

Chapitre 2 : Imperfections du réseau cristallin

I. Défauts

Les métaux et leurs alliages utilisés dans l'industrie ne présentent pas des structures cristallines parfaites. Les erreurs d'empilement, qui peuvent être ponctuels, linéaires ou surfaciques, auront des effets sur les propriétés d'usage de ces matériaux.

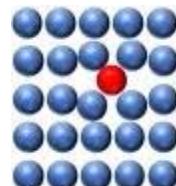
I.1. Défauts ponctuels

Les défauts ponctuels dans les solides cristallins peuvent se diviser en trois catégories :

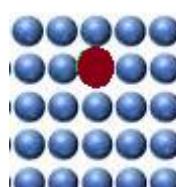
- **Lacunes** : une lacune est l'absence d'un atome ou d'un groupe d'atomes d'un site cristallographique laissant un vide au niveau de la maille. Ceci engendre une distorsion du réseau par déplacement des atomes voisins vers le vide créé pour établir une nouvelle position d'équilibre et donc une nouvelle énergie de liaison. Lors des traitements thermiques, les lacunes jouent un rôle important dans la diffusion des atomes à grande échelle. Leurs nombre dépend de la température.



- **Interstice** : l'interstice ou défaut interstitiel est l'insertion d'un atome étranger de petite taille entre les vides qui peuvent exister entre les atomes. Comme exemple, on peut citer l'insertion du carbone dans un réseau de fer pour avoir des aciers ou des fontes. Si l'insertion concerne un atome du réseau, on parle d'auto-interstice.



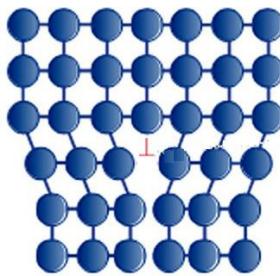
- **Substitution** : elle concerne le remplacement d'un atome du réseau par un autre atome étranger. Une légère distorsion du réseau est provoquée par la différence de taille des atomes.



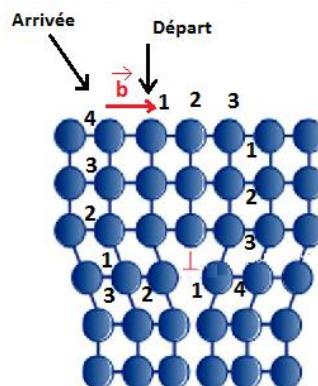
I.2. Défauts linéaires

Les défauts linéaires concernent les dislocations qui sont des imperfections importantes du réseau cristallin. Elles jouent un rôle important dans la déformation plastique du matériau.

- **Dislocation coin :** elle correspond à l'insertion (ou manque) d'un plan cristallographique dans le matériau. Elle est représentée par le symbole \perp marquant la fin de ce plan.

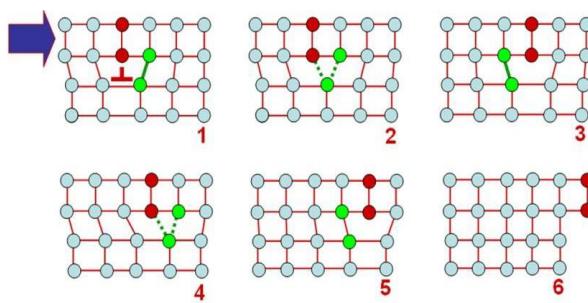


Une dislocation est caractérisée par un vecteur \vec{b} dit de Burgers de la dimension interatomique. Il correspond à la distance nécessaire pour fermer une boucle autour de la dislocation.



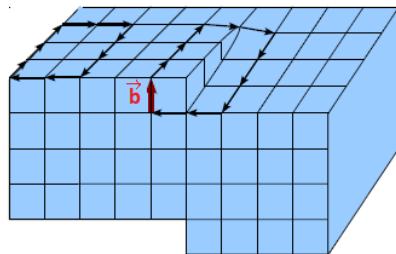
Pour une dislocation coin, le vecteur de Burgers est perpendiculaire à la ligne de dislocation (perpendiculaire au plan de la feuille).

Une dislocation coin peut se déplacer sous l'effet d'une contrainte ou cisaillement pour rejoindre la surface du matériau ou un joint de grains (pièges à dislocations).



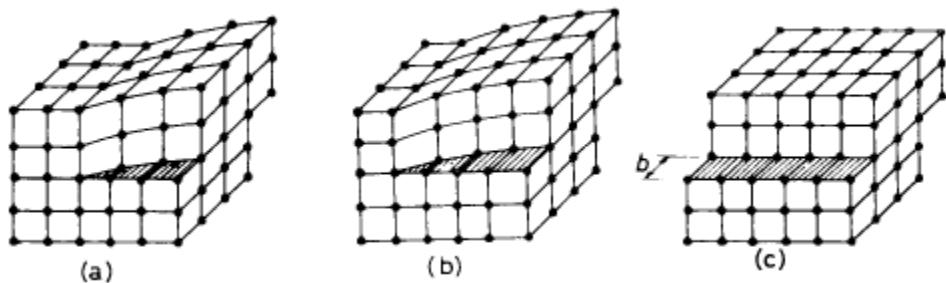
- **Dislocation vis**

C'est la création d'une rampe dans le réseau cristallin sous l'effet d'un glissement d'un ensemble de plans par rapport à un autre.



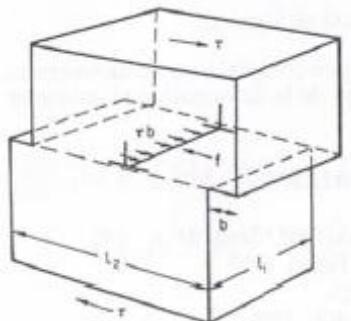
La ligne de dislocation est dans ce cas parallèle au vecteur de Burgers.

Le déplacement de la dislocation dans ce cas est illustré sur la figure suivante :



Soit τ la contrainte engendrant une force qui déplace la dislocation à travers le cristal. Pour déformer plastiquement le matériau, cette force doit être supérieure à la force de résistance au mouvement de la dislocation. Cette force est donnée par :

$$F = \tau b$$

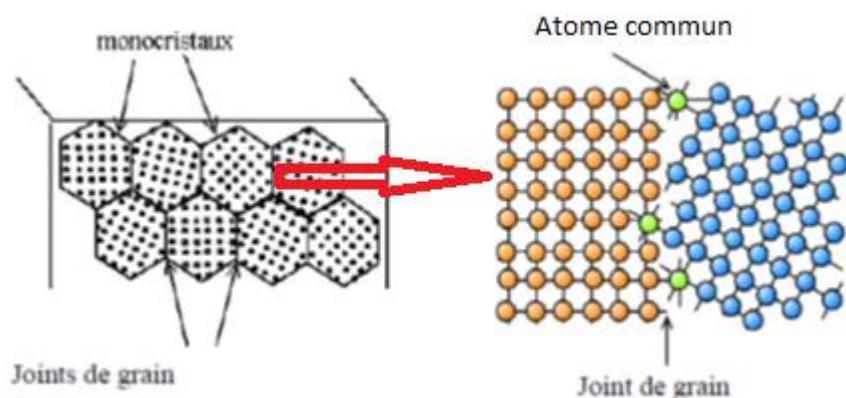


Cette expression est valable pour les deux types de dislocations.

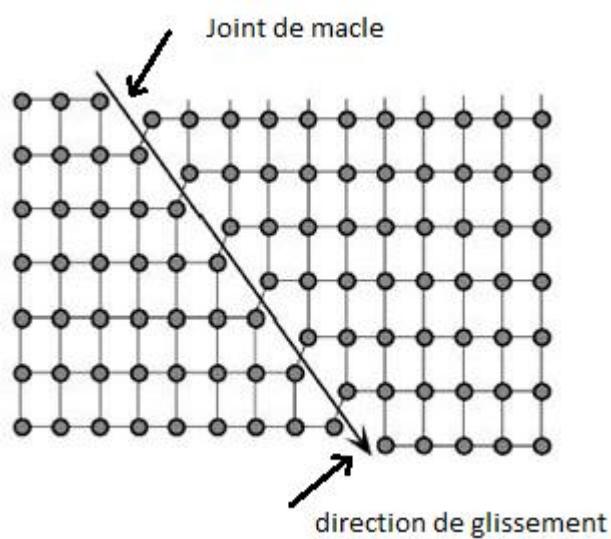
I.3. Défauts en forme de surface

Ces défauts concernent essentiellement les joints de grains et les joints de macles.

- **Joint de grains :** Un matériau massif polycristallin est constitué de plusieurs grains qui sont eux-mêmes constitués de monocristaux juxtaposés. Les joints de grains est la région séparant deux cristaux adjacents d'orientations différentes. Leurs dimension est de l'ordre de quelques distances interatomiques. Ce sont des pièges et des sources de dislocations et des défauts ponctuels. Ils interviennent donc dans la déformation plastique des matériaux.



- **Joint de macles :** Ils constituent des plans séparant deux cristaux symétriques mais non alignés. Ils se rencontrent sous l'effet d'un glissement dans les matériaux de structure CFC comme le cuivre et l'austénite (fer γ) travaillés à froid et recuits. Ils sont appelés joints de macles de recuit.



Une autre manière de produire les joints de macle est la déformation plastique des structures CFC. Le maclage pourra être aussi produit dans le système hexagonal (comme pour Zn)

II. Type de solutions solides

II.1. Solutions solides interstitielles

Elles se forment lorsque un atome étranger (soluté) est introduit dans les sites interstitiels dans un composé parent (solvant). Ceci est possible lorsque la taille du soluté est inférieure ou égale à l'espace vide se trouvant entre les atomes.

Comme exemples de sites interstitiels dans la structure cubique, on peut citer le site cubique dans le réseau CS et les sites octaédriques et tétraédriques dans les réseaux CC (ferrite) et CFC (austénite γ).



Les éléments les plus courants qui occupent les sites interstitiels dans la ferrite et l'austénite sont le carbone et l'azote de diamètres 0.8 et 0.7 Å, respectivement. Il faut noter que la dissolution de ces éléments ne peut excéder respectivement 1.7 et 2.8% en poids dans l'austénite (CFC). Dans la ferrite (CC), l'insertion de ces éléments est privilégiée sur le site octaédriques aux positions (0,0,1/2). La solubilité du carbone est limitée alors à 0.02% en poids.

II.2. Solutions solides de substitution

Dans ce cas, un atome étranger remplace un atome du cristal. On obtient alors un alliage formé d'atomes intimement liés formant un cristal unique. Pour pouvoir former une solution solide de substitution, il faut respecter certaines règles dites de Hume-Rothery qui concernent la taille (maximum 15%), l'affinité électronique, la valence et la structure cristalline.

Comme exemple, on peut citer l'Au et le Cu de structures CFC qui sont complètement solubles.

