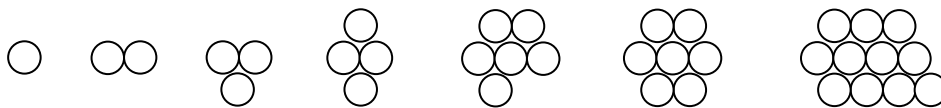


Autour de la cristallographie

1. Empilement de sphères

On place des atomes les uns à côté des autres :

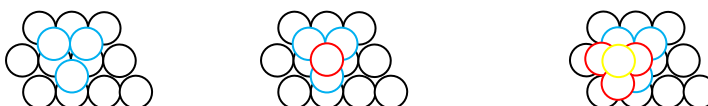


Puis des atomes au-dessus de la 1^{ère} couche (noire), puis de la seconde (bleue):



On constate que la 3^{ème} couche (rouge) se superpose à la 1^{ère}.

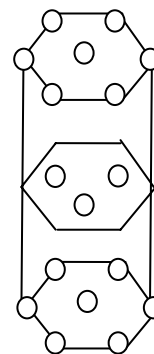
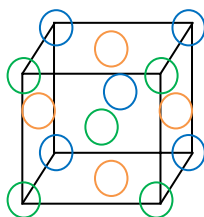
Si on utilise le trou d'à côté, c'est la 4^{ème} couche (jaune) qui se superposera à la 1^{ère} :



On rappelle que la matière constituée d'atomes est telle que quelques grammes de matière est donc l'association de quelques 100.000 milliards de milliards d'atomes. Le cristal est ensemble ordonné et très collectif. L'unité de quantité de matière est la mole soit $6,02 \cdot 10^{23}$ atomes.

2. Empilement compact cubique faces centrées et hexagonal compact

Cette empilement le plus serré possible correspond à des mailles de type soit cubique faces centrées, soit hexagonale compacte :



Les plans verticaux différents du cfc sont représentés par des atomes de couleur différente.

Ces arrangements atomiques ont la même compacité (rapport du volume occupé par les atomes sur le volume de la maille) de 74 %. C'est le remplissage maximum, celui où il y a le moins de vide soit 26 %.

On rappelle que le volume d'une sphère est $V = \frac{4}{3}\pi R^3$ et que le volume d'un cube est $V = a^3$. Dans un réseau cubique faces centrées les atomes sont tangents suivant la diagonale d'une face d'où on a $4R = a\sqrt{2}$. De plus, il y a 4 atomes par maille. En effet, chacun des 8 atomes aux sommets du cube appartiennent à 8 cubes et chacun des 6

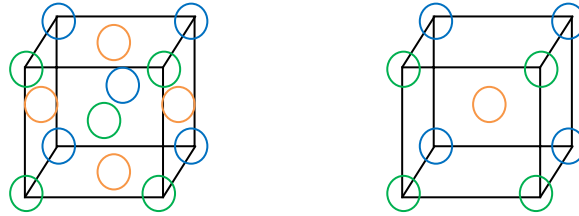
atomes aux centres des faces appartiennent à 2 cubes d'où $n = 8 \times 1/8 + 6 \times 1/2 = 4$.

Par conséquent, la compacité est :

$$c = \frac{4 \times \frac{4}{3} \pi R^3}{a^3} = 4 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{R}{a}\right)^3 = 4 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{2}}{4}\right)^3 = \pi \frac{\sqrt{2}}{6} = 0,74 \text{ soit } 74 \%$$

3. Une diversité de réseaux cristallins

Le fer qui est l'un des éléments les plus stables de la nature peut être cubique faces centrées appelé fer γ ou cubique centré appelé fer α :



Le réseau cubique centré a une compacité de 68 %. Les 4 atomes suivant la grande diagonale de la maille sont tangents $4R = a\sqrt{3}$. Chaque maille a 2 atomes en propre $n = 8 \times 1/8 + 1 = 2$. La compacité est donc :

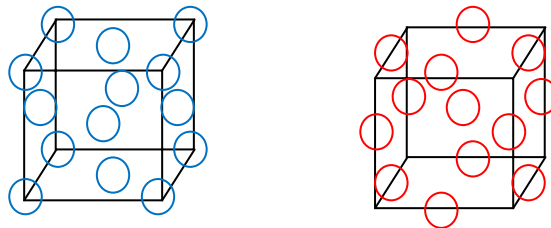
$$c = \frac{2 \times \frac{4}{3} \pi R^3}{a^3} = 2 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{R}{a}\right)^3 = 2 \times \frac{4}{3} \pi \left(\frac{\sqrt{3}}{4}\right)^3 = \pi \frac{\sqrt{3}}{8} = 0,68 \text{ soit } 68 \%$$

Le carbone a des caractéristiques très différentes suivant qu'il est sous la forme diamant de type cubique, graphite de type hexagonal, voire graphène de type polyèdre ou tubulaire. Ces 2 derniers font partie de la famille des très contemporains nanomatériaux. A l'opposé, on peut noter aussi que la suie est du carbone amorphe.

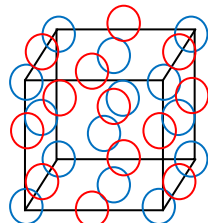
4. Des cristaux plus complexes

Les cristaux peuvent être formés d'éléments de natures différentes.

C'est le cas par exemple pour le sel ordinaire, le chlorure de sodium. Il est formé d'ions Na^+ et d'ions Cl^- . Les charges électrostatiques contribuent à la stabilité de la structure : Chaque ion suit un réseau cubique faces centrées représentés ci-dessous en bleu et en rouge :

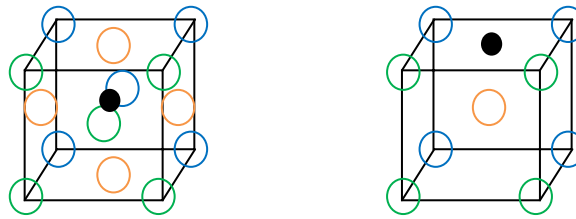


Le chlorure de sodium correspond à la superposition :



Les trous des réseaux cristallins peuvent aussi être utilisés. Des atomes plus petits vont se placer dans ces espaces. C'est le cas typiquement du carbone qui avec le fer va former la famille des alliages fer-carbone qui forment les aciers et les fontes.

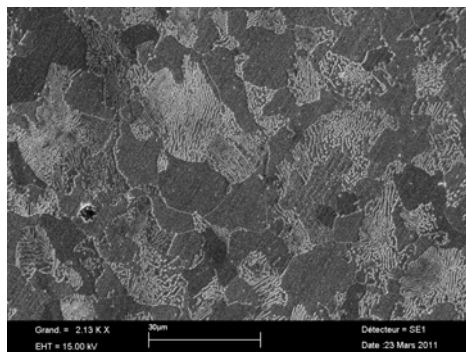
Un atome de carbone va se placer par exemple au centre de la maille cubique faces centrées du fer γ et donner de l'austénite ou au centre d'une face de la maille cubique centrée du fer α et former de la ferrite :



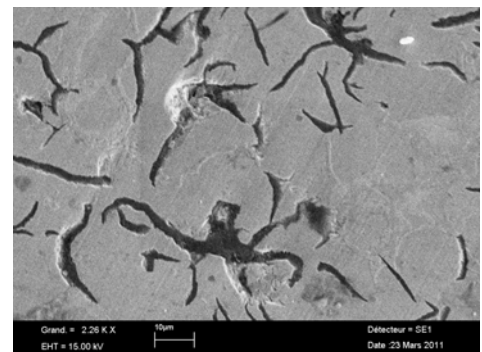
A noter que le rayon atomique du fer est de l'ordre de 0,124 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$) et que celui du carbone est de l'ordre de 0,077 nm. Cette insertion est donc forcément limitée puisqu'elle repousse les atomes voisins mais ses effets sont fondamentaux et justifie l'importance des aciers.

5. Observer les cristaux

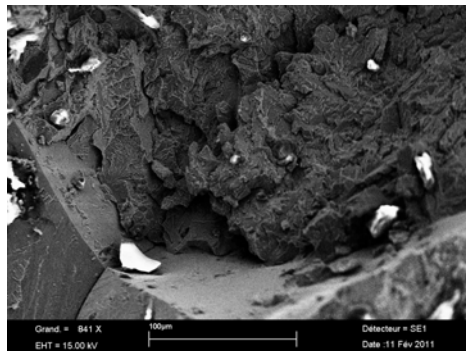
L'observation à l'œil nu donne de premières indications mais assez limitées. On peut distinguer sans problème un alliage à base d'aluminium, de fer ou de cuivre : la masse, la couleur, l'aspect de la surface... L'aspect de la cassure donne aussi des indications. L'observation au microscope optique et encore plus au microscope électronique réservent des surprises. En effet, le MEB permet d'obtenir des grossissements plus importants et aussi de voir en relief.



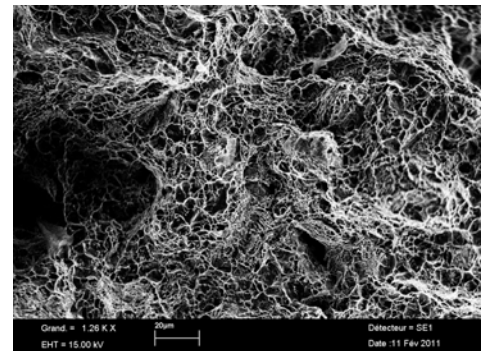
Acier à environ 0,4 % de carbone en masse. On voit les joints de grains, des zones foncées de ferrite et des zones lamellaires de perlite.



Fonte grise à 4% de carbone avec des lamelles de carbone dans la ferrite dont on voit les joints de grains.



Cassure fragile avec des zones lisses correspondant aux plans de glissement et des zones perturbées avec des « rivières »



Cassure ductile où l'alliage s'est étiré et forme des alvéoles.