGS doit être un cristal quasi-parfait.

On peut maîtriser la concentration d'atomes dopants au niveau de  $10^{14} \text{ cm}^{-3}$ .

Ca représente une partie par milliard (ou 0,001 ppm) !

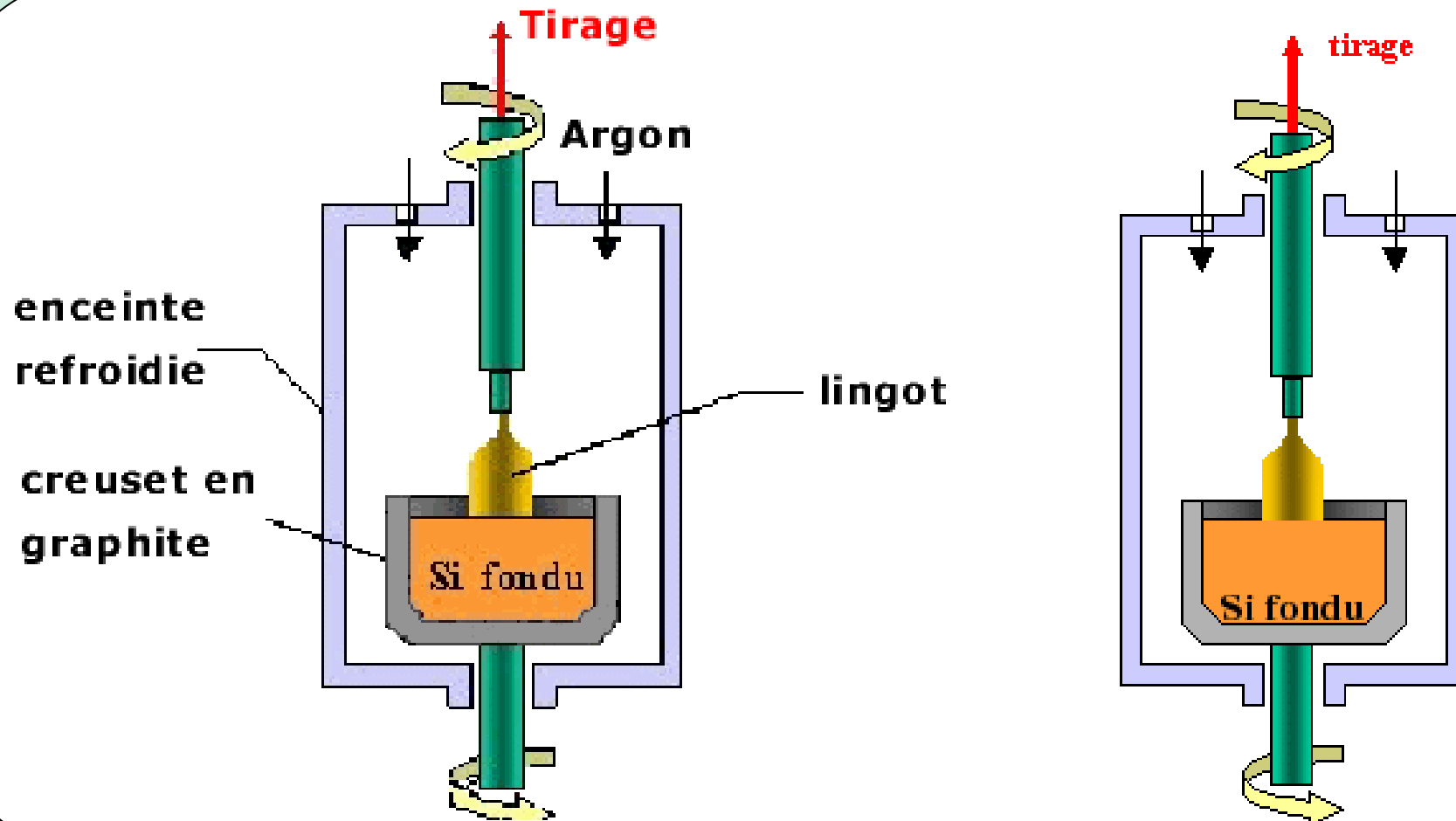
Il faut donc un Si encore plus pur !



Sera encore purifié après fabrication des wafers

## Fabrication du cylindre de Si

Méthode de tirage du cristal, appelée méthode "**Czochralski**".



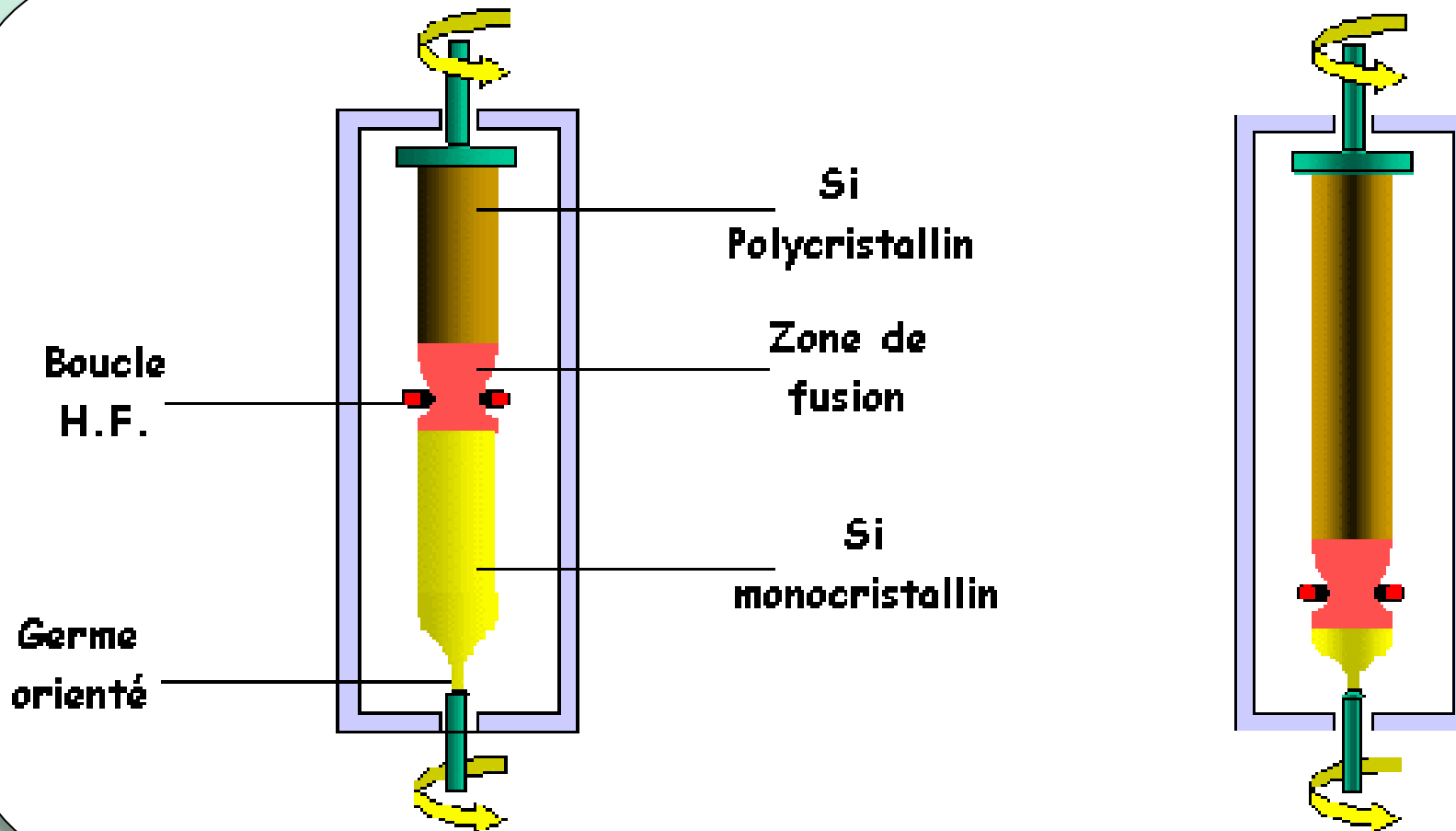
La température et la vitesse de tirage déterminent  
la qualité de la cristallisation



## Fabrication du cylindre de Si

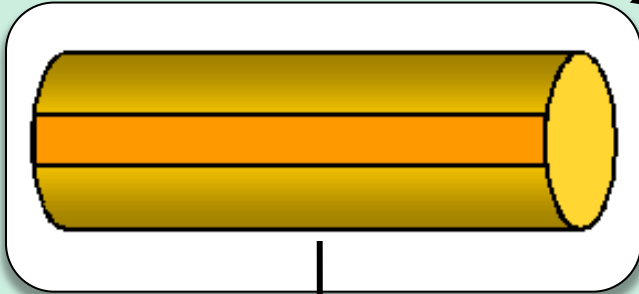
Méthode de **fusion de zone**

On utilise un courant d'induction, très fort, qui chauffe le Si, qui recristallise en monocristal

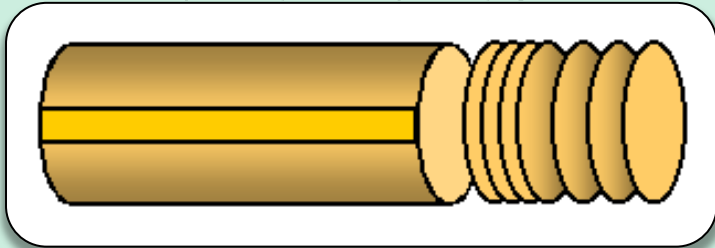


## Fabrication des « wafers » (plaquettes) de Si

On inspecte la qualité

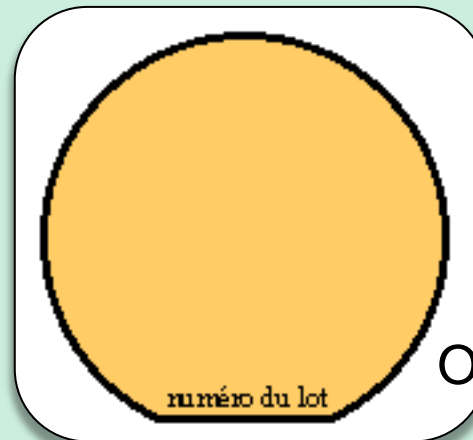
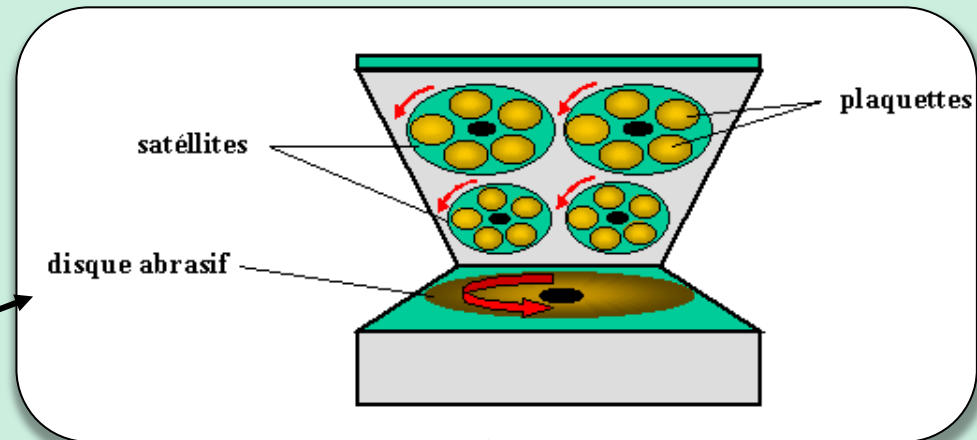


On coupe ensuite selon le plan  
cristallographique souhaité, le + souvent  
(100) ou (111) pour le Si



On découpe la « carotte »

On effectue un polissage de surface



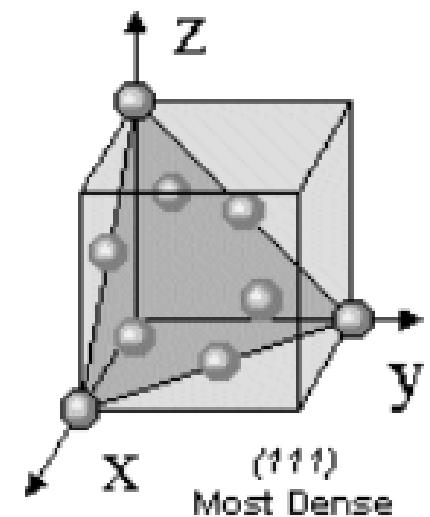
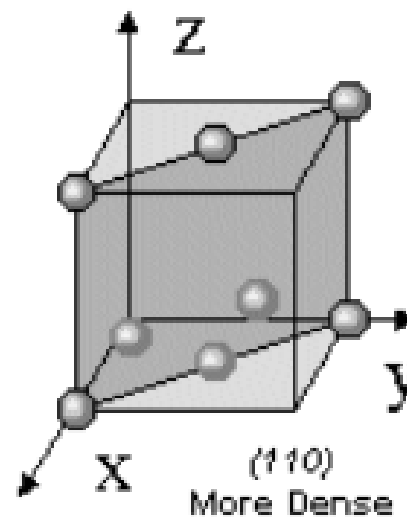
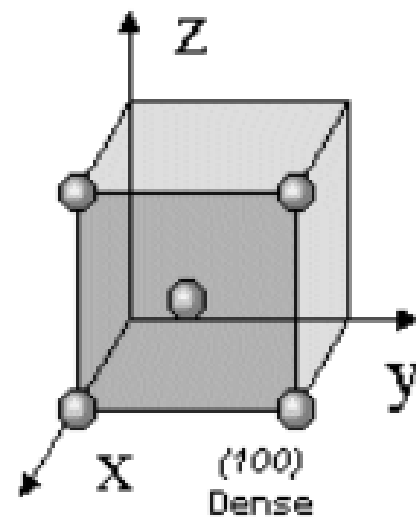
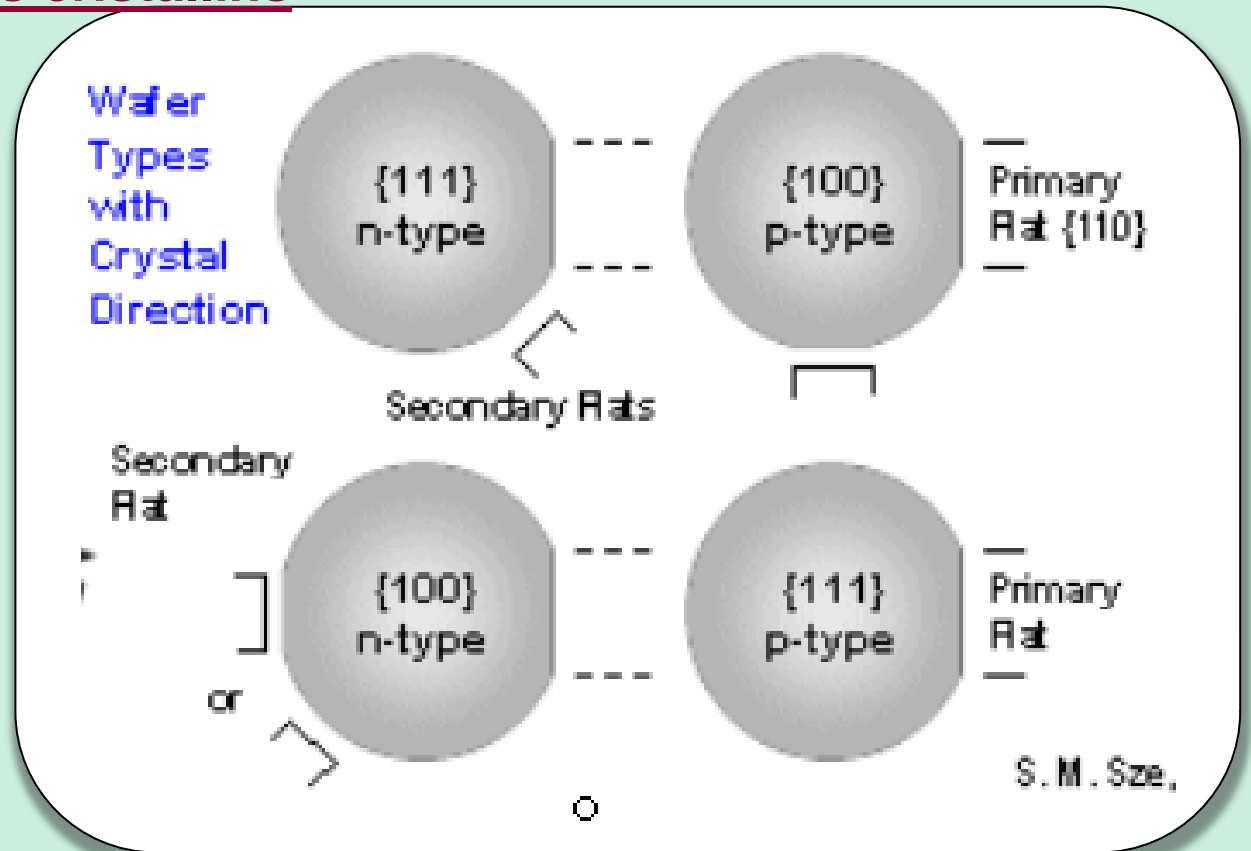
On obtient le produit fini

## Marquage des wafers, et plans cristallins

Selon la cristallisation du Si, on coupe les wafers différemment (pour les différencier).

Les plans de cristallisation n'ont pas la même densité d'atomes.

Ils n'ont donc pas les mêmes propriétés électriques !



## Evolution de la taille des wafers

Grâce aux progrès techno.,  
le diamètres des wafers a  
énormément augmenté depuis  
40 ans

1964 : 25 mm  
1969 : 50 mm  
1974 : 75 mm  
1978 : 100 mm  
1982 : 125 mm  
1985 : 150 mm  
1990 : 200 mm  
1998 : 300 mm  
**2006 : 450 mm**

