

Généralités :

Si l'on maintient en contact deux blocs de cuivre et d'or et que l'on porte l'ensemble à 1000 °C, on peut observer au bout d'un certain temps la soudure de ces deux blocs. La mesure de la concentration de l'un des éléments en fonction de la distance x montre que les atomes de Cu se sont déplacés du côté de l'or et que réciproquement des atomes d'or se sont déplacés du côté du Cu (voir figure 22). Cette migration d'atomes dans le réseau cristallin s'appelle **diffusion**.

Ce phénomène a des applications et des conséquences très importantes : Tous les changements de phase (à l'exception de la transformation martensitique, les processus d'homogénéisation, de traitement superficiel (cémentation etc...)

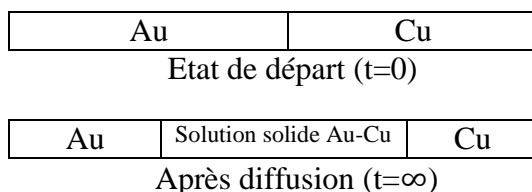


Fig.22 Expérience de diffusion

3.1 Aspect macroscopique de la diffusion :

Les lois macroscopiques de la diffusion sont analogues à celles que l'on établit pour la conduction électrique ou thermique. En diffusion ce sont les lois de Fick. Si l'on considère tout d'abord un flux d'atomes traversant une surface perpendiculaire à la direction x par unité de surface et par unité de temps, on note que la densité de ce flux J est proportionnelle au gradient de concentration. D'où la première loi de Fick :

$$J = - D \cdot (\delta C / \delta x)$$

Où :

J = flux de particules,

C = concentration,

X = distance selon la direction choisie

Le coefficient de proportionnalité D ou coefficient de diffusion s'exprime en m²/s

Cette relation rend compte du fait que les atomes diffusent des régions de concentration élevée vers les régions de concentration faible. Selon que le gradient de concentration est indépendant du temps ou qu'il dépend de celui-ci, la diffusion est dite uniforme ou non uniforme.

3.1.1 Diffusion uniforme :

Ce cas peut-être représenté par un gaz (H_2) traversant une feuille métallique de chaque coté de laquelle une forte pression et une faible sont maintenues (voir figure 23)

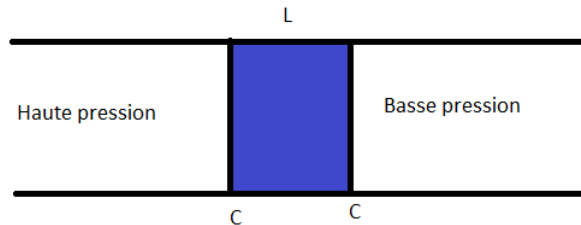


Fig.23 Diffusion uniforme d'un gaz à travers une feuille métallique

La concentration du gaz dans le métal est égale à C_2 du coté de la forte pression et à C_1 du coté de la faible pression. En appliquant la loi de Fick, on peut montrer que la quantité de gaz traversant le métal par unité de temps est :

$$Q = J.S = D \cdot \frac{C_2 - C_1}{L} \cdot S$$

Où :

S – surface de la feuille

L – épaisseur de la feuille

3.1.2 Diffusion non uniforme :

Equation : C'est le cas présenté en introduction (voir figure 22) où le gradient de concentration varie avec le temps et la distance X . C'est le cas général des problèmes rencontrés en métallurgie. On peut montrer toujours en considérant que D est indépendant de la composition, que :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}$$

C'est la deuxième loi de Fick.

3.2 Aspect microscopique de la diffusion:

3.2.1 Mécanismes de la diffusion: Le mouvement des atomes se produit grâce à leur vibration thermique, dont l'amplitude augmente avec la température. Plusieurs mécanismes de déplacement des atomes peuvent être imaginés (voir figure 24), mais seuls deux d'entre eux sont possibles:

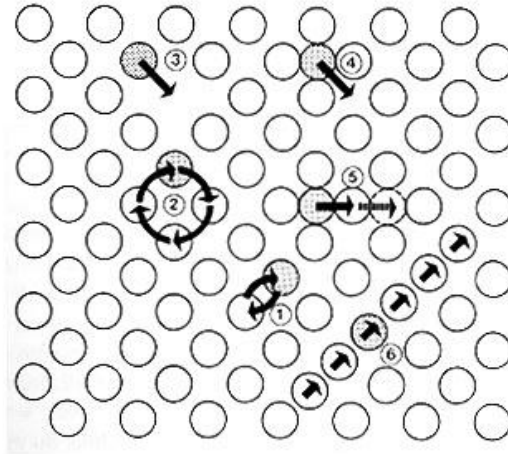


Fig.24 Schéma des principaux mécanismes de diffusion : 1) échange simple ; 2) échange cyclique ; 3) lacunaire ; 4) interstitiel direct ; 5) interstitiel indirect ; 6) « crowdion ».[14]

- le mécanisme interstitiel concerne les atomes de petites dimensions (C, H, O, N, B)
- le mécanisme lacunaire pour les autres

Lorsque la diffusion s'opère suivant ces deux mécanismes, on parle de **diffusion en volume**.

Le coefficient de diffusion croît avec la température et est déterminé à l'aide de la formule suivante:

$$D = D_0 \cdot \exp(-\Delta H / RT)$$

Où:

D_0 = constante reliée à la fréquence du saut,

$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

T = température en degré kelvins (K)

ΔH = Enthalpie d'activation molaire en joules par moles ($\text{J} \cdot \text{mol}^{-1}$)

3.2.2 Diffusion aux joints de grains:

La diffusion en volume dans les cristaux peut-être parfois court-circuitée par la diffusion le long des joints de grains. Le joint de grain se comporte comme un canal plan de deux distances interatomiques environ, avec un coefficient de diffusion qui peut localement être 10^6 fois plus grand que celui du volume.

- La diffusion est plus rapide dans les joints de grain, puisqu'il y a plus de place pour circuler ;
- de même que pour les surfaces libres, l'énergie des atomes des joints de grain est plus importante que celle des atomes au sein du cristal,

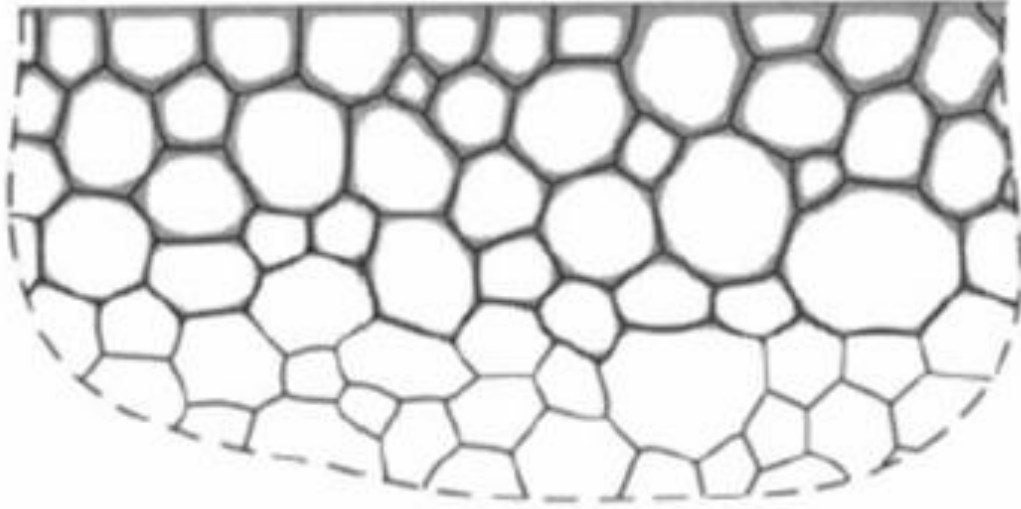


Fig.25 Diffusion au joint de grains [31]