

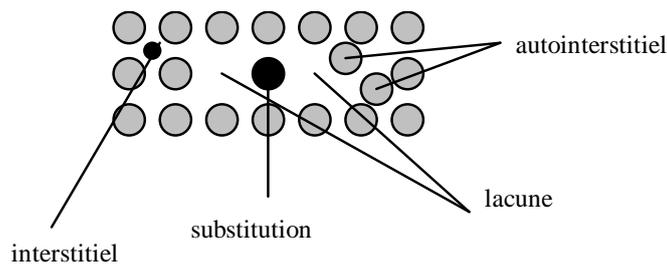
Les défauts cristallins

Le cristal parfait n'existe pas. Les atomes ne sont pas placés systématiquement à l'endroit prévu que cela soit dans le réseau cristallin de base ou dans les sites d'insertion ou de substitution.

En effet, les atomes sont en continuelle agitation et se déplacent les uns par rapport aux autres. De plus, la présence d'un atome étranger en insertion ou en substitution déforme la maille et donc la position des atomes.

1. Les défauts ponctuels

Soit un cristal cubique simple, on distingue :



Les lacunes facilitent le déplacement des atomes. C'est la diffusion qui naturellement est visible si les atomes sont de natures différentes.

Le nombre de lacunes comme celui des auto-interstitiels dépend essentiellement de la température. Il suit la loi d'Arrhenius : $d = \frac{N_l}{N_t} = e^{-\Delta H/RT}$ où d est la densité en lacunes, N_l le nombre de lacunes, N_t le nombre d'atomes, ΔH l'enthalpie pour créer une mole de lacunes en $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ et T la température en K.

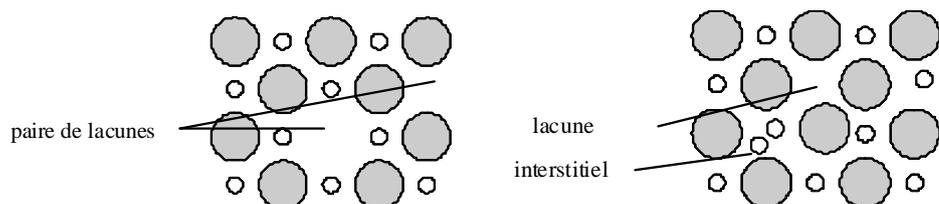
Exemple du cuivre :

T en °C	d en lacunes	d en auto-interstitiels
25	$2,2 \cdot 10^{-17}$	$2,2 \cdot 10^{-67}$
750	10^{-5}	10^{-20}

On en déduit pour les lacunes $\Delta H \approx 95.000 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} \approx 1 \text{ eV}$ par lacune et pour les auto-interstitiels $\Delta H \approx 4 \text{ eV}$ par auto-interstitiel.

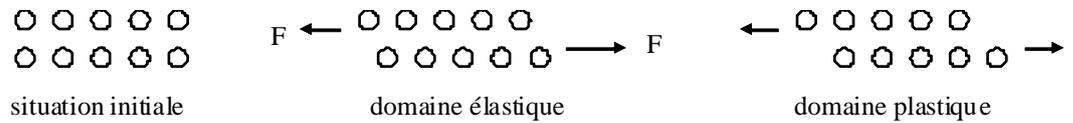
On rappelle que $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$ et que le nombre d'Avogadro est $N = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$.

Remarque : dans le cas d'un cristal ionique, il faut assurer la neutralité électrique. Il y a donc toujours 2 défauts associés. On distingue les défauts de Schottky associant 2 lacunes et les défauts de Frenkel associant une lacune et un interstitiel :

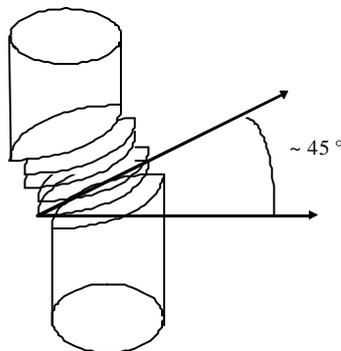


2. Les défauts linéaires ou dislocations

Ils résultent de la déformation du matériau : traction, contraction, torsion conduisent à des déformations plastiques qui se traduisent par des lignes de dislocations. On le comprend avec le modèle simple dans un réseau cubique simple :



Les atomes finissent par se déplacer de façon permanente les uns par rapport aux autres. Cela peut se voir sur l'échantillon sous la forme de bandes, appelées bandes de Luders à la limite élastique puis sous la forme de marches durant la déformation plastique :

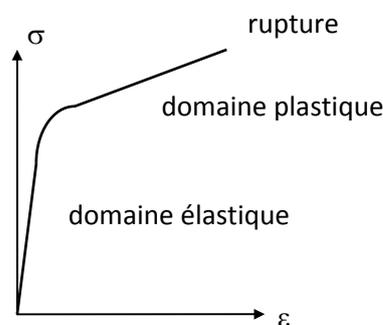


On note que la déformation élastique des matériaux suit la loi de Hooke (1679), contemporain et concurrent de Newton, $\sigma = E \varepsilon$ où $\sigma = \frac{F}{S}$ en MPa résistance à la traction et $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ allongement de l'échantillon. E est le module d'Young en MPa.

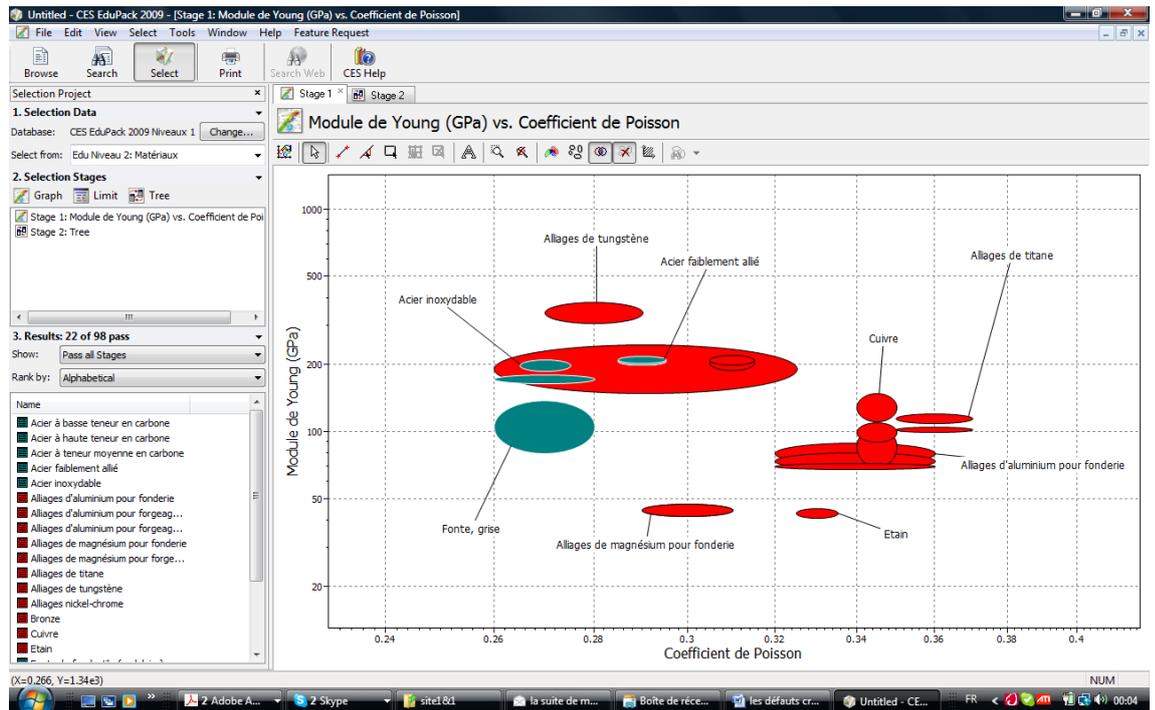
On peut aussi définir le coefficient de Poisson tel que $\varepsilon_x = \varepsilon_y = -\varepsilon_z$. En effet, l'éprouvette en traction s'allonge suivant la direction de traction et se rétrécit suivant les 2 autres directions de l'espace.

La déformation plastique est de la forme $\sigma = k\varepsilon^n$ où n est le coefficient d'écroutissage.

On obtient l'allure de la courbe de traction suivante :



Quelques valeurs caractéristiques pour différents matériaux métalliques dans la partie élastique :



Quelques caractéristiques dans la partie plastique :

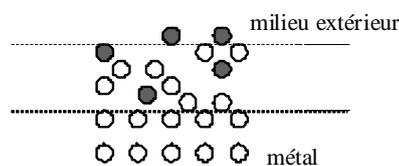
	n coefficient d'érouissage	$k = \frac{\sigma}{\epsilon^n}$ en MPa
acier bas carbone recuit	0,26	530
acier allié (4340)	0,15	640
acier inox (304)	0,45	1275
alliage aluminium (2024)	0,16	690
cuivre recuit	0,54	315
laiton (70 % Cu, 30 % Zn)	0,49	895

On peut définir la densité de dislocation $d = \frac{\text{longueur des dislocations}}{\text{volume du cristal}}$. Le résultat est souvent donné en $\text{mm}/\text{mm}^3 = \text{mm}^{-2}$.

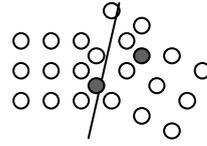
Le résultat est souvent donné en $\text{km} \cdot \text{cm}^{-3}$.

3. Les défauts surfaciques

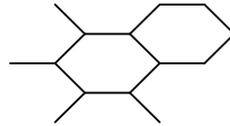
Ils correspondent le plus souvent à la séparation entre 2 milieux. Cela peut être la surface de séparation entre la pièce et le milieu extérieur.



Cela peut correspondre à la surface de séparation entre 2 milieux ordonnés. Il s'agit de la surface entre 2 milieux ordonnés. On met ici en évidence les joints de grains :



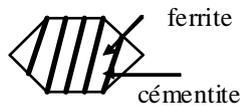
Et les grains tendent à avoir une forme stable hexagonale :



Les grains ont des tailles variables mais pour un traitement donné du grain austénitique, la norme détermine un indice de grosseur de grain G qui prend des valeurs entières tel que : $n = 8 \times 2^G$ où n est le nombre de grains par mm^2 qui est déterminé en général à partir de la connaissance du grandissement de l'image de l'échantillon observé.

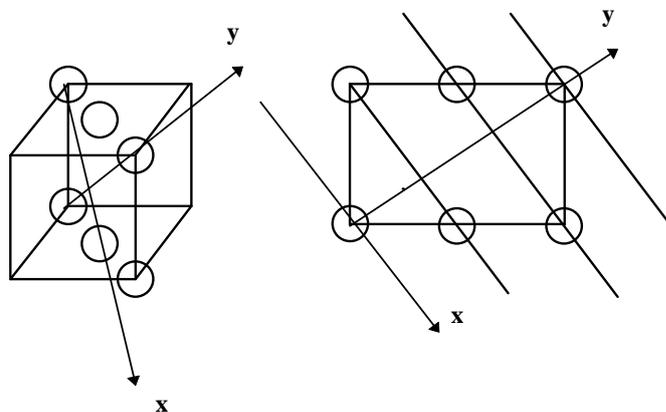
On note que la taille du grain est lié à la contrainte maximum du matériau. C'est la loi de Hall-Petch $\sigma_m = \sigma_0 + k d^{-1/2}$ où d est le diamètre moyen du grain.

L'alternance entre la ferrite et la cémentite dans la perlite lamellaire est aussi une succession de zones de défauts :

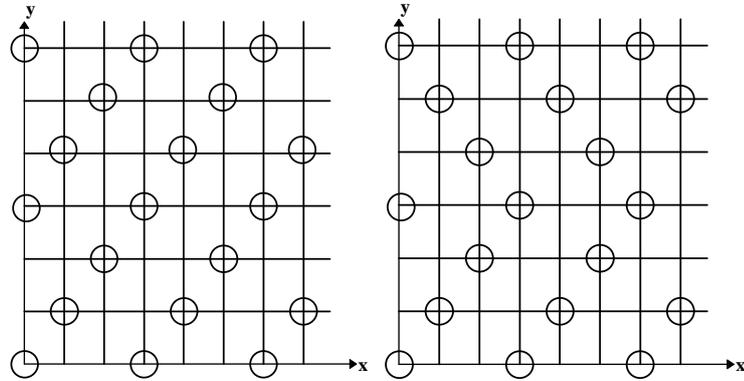


On aussi des zones de maillage où par déformation plastique se forment des répartitions symétriques des atomes. Le maillage est caractéristique des systèmes compacts cfc et hc.

Considérons un plan diagonal du réseau cfc et les 2 directions perpendiculaires notées x et y :



Ci-dessous, à gauche, sont représentés le cristal parfait et à droite la mise en évidence d'une faute d'empilement avec un plan de macle qui est un plan de symétrie du cristal :



L'enchaînement des plans verticalement est ABCABCABC... pour le cristal cfc parfait, devient avec la présence d'un plan de macle ABCABCBACBA... Le plan A horizontal est un plan de macle.

Le maillage lors d'une contrainte provoque souvent le cri du métal.