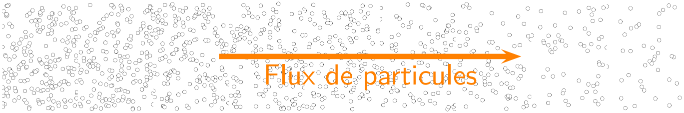
Diffusion des particules

PC Lycée Dupuy de Lôme



Flux de particules

Le flux de particules à travers une surface S correspond au nombre de particules traversant la surface par unité de temps

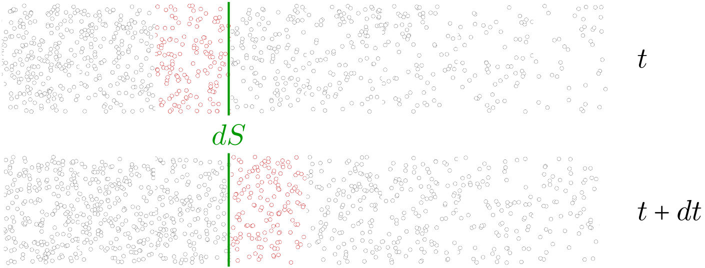
$$\Phi = \frac{dN}{dt}$$

Vecteur densité de flux

En un point M, on définit le vecteur densité de flux tel que le flux élémentaire à travers une surface dS en M soit :

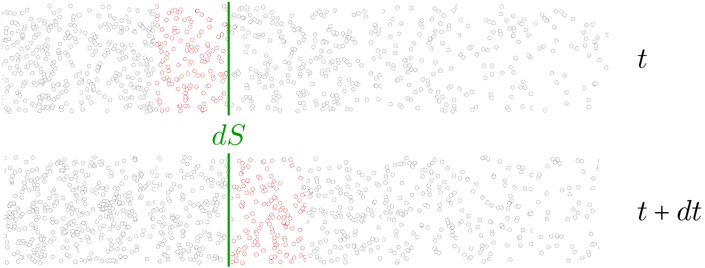
$$d\Phi = \overrightarrow{j} \cdot \overrightarrow{dS}$$

$n(x,t)$: densité volumique de particules diffusantes



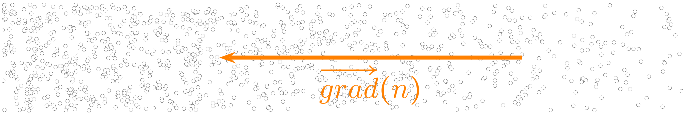
En comptant le nombre de particules traversant dS pendant la durée dt, on peut en déduire l'expression de $\overrightarrow{j}(x,t)$

$n(x,t)$: densité volumique de particules diffusantes



En comptant le nombre de particules traversant dS pendant la durée dt, on peut en déduire l'expression de $\overrightarrow{j}(x,t)$

✍ $$\overrightarrow{j} = n(x,t).\overrightarrow{v(x,t)}$$

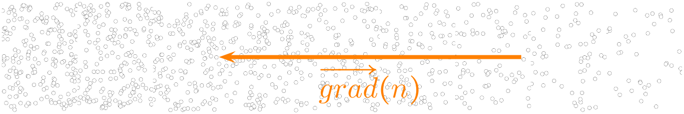


D'un point de vue empirique :

- Le flux de particule se fait
- L'intensité du flux de particules est liée

Principe d'homogénéisation

Si la répartition des particules diffusantes n'est pas homogène, un courant de particules apparait afin de tendre vers une répartition homogène.

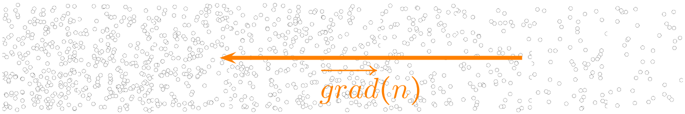


D'un point de vue empirique :

- Le flux de particule se fait dans le sens opposé au gradient de particules
- L'intensité du flux de particules est liée

Principe d'homogénéisation

Si la répartition des particules diffusantes n'est pas homogène, un courant de particules apparait afin de tendre vers une répartition homogène.



D'un point de vue empirique :

- Le flux de particule se fait dans le sens opposé au gradient de particules
- L'intensité du flux de particules est liée à la norme du gradient.

Principe d'homogénéisation

Si la répartition des particules diffusantes n'est pas homogène, un courant de particules apparait afin de tendre vers une répartition homogène.

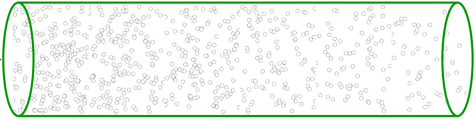
Loi de Fick

Cette loi empirique relie en un point M la densité de flux de particules au gradient de concentration, en fonction du coefficient de diffusion D

$$\overrightarrow{j} = -D.\overrightarrow{grad}(n)$$

D dépend des particules diffusantes et du milieu.

Phase	Gaz	Gaz	Gaz	Liquide	Liquide	Solide
Particules diffusantes	H_2	O_2	D_2	H_2	O_2	Al
Support	Air	Air	H_2	H_2O	H_2O	Cu
D en $m^2.s^{-1}$	$7,12.10^{-5}$	$2,06.10^{-5}$	$1,24.10^{-4}$	$5,13.10^{-9}$	$1,80.10^{-9}$	$1,30.10^{-30}$

$\Phi_e \Longrightarrow$  $\Longrightarrow \Phi_s$

Bilan de particules en régime stationnaire

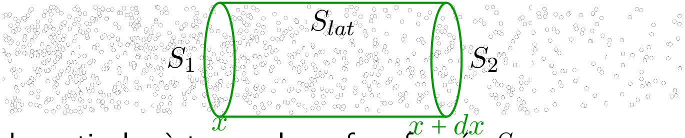
En régime stationnaire, le flux total de particules entrant Φ_e est égal au flux total de particules sortant Φ_s

- Φ_e : le vecteur $\overrightarrow{dS_e}$ est dirigé vers le volume étudié.
- Φ_s : le vecteur $\overrightarrow{dS_s}$ est dirigé vers l'extérieur.

Diffusion unidimensionnelle axiale

Diffusion unidimensionnelle radiale

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



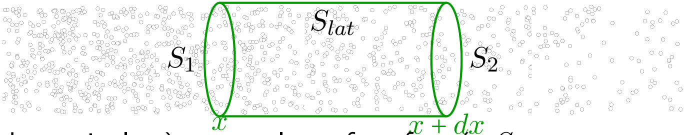
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 =$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 =$
- Au niveau de S_{lat}, sortent pendant dt : $\delta N_{lat} =$

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) =$
- A l'instant $t + dt$: $N(t + dt) =$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



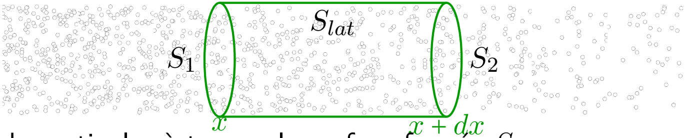
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 =$
- Au niveau de S_{lat}, sortent pendant dt : $\delta N_{lat} =$

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) =$
- A l'instant $t + dt$: $N(t + dt) =$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



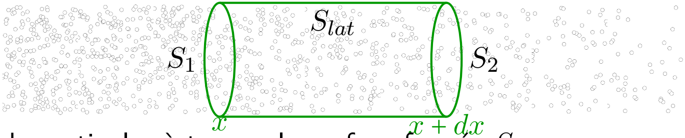
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 = j(x+dx,t).S_2.dt$
- Au niveau de S_{lat}, sortent pendant dt : $\delta N_{lat} =$

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) =$
- A l'instant $t+dt$: $N(t+dt) =$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



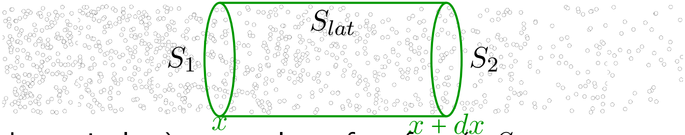
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 = j(x+dx,t).S_2.dt$
- Au niveau de S_{lat}, sortent pendant dt : δN_{lat} =0

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) =$
- A l'instant $t + dt$: $N(t+dt) =$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



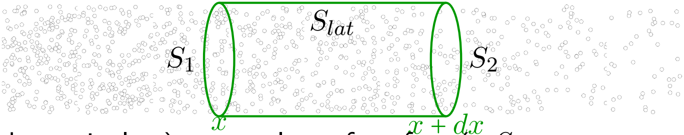
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 = j(x+dx,t).S_2.dt$
- Au niveau de S_{lat}, sortent pendant dt : δN_{lat} =0

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) =$
- A l'instant $t + dt$: $N(t + dt) =$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



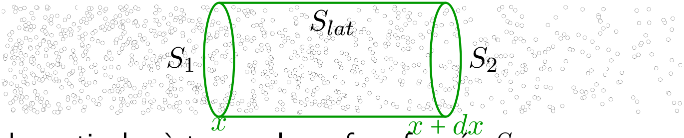
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 = j(x+dx,t).S_2.dt$

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) =$
- A l'instant $t+dt$: $N(t+dt) =$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



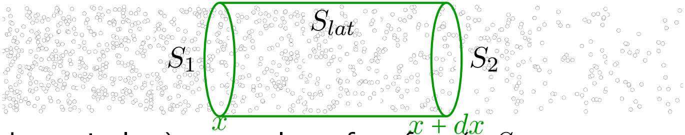
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 = j(x+dx,t).S_2.dt$

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) = n(x,t).S.dx$
- A l'instant $t + dt$: $N(t + dt) =$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



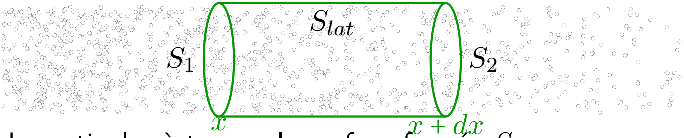
Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 = j(x+dx,t).S_2.dt$

Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) = n(x,t).S.dx$
- A l'instant $t+dt$: $N(t+dt) = n(x,t+dt).S.dx$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



Flux entrant de particules à travers la surface fermée S

- Au niveau de S_1, entrent pendant dt : $\delta N_1 = j(x,t).S_1.dt$
- Au niveau de S_2, sortent pendant dt : $\delta N_2 = j(x+dx,t).S_2.dt$

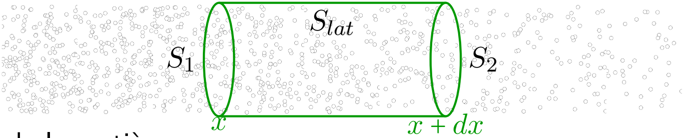
Évolution du nombre de particules dans le volume :

- A l'instant t : $N(t) = n(x,t).S.dx$
- A l'instant $t + dt$: $N(t+dt) = n(x, t+dt).S.dx$

Conservation de la matière :

$$N(t+dt) = N(t) + \delta N_e - \delta N_s - \delta N_{lat}$$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



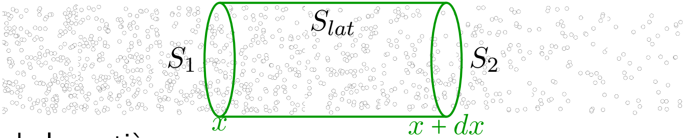
Conservation de la matière :

$$N(t+dt) = N(t) + \delta N_e - \delta N_s - \delta N_{lat}$$

$$n(x,t+dt) \simeq n(x,t) + \frac{\partial n}{\partial t}.dt$$

$$j(x+dx,t) \simeq j(x,t + \frac{\partial j}{\partial x}.dx$$

Cas particulier unidimensionnel axial : $n(M,t) = n(x,t)$



Conservation de la matière :

$$N(t+dt) = N(t) + \delta N_e - \delta N_s - \delta N_{lat}$$

bilan local

Dans le cas unidimensionnel, en l'absence de sources :

$$\frac{\partial n}{\partial t} + \frac{\partial j(x,t)}{\partial x} = 0$$

En l'absence de sources, on a :

- Le bilan local : $\dfrac{\partial n}{\partial t} + \dfrac{\partial j(x,t)}{\partial x} = 0$
- La loi de Fick : $\overrightarrow{j} = -D.\overrightarrow{grad}(n) = -D.\dfrac{\partial n}{\partial x}.\overrightarrow{e_x}$

Équation de la diffusion

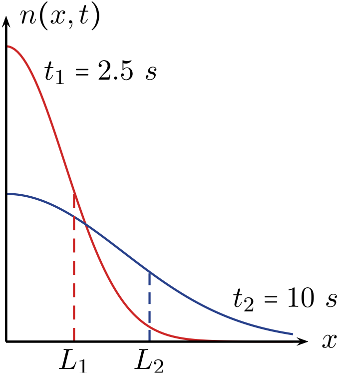
Dans le cas unidimensionnel et en l'absence de sources, la densité volumique de particules vérifie la l'équation

✍ $$\frac{\partial n}{\partial t} - D.\frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = 0$$

On raisonne ici à partir d'une analyse dimensionnelle

Pour une durée Δt, les particules se seront diffusées sur une distance L. En ordre de grandeur, on peut considérer que :

- $\dfrac{\partial n}{\partial t} \equiv \dfrac{\Delta n}{\Delta t}$
- $\dfrac{\partial^2 n}{\partial x^2} \equiv \dfrac{\Delta n}{L^2}$



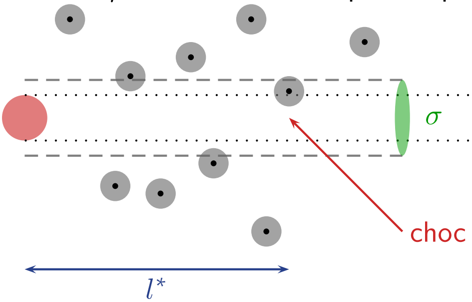
longueur de diffusion

On relie la durée Δt à la longueur L de diffusion en régime transitoire par la relation

$$L = \sqrt{D.\Delta t}$$


$n(x,t)$
x

On note ρ la densité volumique des particule du support de diffusion.



Sauf mention contraire :
$\sigma = \pi.\left(r_{part\ dif.} + r_{part\ sup.}\right)^2$

$$l^*.\sigma.\rho = 1$$

Libre parcours moyen

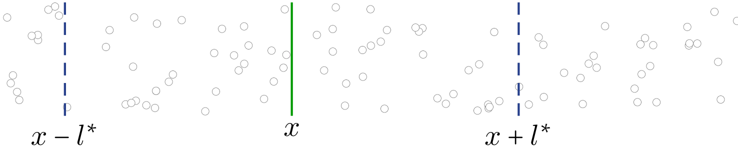
C'est la distance moyenne parcourue par une particule entre deux collisions successives

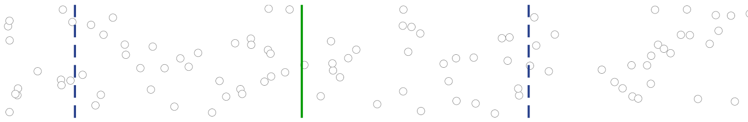
$$l^* = \frac{1}{\sigma.\rho}$$

Hypothèses d'étude

- On considère trois directions orthogonales de mouvement des particules, avec une équiprobabilité pour chacun des sens à l'issue d'une collision (mouvement Brownien)
- On considère une vitesse uniforme v^* d'agitation
- On suppose que toutes les collisions ont lieu aux mêmes instants

On va alors effectuer un bilan de particules traversant une surface dS pendant la durée τ séparant deux collisions.

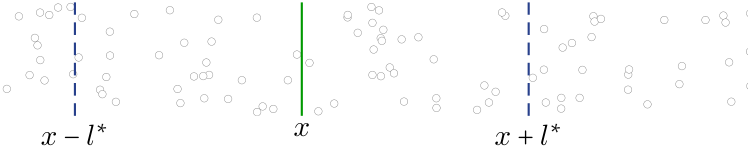

$x - l^*$
x
$x + l^*$



- $\delta N_{g\to d} = \dfrac{1}{6} n\left(x - \frac{l^*}{2}, t\right).l^*.dS$
- $\delta N_{d\to g} = \dfrac{1}{6} n\left(x + \frac{l^*}{2}, t\right).l^*.dS$

$$\delta N = \delta N_{g\to d} - \delta N_{d\to g}$$

$$d\Phi = \frac{\delta N}{\tau} = -\frac{1}{6.\tau}.\frac{\partial n(x,t)}{\partial x}.l^{*2}.dS = -\frac{1}{6}.l^*.v^*.\frac{\partial n(x,t)}{\partial x}dS$$



Coefficient de diffusion

Par identification à la loi de Fick, on obtient le coefficient de diffusion

$$D \equiv \frac{l^*.v^*}{6}$$

- Mouvement Brownien :
  http ://www2.cndp.fr/themadoc/mouvbrown/mouvbrown.htm