

Transport chapitre 3 : Diffusion de particules

2.3. Diffusion de particules	
Les différents modes de transfert de masse : diffusion et convection.	Citer les deux modes de transfert.
Vecteur densité de courant de particules $\vec{j}_N$.	Exprimer le débit de particules comme le flux du vecteur $\vec{j}_N$ à travers une surface orientée.
Loi phénoménologique de Fick.	Énoncer et utiliser la loi de Fick.
Bilan de particules. Équation de diffusion.	Établir l'équation locale de bilan de particules avec ou sans terme source. Établir l'équation de diffusion. Relier l'équation de diffusion à l'irréversibilité temporelle du phénomène.

DIFFUSION PARTICULAIRE

Approche qualitative :

Tache d'encre sur le mouchoir : liquide sur solide
Thé dans eau chaude : solide dans liquide
Parfum dans une pièce calme : gaz dans gaz

3 phénomènes de diffusion.

Le support sur lequel se fait la diffusion est immobile. La diffusion est un phénomène lent. On peut accélérer ce phénomène par un mouvement du support :

Remuer l'eau du thé

Faire un courant d'air pour le parfum.

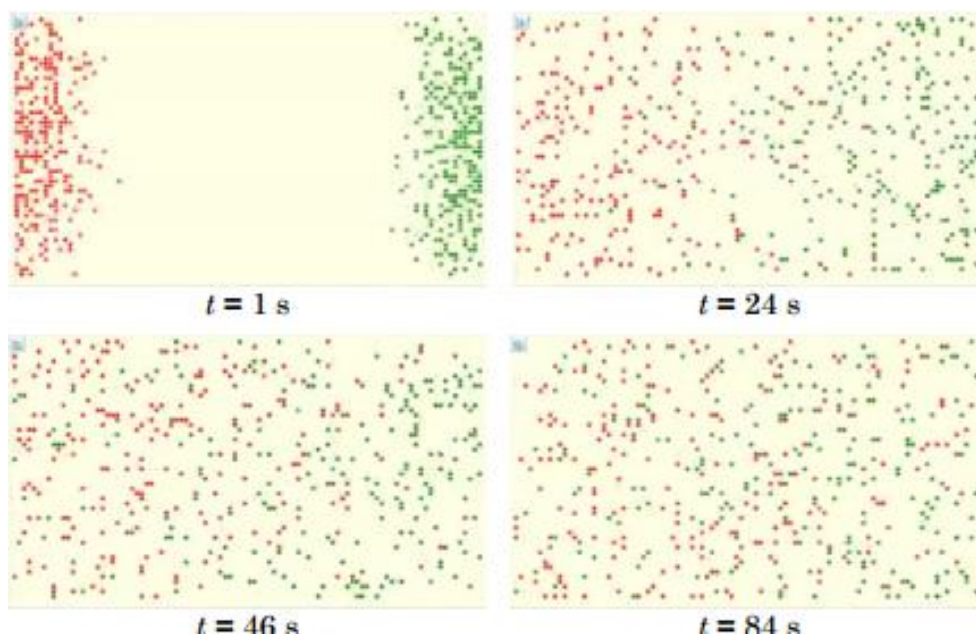
On a alors à faire à un phénomène de **convection** qui ne peut exister lorsque le support est solide.

Diffusion : Phénomène de transport de particules dû à une différence de concentration entre deux points de l'espace, sans mouvement macroscopique du support. Les particules se dirigent des zones de concentration élevée vers les zones de faible concentration.

Phénomène hors équilibre qui tend à uniformiser la concentration.

Lorsque la concentration est uniforme, il n'y a plus de diffusion possible.

expérience de diffusion :



Historiquement, c'est grâce au phénomène de diffusion qu'Einstein en 1905, a prouvé indirectement l'existence des atomes à partir de l'étude du mouvement Brownien.

Applications de la diffusion :

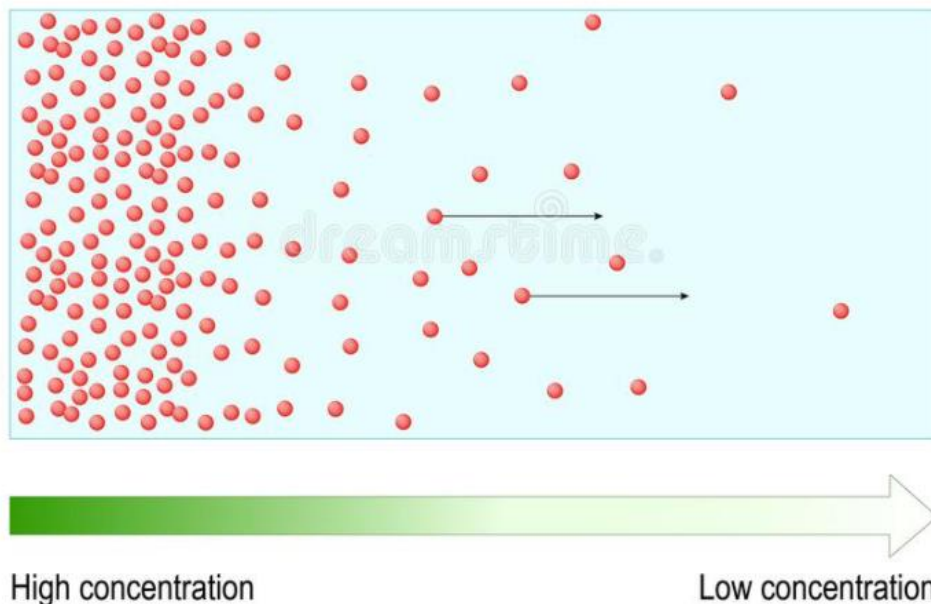
Pendant la 2nde guerre mondiale, on a séparé l'uranium 235 fissible plus léger, de l'uranium 238 par diffusion à travers des barrières poreuses. Procédé d'enrichissement de l'uranium, qui conduisit à la bombe atomique.

Diffusion des ions dans l'eau : rôle dans les réactions chimiques des électrolyseurs et des piles.

Diffusion d'impuretés dans un solide : base de la technologie de fabrication des semi-conducteurs.

Diffusion de neutrons dans des crayons d'uranium 235 pour provoquer la réaction de fission dans les réacteurs nucléaires. Les rayonnements émis sont très énergétiques et utilisés pour vaporiser l'eau dans une centrale nucléaire.

I. Modélisation du phénomène :



Flux particulaire $\phi(M,t)$ = nombre de particules qui traversent une surface S par unité de temps, c'est un débit de particules (en particules.s⁻¹ ou mol.s⁻¹)

$$\phi(M, t) = \frac{\delta N}{dt} = \iint_S \vec{j}_N(M, t) \cdot d\vec{S}$$

$\vec{j}_N(M, t)$ vecteur densité de flux particulaire (en particules.m⁻².s⁻¹ ou mol.m⁻².s⁻¹)

Diffusion unidirectionnelle axiale : $\vec{j}_N(M, t) = j_N(x, t) \vec{u}_x$ et $\phi(x, t) = j_N(x, t) \cdot S$

Diffusion unidirectionnelle radiale cylindrique : $S(r)$ = surface latérale d'un cylindre de hauteur h
 $\vec{j}_N(M, t) = j_N(r, t) \vec{u}_r$ et $\phi(r, t) = j_N(r, t) \cdot S(r) = j_N(r, t) 2\pi r h$

Diffusion unidirectionnelle radiale sphérique : $S(r)$ = surface d'une sphère de rayon r
 $\vec{j}_N(M, t) = j_N(r, t) \vec{u}_r$ et $\phi(r, t) = j_N(r, t) \cdot S(r) = j_N(r, t) 4\pi r^2$

II. Loi de Fick (Adolf Eugen Fick, physiologiste allemand, 1829-1901)

Dans les phénomènes de diffusion particulaire, ce sont les particules qui se dirigent spontanément des zones de forte concentration vers les zones de faible concentration.

Ce phénomène de transport est régi par la **loi expérimentale de Fick** :

$$\vec{j}_N = -D \vec{\text{grad}} C$$

$$\vec{\text{grad}} C = \text{cause} \quad \rightarrow \quad \vec{j}_N = \text{conséquence}$$

C est la concentration particulaire du milieu (en particules.m⁻³ ou en mol.m⁻³)

D est le coefficient de diffusion, qui dépend du milieu. $[D] = \frac{[j_N]}{[\text{grad} N_V]} = \frac{\frac{m^{-2}.s^{-1}}{m}}{\frac{m^{-3}}{m}} = m^2.s^{-1}$.

Diffusion unidirectionnelle axiale : $j_N(x,t) = -D \cdot \frac{\partial C(x,t)}{\partial x}$

Diffusion unidirectionnelle radiale cylindrique : $j_N(r,t) = -D \cdot \frac{\partial C(r,t)}{\partial r}$

Diffusion unidirectionnelle radiale sphérique $j_N(r,t) = -D \cdot \frac{\partial C(r,t)}{\partial r}$

Phase	Gaz	Gaz	Gaz	liquide	Liquide	Solide
Fluide support	Air	Air	H ₂	H ₂ O	H ₂ O	Cu
Fluide diffusant	H ₂	O ₂	D ₂	H ₂	O ₂	Al
D (m ² .s ⁻¹)	7,12.10 ⁻⁵	2,06.10 ⁻⁵	1,24.10 ⁻⁴	5,13.10 ⁻⁹	1,80.10 ⁻⁹	1,30.10 ⁻³⁰

D dépend de la taille des particules, de la température, de la pression

$$D_{\text{gaz}} \gg D_{\text{liquide}} \gg D_{\text{solide}}$$

III. Equations locales

1. Du bilan particulaire
2. De la diffusion

IV. Quelques solutions

1. Solutions stationnaires
2. Solution unidirectionnelle axiale dans un cylindre infini de section S lorsqu'on introduit N_0 particules en $x = 0$ à $t=0$

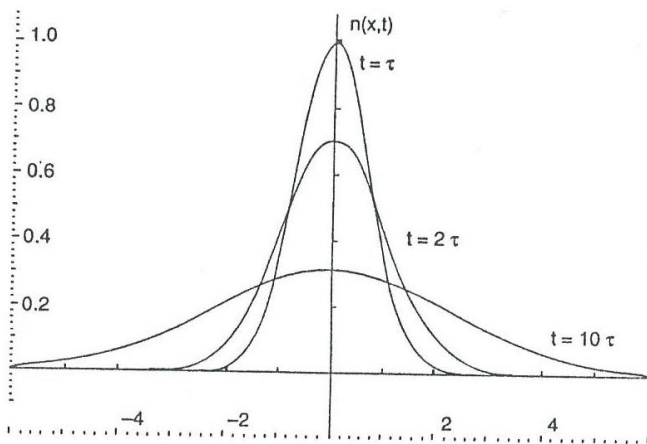
$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Conditions aux limites : $C(x = 0, t=0) \rightarrow \infty$; $C(x \neq 0, t = 0) = 0$; $C(x \rightarrow \pm\infty, t) = 0$

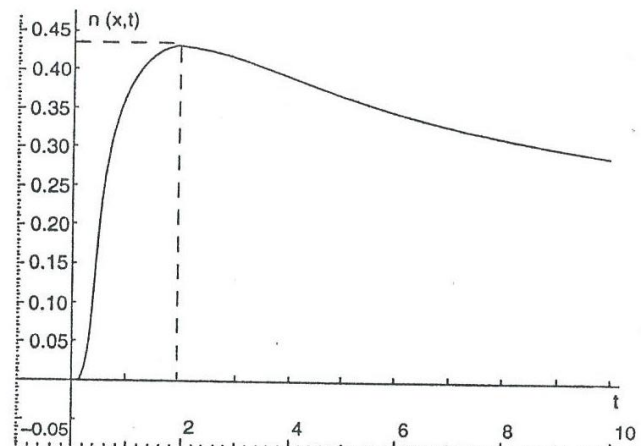
Fonction paire

Conservation du nombre de particules : $N_0 = \int_{-\infty}^{+\infty} C(x, t) S dx$

$$C(x, t) = \frac{N_0}{S\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(-\frac{x^2}{4Dt}\right)$$



Diffusion : $n(x)$ à trois instants successifs



Diffusion : $n(t)$ en un point donné