Ce document est un extrait des notes du cours GLG-10334 Matériaux de l'écorce terrestre de Dr. Josée Duchesne, département de géologie et de génie géologique université Laval.

Veuillez contacter Mme J. Duchesne pour toute information supplémentaire et/ou permission d'utiliser ces notes en tout ou en partie.

Défauts

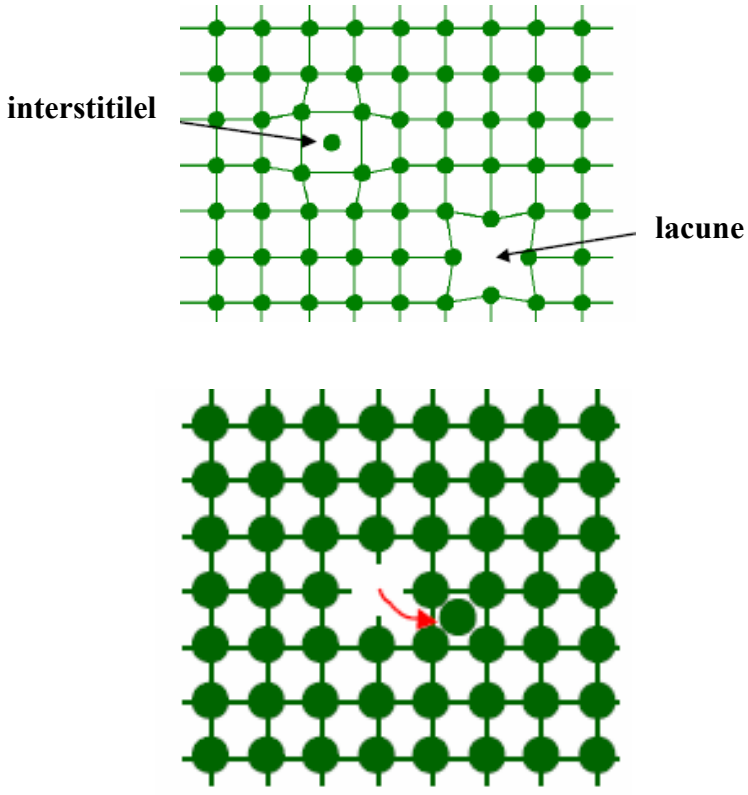
Un cristal parfait hypothétique possède une structure atomique parfaitement ordonnée avec tous les atomes bien placés et il ne contient aucun autre élément que ceux décrit par sa formule chimique. Comme mentionné par Charles G. Darwin en 1914, un tel cristal n'existe pas. Même si un cristal paraît parfait de l'extérieur, les structures atomiques contiennent toujours quelques imperfections appelées **défauts**. En 1921, A.R. Griffiths a montré que la faible résistance de certains cristaux était due à des défauts structuraux. Depuis, des physiciens ont montré que la déformation plastique des cristaux dépendait toujours de la présence de défauts. Durant la dernière décennie, le perfectionnement des microscopes électroniques à transmission (MET) et plus récemment celui des microscopes électroniques à transmission de haute-résolution (MTHR) a permis aux minéralogistes d'observer des images de ces défauts. On distingue des défauts ponctuels, des dislocations et défauts planaires.

Défauts ponctuels

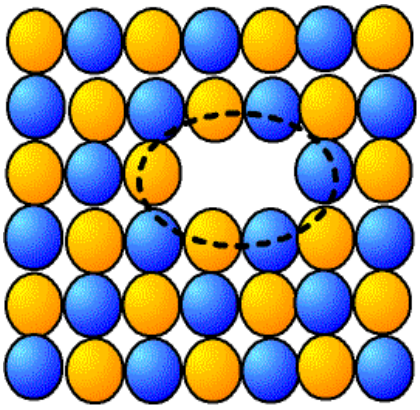
Dans un cristal on peut trouver deux types de défauts ponctuels: soit un site atomique vide, ce défaut est appelé *lacune*, soit un atome qui ne se trouve pas dans un site normal, ce défaut porte le nom d'*interstitiel*. Dans le cas de lacunes, lorsque l'absence d'un cation est accompagnée de l'absence d'un anion, le défaut est dit *de Schottky* et ainsi la charge n'est pas affectée par les lacunes. Dans le deuxième défaut, si l'atome expulsé de son site vient en position interstitielle, c'est à dire qu'il occupe un site normalement vacant, il porte le nom de défaut de *Frenkel*, un défaut de Frenkel est donc l'association d'une lacune et d'un interstitiel.

Il existe un nombre considérable de faits expérimentaux qui montrent que les lacunes et les interstitiels peuvent être introduits dans les matériaux par déformation plastique ou par irradiation par des particules de haute énergie comme les rayons-x et les rayons-γ. Les atomes d'impuretés qui sont aussi des défauts ponctuels jouent un rôle très important dans les propriétés physiques et mécaniques de tous les matériaux. Les impuretés peuvent se loger dans deux types de sites, représentés sur l'illustration suivante: soit en *substitution* à la place d'un atome du réseau, soit en *insertion*.

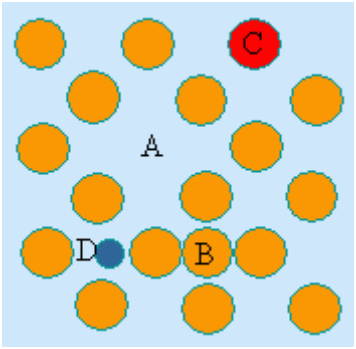
Les défauts de Schottky et de Frenkel n'affectent pas la composition chimique du corps cristallin, tandis que la substitution et l'insertion ajoutent des impuretés chimiques, souvent ces impuretés sont en quantité telle qu'elles défient l'analyse chimique, cependant elles peuvent modifier certaines propriétés physiques comme la couleur des cristaux. Un électron peut être également piégé dans une lacune et créer un centre coloré.



Défauts de Frenkel



Défauts de Schotty

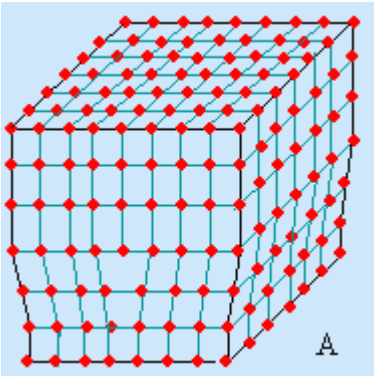


A = lacune, B = interstitiel, C = substitution (impureté) et D = insertion

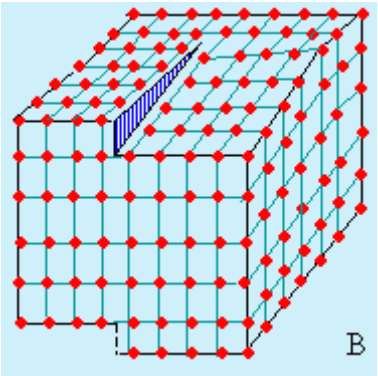
Les dislocations sont des ruptures dans la régularité des sites cristallins. Il y a deux types élémentaires de dislocations dont les combinaisons forment les dislocations les plus générales. Ce sont d'une part les *dislocations en coin* et les *dislocations en vis.*

Dans une dislocation en coin, un demi-plan réticulaire supplémentaire vient s'insérer entre deux plans réticulaires; la dislocation apparaît ainsi comme une imperfection linéaire. Une dislocation en vis est également une imperfection linéaire; on peut se l'imaginer comme une disposition en spirale des atomes autour de la ligne de dislocation, de manière à ce qu'à chaque tour effectué autour de cette ligne, on avance d'une distance interatomique. La surface est hélicoïdale comme un escalier en colimaçon.

D'une manière générale, un cristal peut être caractérisé par *sa densité de dislocations*, c'est-à-dire par le nombre de lignes de dislocation traversant une surface unité; cette densité de dislocations peut être mesurée par l'examen microscopique d'une surface polie ayant subi une révélation chimique (corrosion par un réactif chimique approprié ou décoloration). On trouve des densités allant de 100 dislocations par cm^2 dans les meilleurs cristaux à 10^{11} par cm^2 dans les cristaux métalliques fortement déformés.



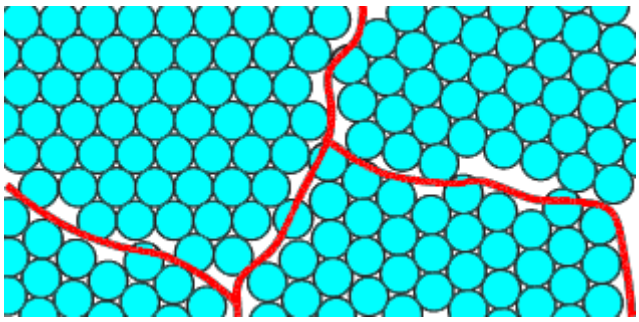
Dislocation en coin



Dislocation en vis

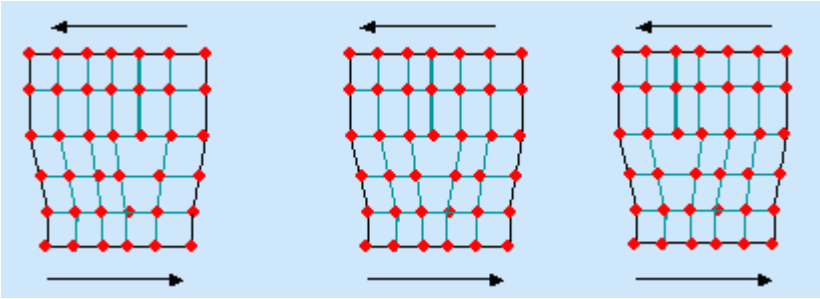
Défauts planaires

Les solides cristallins sont généralement formés d'un grand nombre de cristaux ou grains juxtaposés. La limite d'un grain est appelée *joint de grain*; elle représente une discontinuité dans l'empilement des atomes. La structure du joint de grain est encore mal connue, sauf dans un cas particulier où la désorientation entre deux grains est faible. Dans ce cas le joint est formé d'une série de dislocations régulièrement réparties et dont l'intervalle est fonction de la désorientation entre les deux cristaux. Il arrive parfois que deux parties adjacentes d'un cristal soient telles que l'une est l'image dans un miroir de l'autre par rapport à une ligne XY appelée *joint de macle.* Il est ainsi possible de reconnaître des joints de macle par observation de sections polies avec un microscope métallographique sur des matériaux tels le cuivre, les laitons, etc. Il est aussi possible d'observer macroscopiquement une structure figurant en *mosaïque* sur les surfaces de certaines substances composées de blocs isolés et désorientés les uns par rapport aux autres. La structure en mosaïque illustrée ci-dessous a été produite par des bulles de savon déposées sur la surface polie d'un métal. Cette expérience a été réalisée par P. P. Ewald et elle montre bien les défauts à la surface de corps cristallisés.



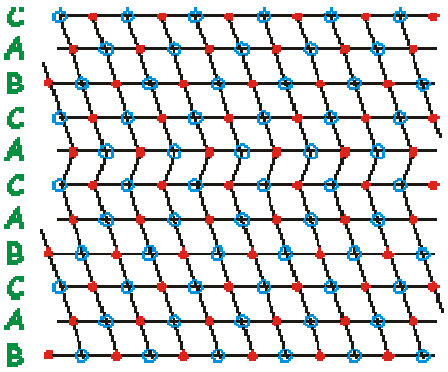
Bulles à la surface d'un métal montrant les joints de grains.

Une déformation plastique se fait généralement par un *glissement* d'une partie du cristal par rapport à une autre, c'est une déformation en jeu de carte. Dans l'illustration suivante on voit que le glissement de la dislocation d'une position atomique à la suivante n'exige en fait qu'un faible déplacement des atomes qui l'entourent. Ainsi, petit à petit, sous l'action d'une contrainte relativement faible, le cristal se trouvera déformé plastiquement.

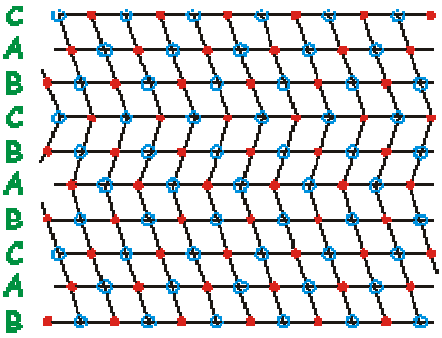


Glissement sous déformation plastique

La *faute d'empilement* est un autre défaut que l'on retrouve fréquemment dans les substances à structure lamellaire ou feuilletée comme le graphite, les micas et les minéraux argileux. Ils sont caractérisés par un désordre dans la périodicité de l'empilement régulier ou par une discontinuité de l'extension latérale des couches structurales. La figure ci-dessous illustre différents types de faute d'empilement de couches ABC: à gauche en (a) se trouve un défaut *intrinsèque* marqué par la suppression d'une couche B, tandis qu'à droite en (b) on représente un défaut produit par l'absence de 2 plans.

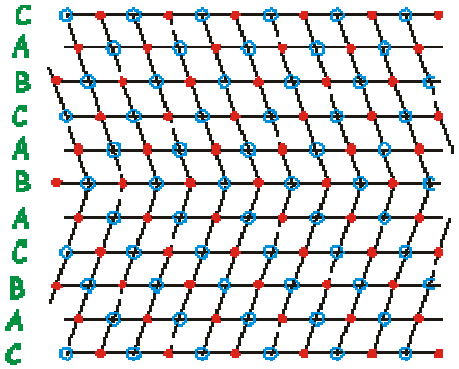


Défaut d'empilement (1 plan manquant)

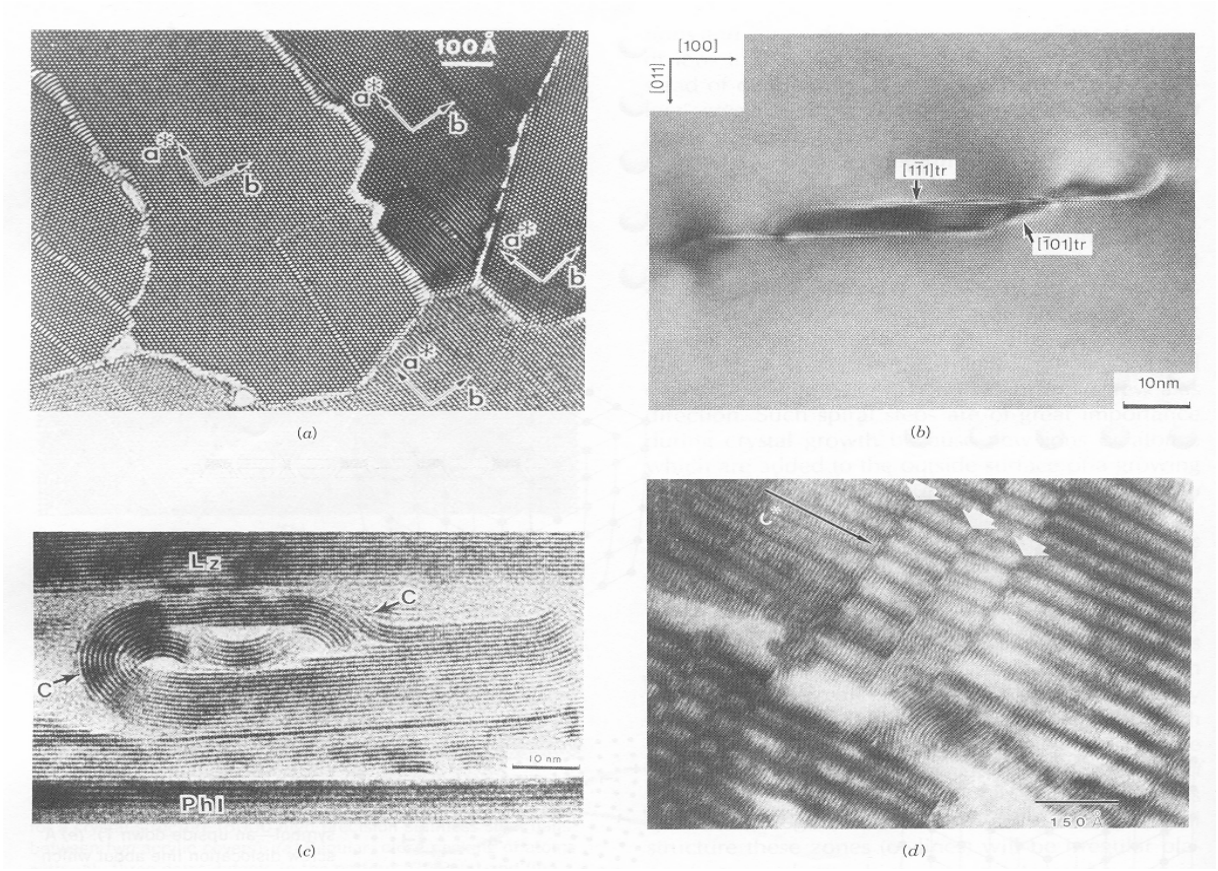


2 plans manquants

Les phénomènes de zonation et de macles sont aussi considérés comme des défauts.



Défaut d'empilement (macle)



Images de structures complexes et défauts prises au HRTEM (tirée de Klein 2002). A) Crocidolite (variété fibreuse) B) Dislocation dans un grenat grossulaire C) Lizardite (serpentine) D) Antigorite (serpentine).