1 Le point sur le vocabulaire: diffusion, convection, conduction

- Un *transfert* , de matière ou de chaleur , peut se faire sous deux processus différents : la *diffusion* ou la *convection* .

  Le terme de *conduction* est délicat d'emploi car il s'applique tantôt à la diffusion tantôt à la convection. Si on peut il est préférable de l'éviter.

- La *diffusion* sans qualificatif est un terme trop général. La physique distingue quatre phénomènes de diffusion :
  - la propagation des ondes lorsque celles-ci rencontrent un obstacle : diffusion de la lumière par la poussière, diffusion Rayleigh (i.e. interaction de l'onde avec l'électron)
  - la *diffusion de matière* ou transfert de matière
  - la *diffusion thermique* ou transfert de chaleur sans déplacement de matière
  - la déviation d'une particule chargée lors d'une interaction électrostatique : diffusion de Rutherford (i.e. déviation d'un faisceau d'ions Hélium He^{2+} par des noyaux d'or)

- La *diffusion de matière*
  - désigne la tendance naturelle d'un système à **rendre homogène** la concentration .
  - sous l'effet de l'agitation thermique on observe un déplacement des particules des zones de fortes concentrations vers celles de faibles concentrations.

- La *diffusion thermique* (appelée aussi *conduction thermique*)
  - désigne la tendance naturelle d'un système à **rendre homogène** la température.
  - l'agitation thermique se transmet de proche en proche : une particule cède une partie de son énergie cinétique à sa voisine, (ou sa vibration se ralentit au profit de la vibration de sa voisine). La diffusion thermique se fait **sans déplacement appréciable de matière**.

- La *convection de matière* (appelé aussi *conduction* dans le cas de charges)
  - déplacement de matière **entraîné** par le milieu **fluide** ou par une différence de potentiel dans le cas de matière chargée. Ce déplacement n'est alors pas dû à une inhomogénéïté de concentrations. Exemple-1 : des bouchons de liège régulièrement répartis à la surface d'une rivière sont entraînés par le courant de celle-ci : c'est un mouvement de convection. Exemple-2 : des électrons sont accélérés par une différence de potentiel : c'est un mouvement de convection appelé aussi courant de conduction électrique.

- La *convection thermique*
  - désigne la tendance naturelle d'un système à **rendre homogène** la température.
  - **avec déplacement de matière** ; la matière doit donc être fluide et non solide. Durant la cuisson des pâtes, l'eau se met en mouvement spontanément, les groupes de particules proches du fond de la casserole sont chauffés , se dilatent et deviennent moins denses et montent. Ceux de la surface sont refroidis par le contact air moins chaud, se contractent , gagnent en densité et plongent. Le transfert thermique est dans ce cas plus efficace que la diffusion thermique.

2 Diffusion de particules

La **densité volumique de particules** : $n(M,t)$ caractérise le nombre de particules par unité de volume. Un volume infinitésimal $d\tau$ contient alors

$$dN(M,t) = n(M,t)\,d\tau$$

Le vecteur **densité de courant de particules** est tel que le nombre de particules traversant une surface orientée **dS** pendant une durée dt vaut :

$$\delta N = \vec{j}_n.\vec{S}\,dt = \phi\,dt$$

La conservation du nombre de particules se traduit par l'**équation locale de diffusion** :

$$\frac{\partial n}{\partial t} + div\,\vec{j}_n = 0$$

La loi de Fick s'écrit :

$$\vec{j}_n = -D\,\vec{\mathbf{grad}}n$$

Les deux donnent l'équation de diffusion :

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D\,\Delta n$$

On en déduit le lien entre distance et durée caractéristiques d'un phénomène diffusif:

$$\delta = \sqrt{D\tau}$$

3 Diffusion thermique

Le vecteur **densité de courant thermique** est tel que le transfert thermique (ou chaleur) traversant une surface orientée $\vec{S}$ pendant une durée dt vaut :

$$\delta Q = \vec{j}_Q.\vec{S}\,dt = P_{th}dt$$

Le premier principe se traduit par l'**équation locale de diffusion** :

$$\mu\,c\,\frac{\partial T}{\partial t} + div\,\vec{j}_Q = 0$$

La loi de Fourier s'écrit :

$$\vec{j}_Q = -\lambda\,\vec{\mathbf{grad}}T$$

Les deux donnent l'équation de diffusion :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = D_{th}\,\Delta T$$

On en déduit le lien entre distance et durée caractéristiques d'un phénomène de diffusion thermique:

$$\delta = \sqrt{D_{th}\tau}$$

4 Rappels de conduction électrique

Le vecteur **densité de courant électrique** est tel que la charge traversant une surface orientée $\vec{S}$ pendant une durée dt vaut :

$$dq = \vec{j}.\vec{S}\,dt = i\,dt$$

Équation de **conservation de la charge** :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div\,\vec{j} = 0$$

Loi d'Ohm locale en régime stationnaire ou lentement variable :

$$\vec{j} = \sigma\,\vec{E} = -\sigma\,\vec{\mathbf{grad}}V$$

Les deux donnent l'équation de diffusion :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \sigma\,\Delta V$$

5 Résistances thermique et électrique

On définit la résistance thermique par analogie avec l'électronique :

$$T_{amont} - T_{aval} = R_{th}P_{th} \qquad V_{amont} - V_{aval} = R\,i$$

Pour un conducteur thermique rectiligne de surface S et d'épaisseur e : $R_{th} = e/\lambda S$
Pour un conducteur électrique rectiligne de surface S et de longueur l : $R = \rho l/S = l/\sigma S$
La conductance G_{th} (ou G) est définie comme l'inverse de la résistance.

Dans le cas du double vitrage, les résistances thermiques sont en **série** tandis que dans une habitation où existent des murs et des vitres, les résistances thermiques sont en **parallèle**.

6 Comparaison des phénomènes de transport

Inhomogénéité à l'origine de la diffusion	n	T	V
Flux surfacique ou puissance surfacique	$\vec{j}_n = -D\,\vec{\mathbf{grad}}n$	$\vec{j}_Q = -\lambda\,\vec{\mathbf{grad}}T$	$\vec{j} = -\sigma\,\vec{\mathbf{grad}}V$
Grandeur extensive transportée	$\delta N = \vec{j}_n.\vec{S}\,dt$	$\delta Q = \vec{j}_Q.\vec{S}\,dt$	$\delta q = \vec{j}.\vec{S}\,dt$
Bilan en absence de source	$\frac{\partial n}{\partial t} + div\,\vec{j}_n = 0$	$\mu\,c_v\,\frac{\partial T}{\partial t} + div\,\vec{j}_Q = 0$	$\frac{\partial \rho}{\partial t} + div\,\vec{j} = 0$
Équation globale en absence de source	$\frac{\partial n}{\partial t} = D\,\Delta n$	$\frac{\partial T}{\partial t} = D_{th}\,\Delta T$	$\frac{\partial \rho}{\partial t} = \sigma\,\Delta V$ en régime lentement variable