

I. TRANSFERT DE MATIERE

Tous les matins, la seule solubilisation du morceau de sucre dans votre tasse met en œuvre différents mécanismes de transfert de matière qui font que la dissolution du morceau de sucre est plus ou moins rapide. Dans des procédés plus complexes (comme dans un appareil de dialyse rénale dans la figure ci-contre), le transfert de matière contrôle l'évolution spatiale de la concentration et donc l'efficacité de l'élimination de l'urée par le rein artificiel.

L'objectif de ce chapitre est de détailler les mécanismes de transport de la matière et de présenter ensuite le formalisme permettant de décrire les transferts. Ces mécanismes étant fortement reliés à la vitesse du fluide, ce chapitre s'appuie sur le chapitre précédent qui présente des éléments de mécanique des fluides.

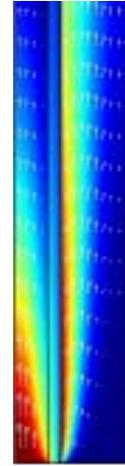
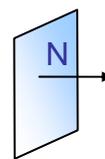


Figure 1.1 : Evolution de la concentration en urée dans un appareil de dialyse (les zones en couleurs chaudes représentent les zones où la concentration en urée est importante).

A. MECANISMES DE TRANSPORT DE MASSE

La définition du flux de matière

Commençons par définir l'intensité du transfert de matière. Considérons pour cela un élément de surface (une fenêtre dans l'espace). Le transport de matière est quantifié par une densité de flux de matière¹, N , qui représente la masse (ou le nombre de mole) qui traverse la surface par unité de temps et de surface ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ou $\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$).



nombre de moles ou kg de matière traversant la surface par unité de temps et de surface

Les phénomènes induisant un transfert de matière

Différents phénomènes sont responsables du transport de la matière. La matière peut être transportée par le mouvement du fluide (transport convectif), par diffusion de zones concentrées vers des zones de concentrations plus faibles (transport diffusif) ou encore sous l'effet de force externe (sédimentation sous l'effet de la gravité, migration électro-phorétique² de soluté chargé sous l'effet d'un champ électrique ...). Les sections suivantes détaillent ces différents mécanismes.

¹ Cette densité de flux matière sera par simplification appelée flux de matière par la suite.

² phorétique : du grec phoreo, phorô, phorein porter, transporter

1. LA DIFFUSION : LOI DE FICK

La diffusion est le mécanisme de transport de la matière sous l'effet d'un gradient de concentration, depuis les zones concentrées en matière vers les zones moins concentrées.

La loi empirique de Fick décrit ce phénomène en énonçant que le flux de matière, N , est proportionnel au gradient de concentration par l'intermédiaire du coefficient de diffusivité, D :

$$N = -D \frac{dc}{dx}$$

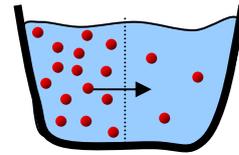
Annotations des unités :

- N : $\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$
- D : $\text{m}^2.\text{s}^{-1}$
- dc : kg.m^{-3}
- dx : m

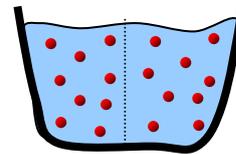
Dans cette équation, le signe moins traduit le fait que le transfert se réalise dans le sens opposé des zones concentrées aux zones diluées (dans le sens opposé aux concentrations croissantes).

Mise en évidence du transport de matière par diffusion :

S'il existe une différence de concentration dans l'espace, par exemple entre deux compartiments séparés par une membrane perméable (laissant passer le solvant comme le soluté) :



il va y avoir, au cours du temps, un déplacement de la matière, du compartiment concentré vers le moins concentré. Ce transfert s'effectue, jusqu'à ce que l'équilibre en concentration soit atteint. Ce phénomène spontané est appelé diffusion.



Mais pourquoi la matière diffuse ?

Physiquement, la diffusion reflète le « mélange » ayant lieu entre molécules du à l'inévitable agitation thermique moléculaire. Dans un liquide, les molécules sont condensées et donc proches les unes des autres. Dès qu'une molécule s'éloigne de sa position les interactions avec ses voisines ont tendance à la ramener à sa position initiale. Cependant, une certaine concordance dans les déplacements peut entraîner un changement de position « mélange » entre molécules : la diffusion. Ainsi, à 20°C, par diffusion une molécule d'eau se déplace en moyenne de 0,3 mm de sa position initiale au bout de 1 minute. Cette distance est doublée à 50°C et est toujours proportionnelle à la racine du temps³. Une molécule d'air à 20°C s'éloigne de sa position d'équilibre en moyenne de 4,6 cm en 1 minute ce qui souligne la différence de liberté de mouvement dans un gaz et un liquide déjà mise en évidence dans le paragraphe II A 1. Si on place des molécules ou des particules (inférieure à 1 mm) dans ce mélange agité de molécules, les chocs désordonnés des molécules environnantes provoque le déplacement irrégulier et incessant des molécules ou des particules : le mouvement Brownien (voir b). Ainsi une particule de 0.5 mm de

³ $l = \sqrt{Dt}$

diamètre dans l'eau se déplace de sa position initiale de x mm en 1 minute en moyenne.

Si on place des molécules ou des particules (inférieure à $1 \mu\text{m}$) dans ce mélange agité de molécules, les chocs désordonnés des molécules environnantes provoquent le déplacement irrégulier et incessant des molécules ou des particules : le mouvement brownien (voir b). Ainsi une particule de $0.5 \mu\text{m}$ de diamètre dans l'eau se déplace de sa position initiale de x mm en 1 minute en moyenne.

Pour en savoir plus :

Sur le mouvement Brownien ...
http://fr.wikipedia.org/wiki/Mouvement_brownien

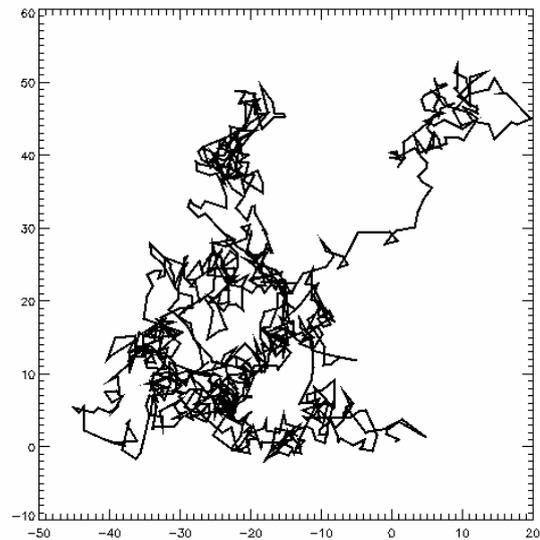


Figure 1.2 : Déplacement d'un soluté par diffusion Brownienne sur le principe de la marche au hasard.

Ordre de grandeur de la diffusion

La vitesse du phénomène de diffusion est quantifiée par la diffusivité ou la coefficient de diffusion. Généralement la diffusivité augmente avec la température. Cependant, alors que la diffusivité des gaz est pratiquement indépendante de la composition mais varie avec la pression, la diffusivité des liquides et des solides est essentiellement dépendante de la concentration. L'estimation de la diffusivité peut se faire de différentes façons.

Ordre de grandeur de la diffusivité :		
gaz	10^{-5} - 10^{-3}	m^2/s
liquide	10^{-10} - 10^{-9}	m^2/s
solide	10^{-15} - 10^{-13}	m^2/s

Le phénomène de transfert de matière par diffusion opère dès qu'il y a une différence de concentration. C'est un phénomène spontané et inévitable (phénomène dispersif) conduisant à un équilibre et qui donc s'oppose à la fonction principale d'un procédé. La diffusion est le phénomène de transport de matière incontournable comme le sont la conduction et l'écoulement visqueux en transfert thermique et mécanique des fluides respectivement.

Pour continuer l'apprentissage :

D'autres ressources sur le transfert de matière sont sur

<http://www.patricebacchin.fr/teaching.html> dont un [cours avec exercice médiatisé](#)