

Introduction au cours de transfert de chaleur

Présentation des 3 modes de transfert de chaleur

Exemples industriels

Les fondements physiques

Le plan du cours

Remarques de conclusion

Présentation des 3 modes de transfert de chaleur

Exemples industriels

Les fondements physiques

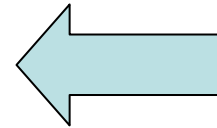
Le plan du cours

Remarques de conclusion

Découvrons la Thermique sur des exemples simples



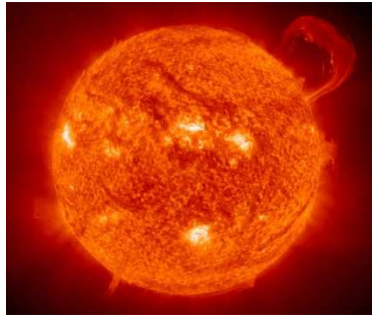
Rayonnement



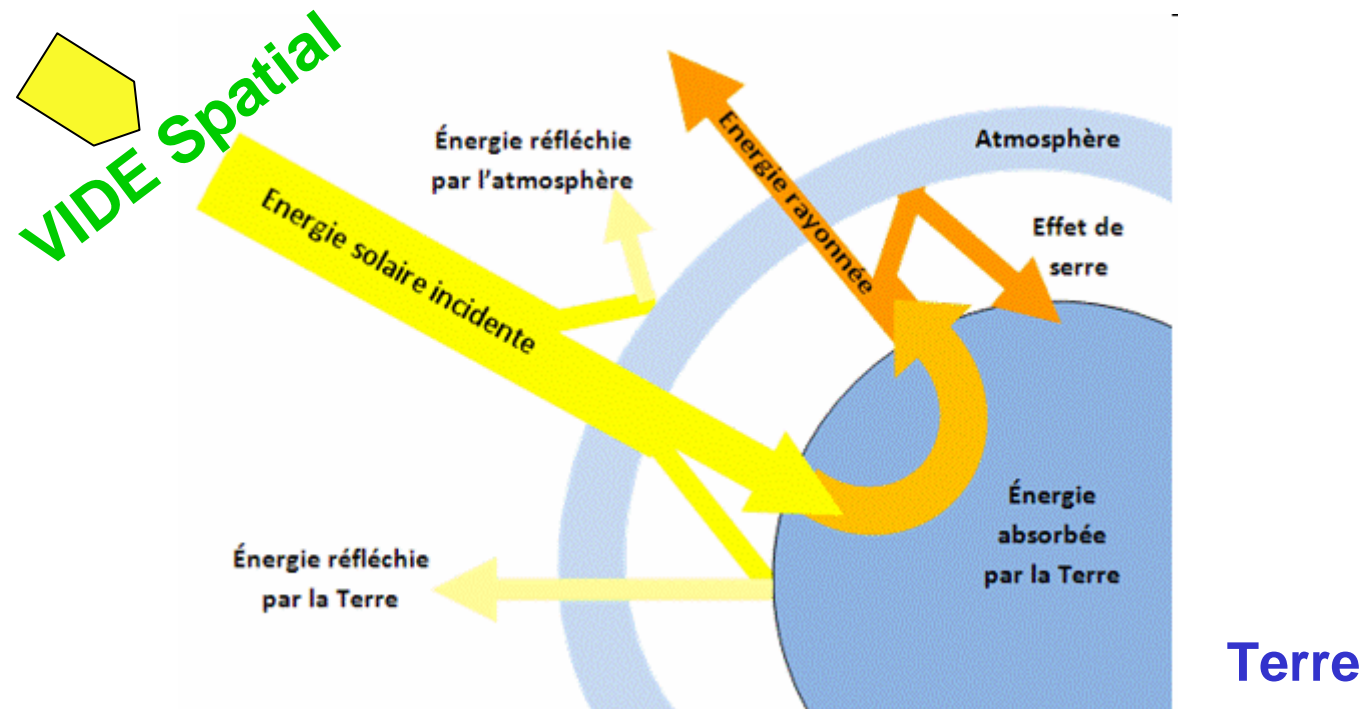
Chaleur de la flamme
vers la viande, à travers
l'air

Oui, mais l'air chaud peut aussi réchauffer la viande !

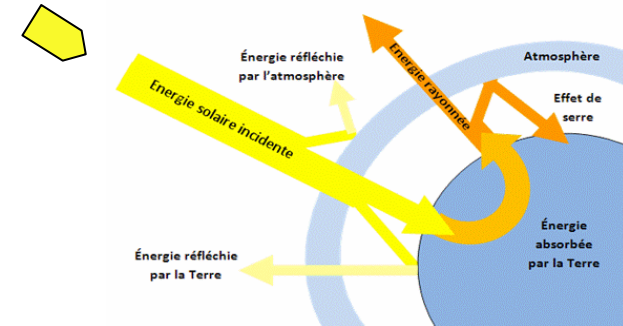
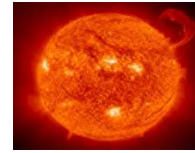
Découvrons la Thermique sur des exemples simples



Soleil



Cette énergie est transférée du soleil vers la terre à travers le vide spatial



➡ Résumons

Il s'agit là d'un premier mode de transfert de chaleur qui n'a donc **pas besoin de support matériel**

- Tout comme la lumière qui nous vient du soleil, cette énergie se propage sous forme **d'ondes électromagnétiques**.
- On parle alors de transfert par **rayonnement** ou de transfert radiatif

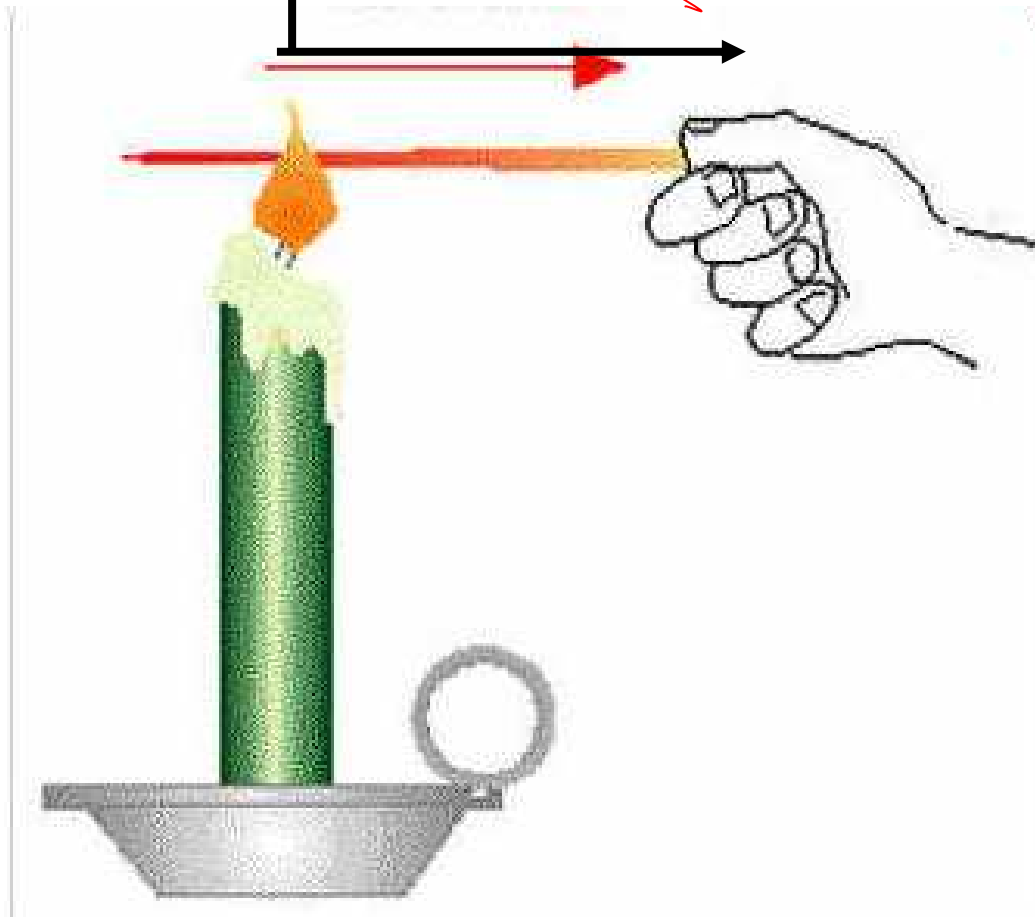
Remarques

1. La **lumière** met en jeu des longueurs d'ondes situées dans la domaine du visible (0.4 à 0.7 μ).
2. Le **rayonnement thermique** met en jeu une gamme de longueurs d'ondes beaucoup plus large.
3. **Tous les corps** émettent du rayonnement

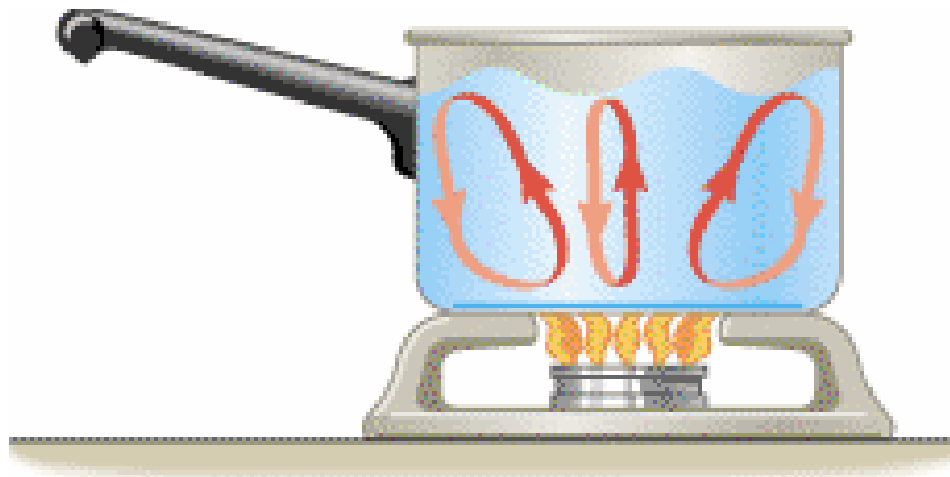
Une partie du cours de transfert de chaleur sera consacrée au transfert par rayonnement

Température

CONDUCTION



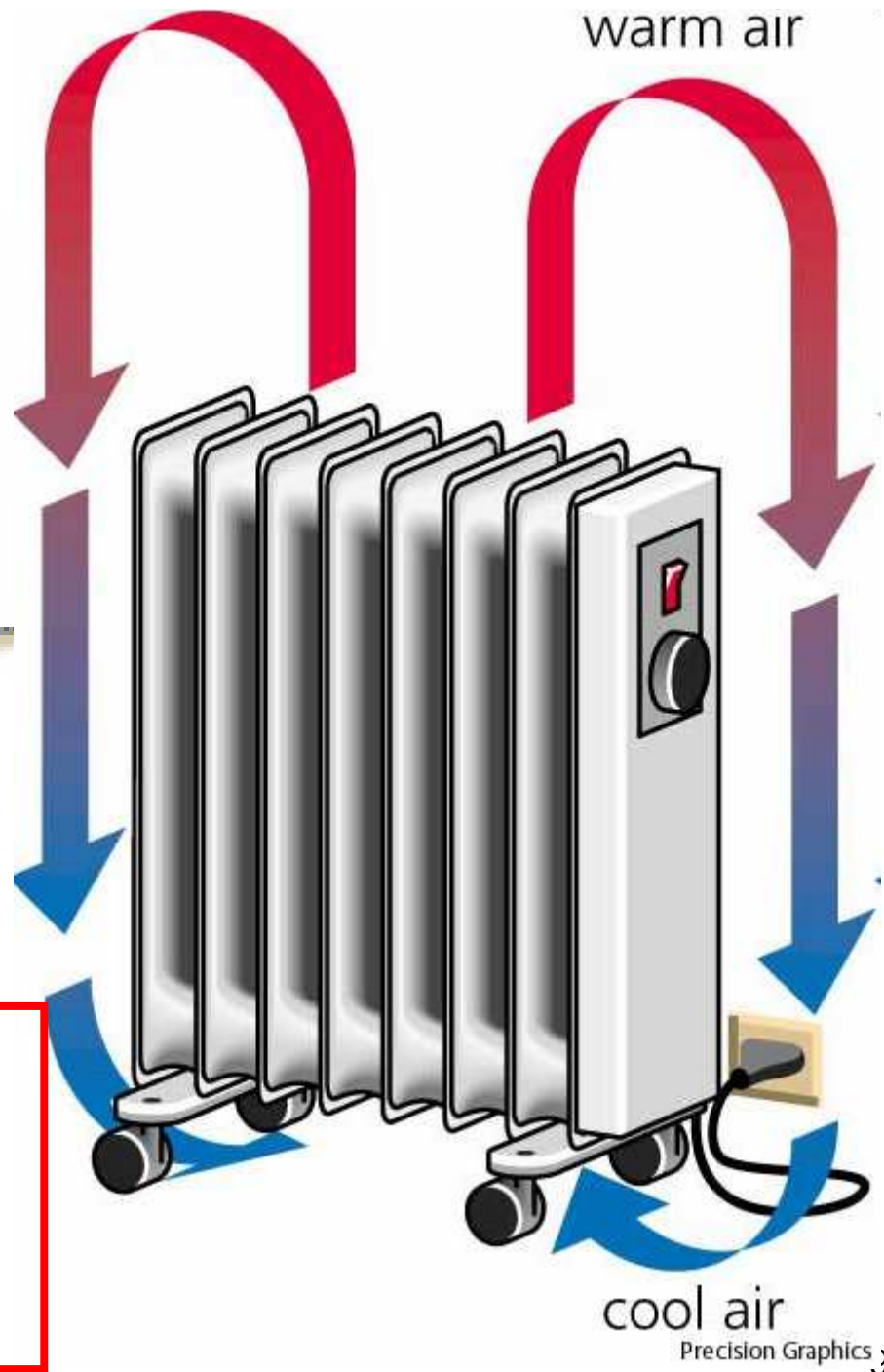
La chaleur
se transfère
dans une
tige **solide**



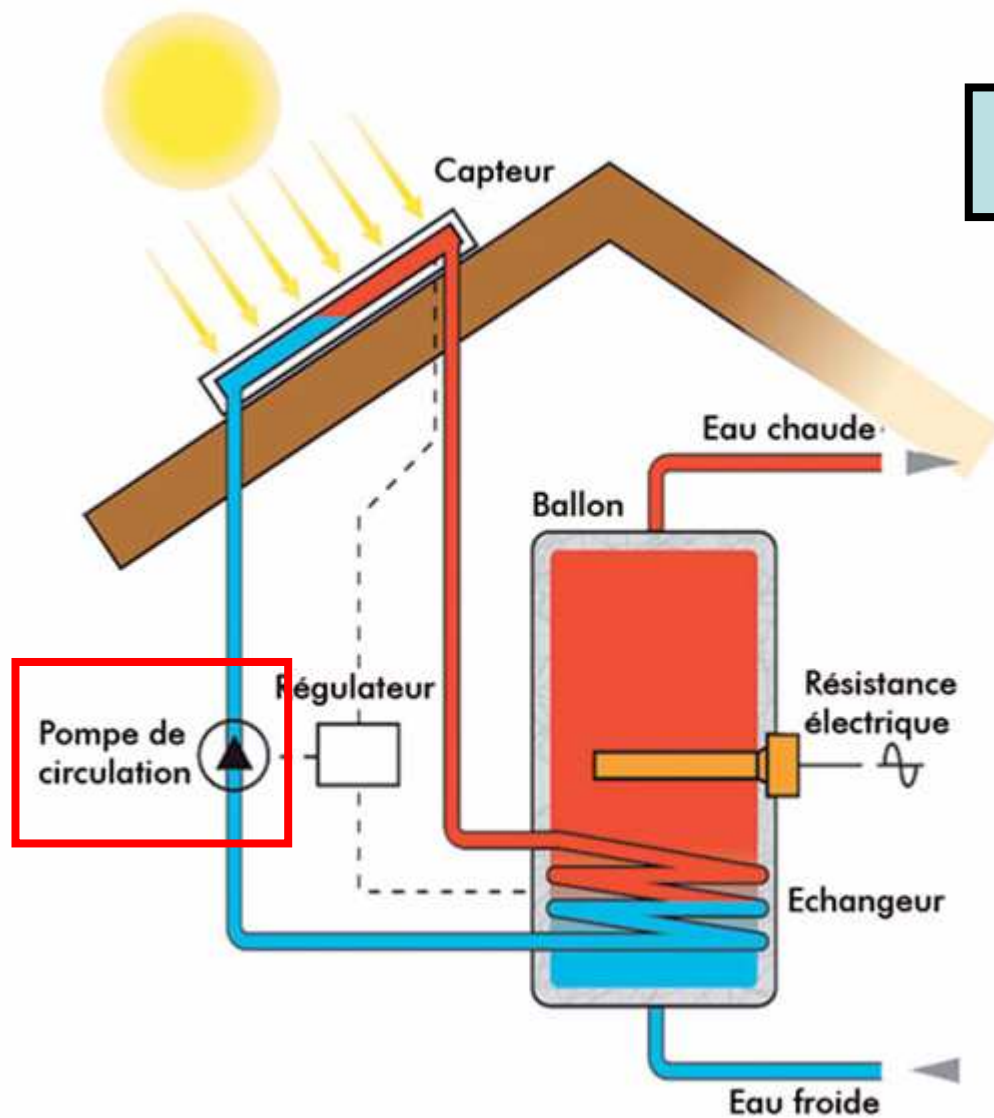
CONVECTION

Présence d'un fluide en mouvement : ici pas de pompe, pas de ventilateur

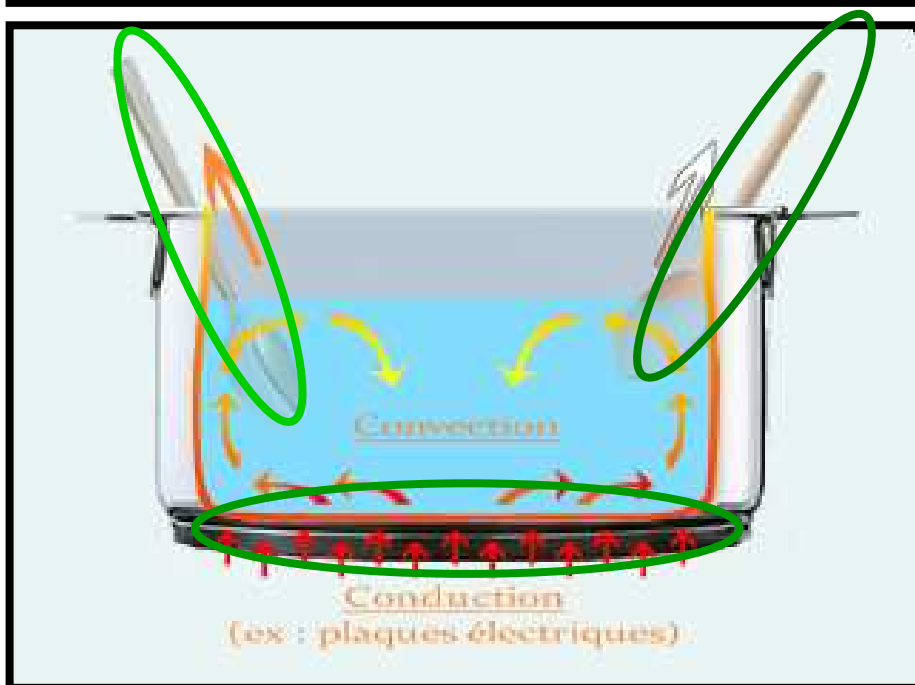
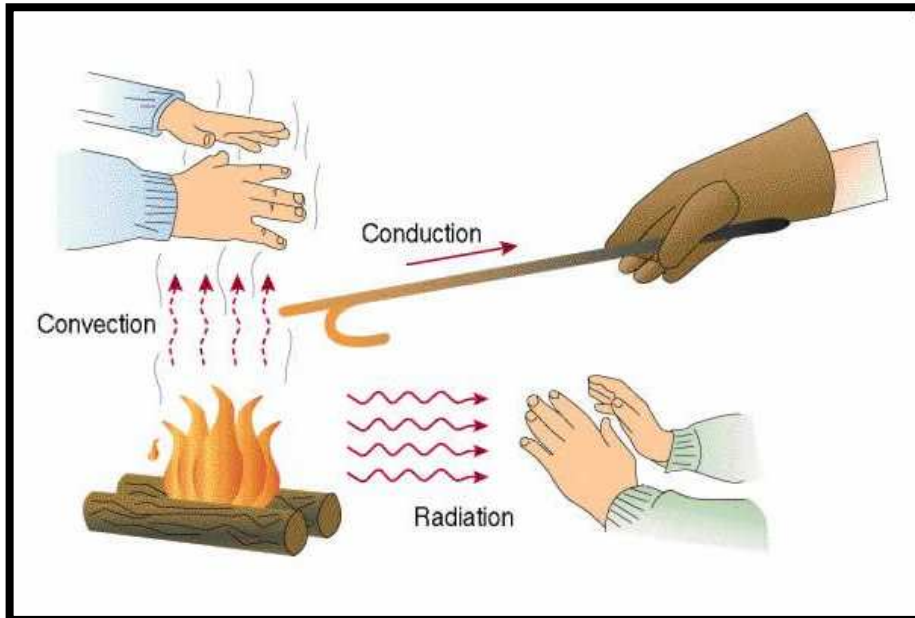
Convection **naturelle**



CONVECTION



Circulation du
fluide assurée par
une pompe:
convection **forcée**



➔ Remarque

On note fréquemment la **présence simultanée** des modes de transfert de chaleur :

- Conduction,
- Rayonnement
- Convection

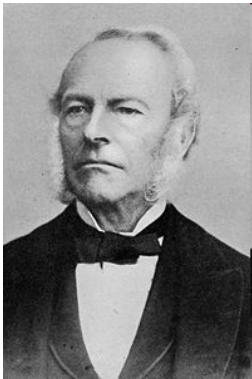
Les premières contributions au transfert de chaleur

CONDUCTION

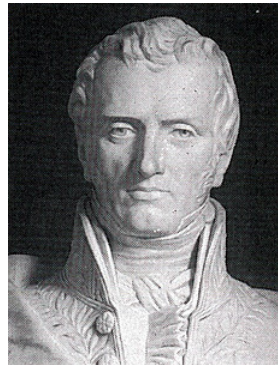


Fourier
1822

CONVECTION



Navier
1822



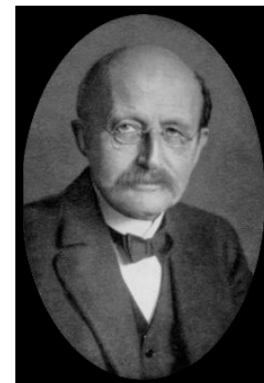
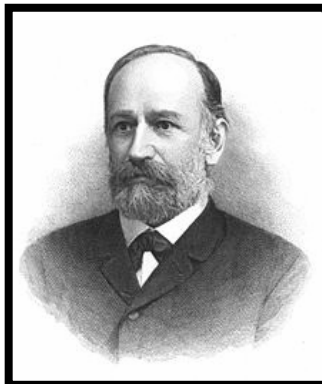
Stokes
1846



Reynolds
1883

RAYONNEMENT

Stefan 1879



Planck 1901

Présentation des 3 modes de transfert de chaleur

Exemples industriels

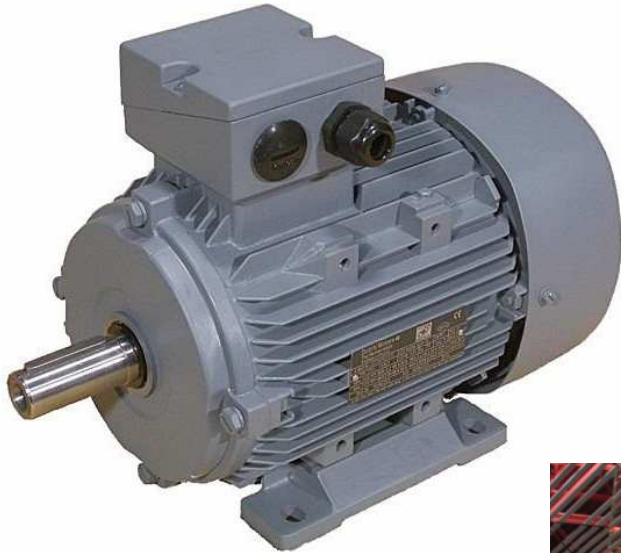
Les fondements physiques

Le plan du cours

Remarques de conclusion

Poursuivons sur des exemples industriels

Moteurs électriques

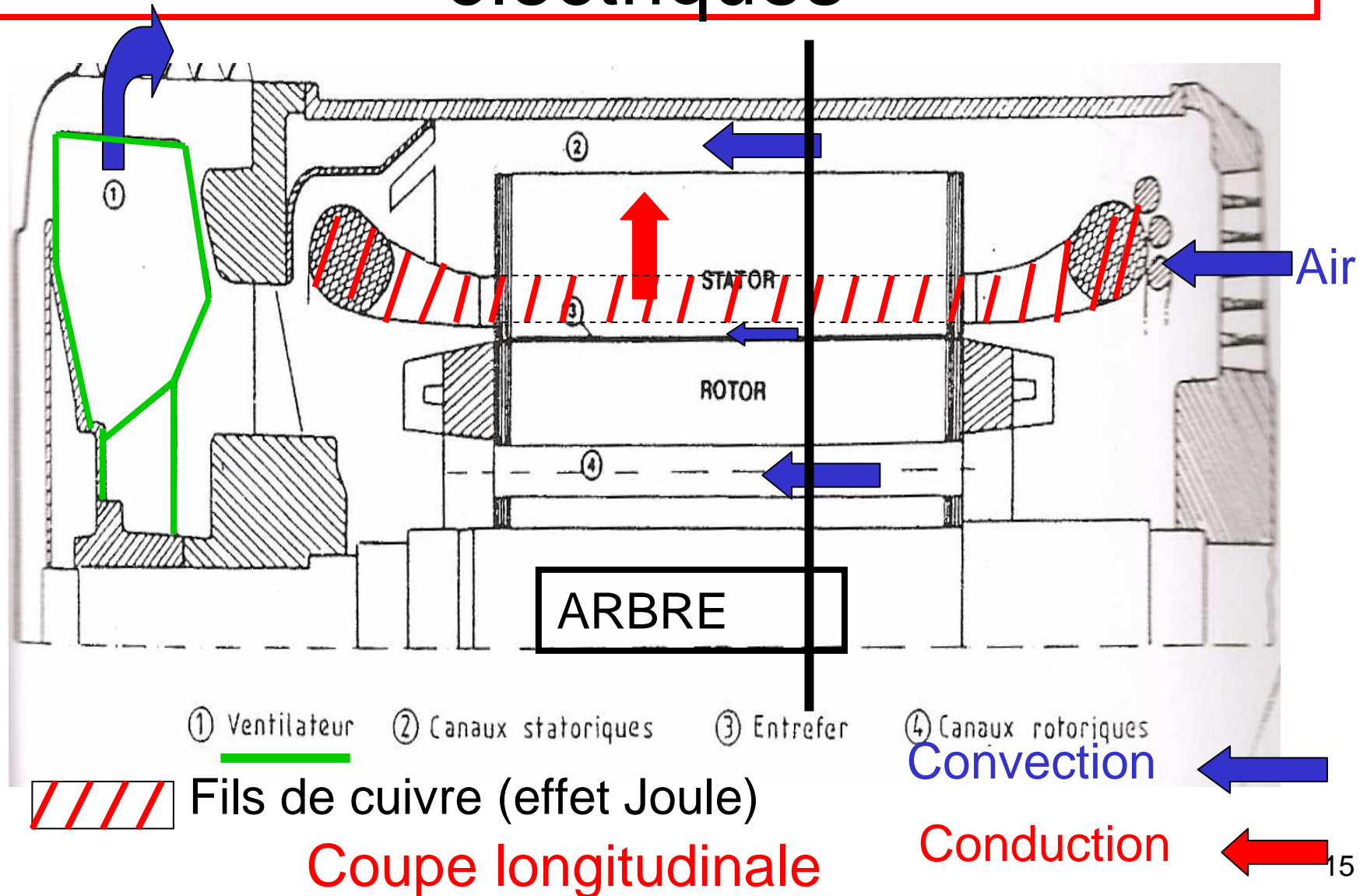


Electronique

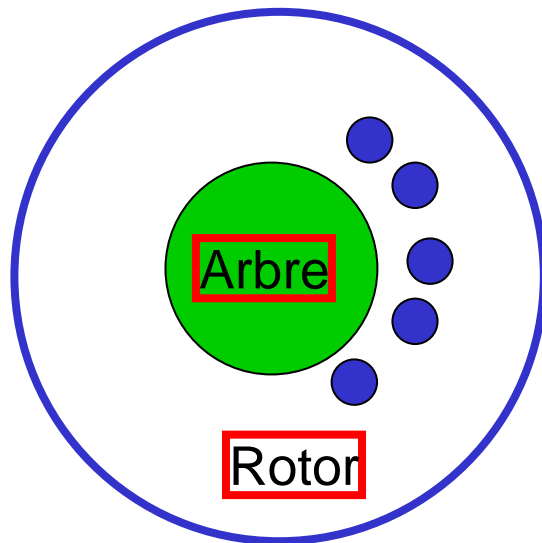
Satellites



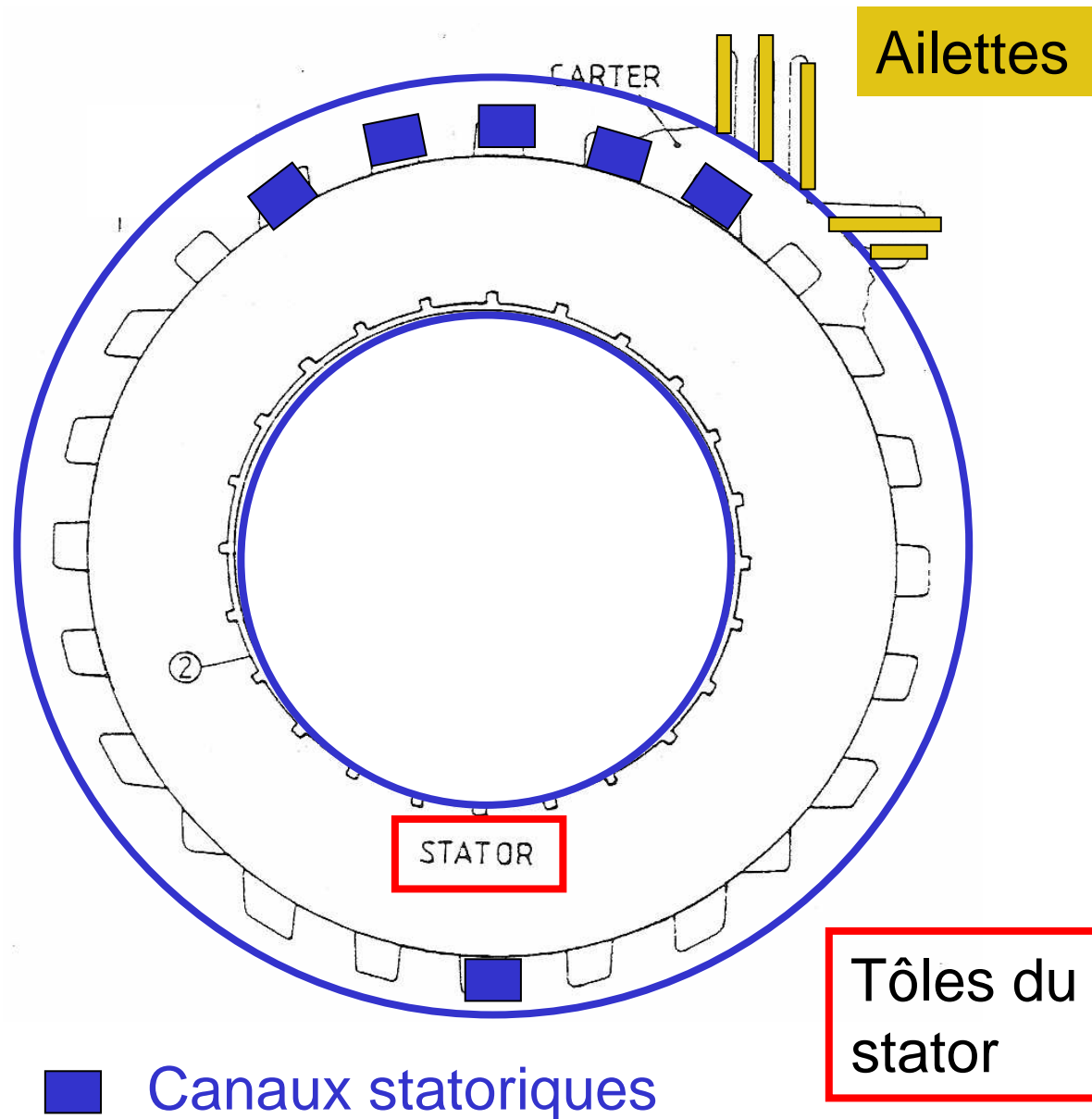
Thermique des machines électriques

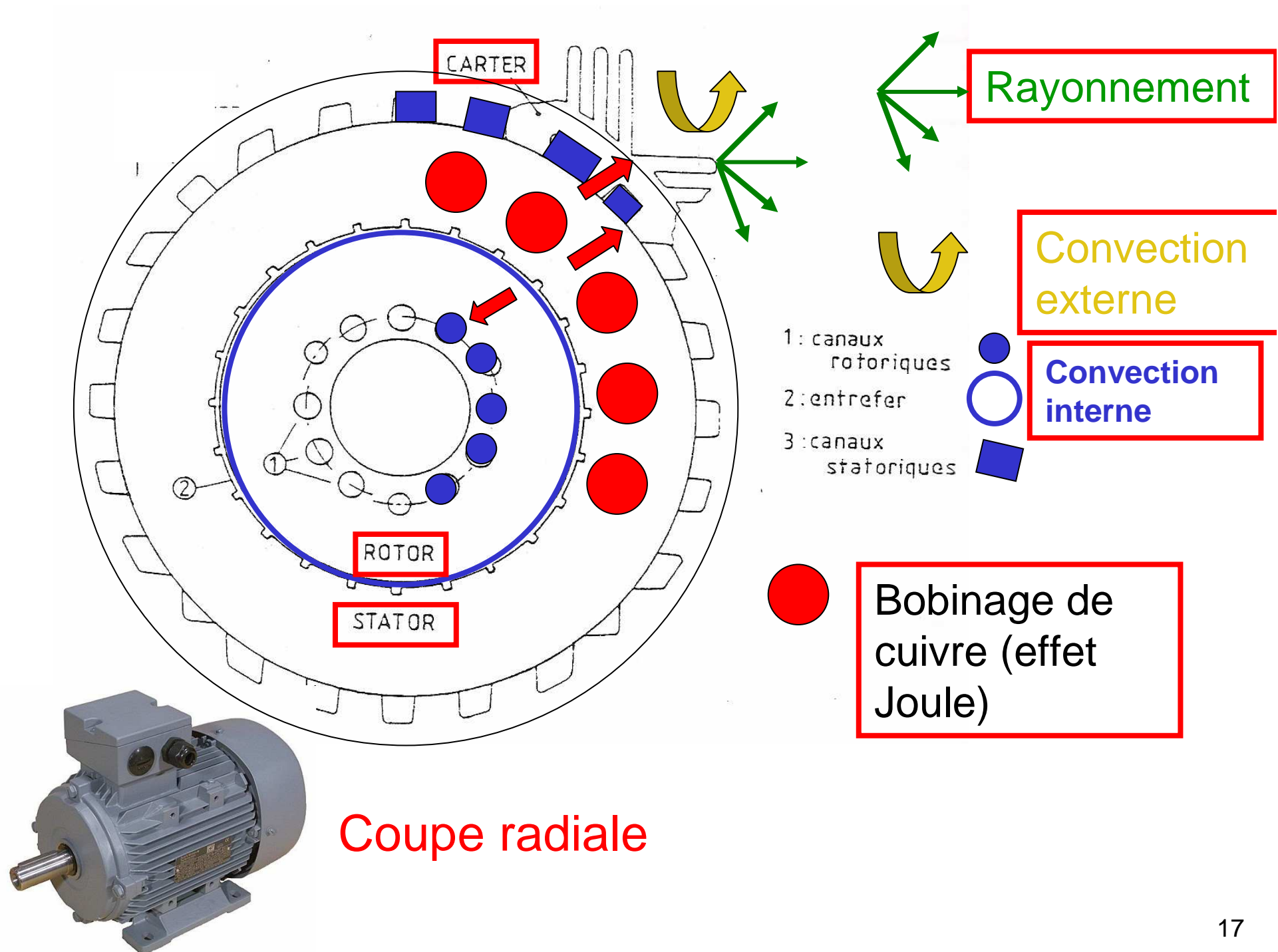


Tôles du rotor

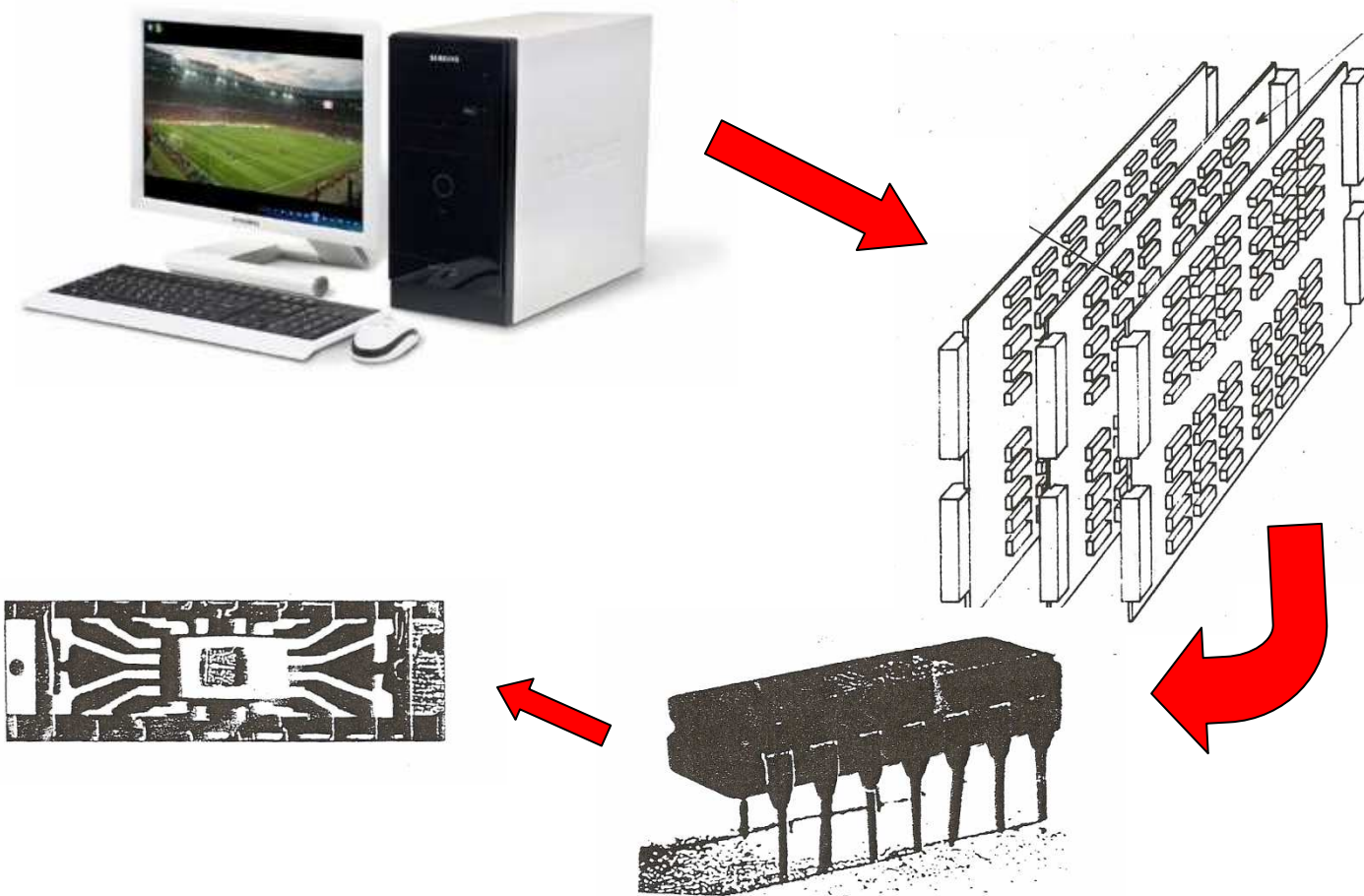


● Canaux
rotoriques

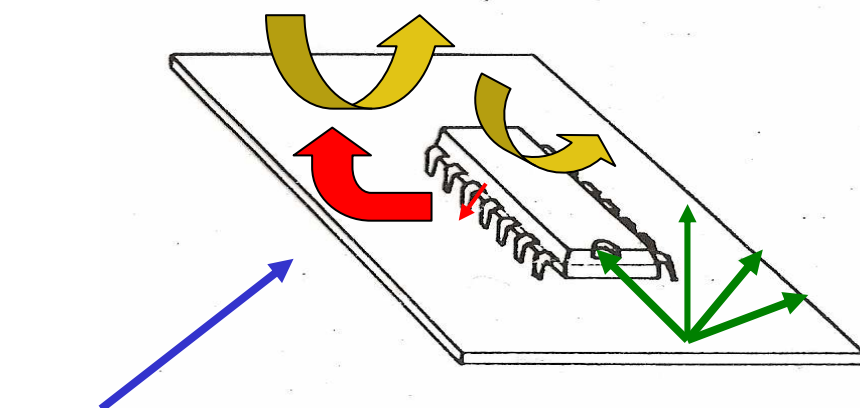
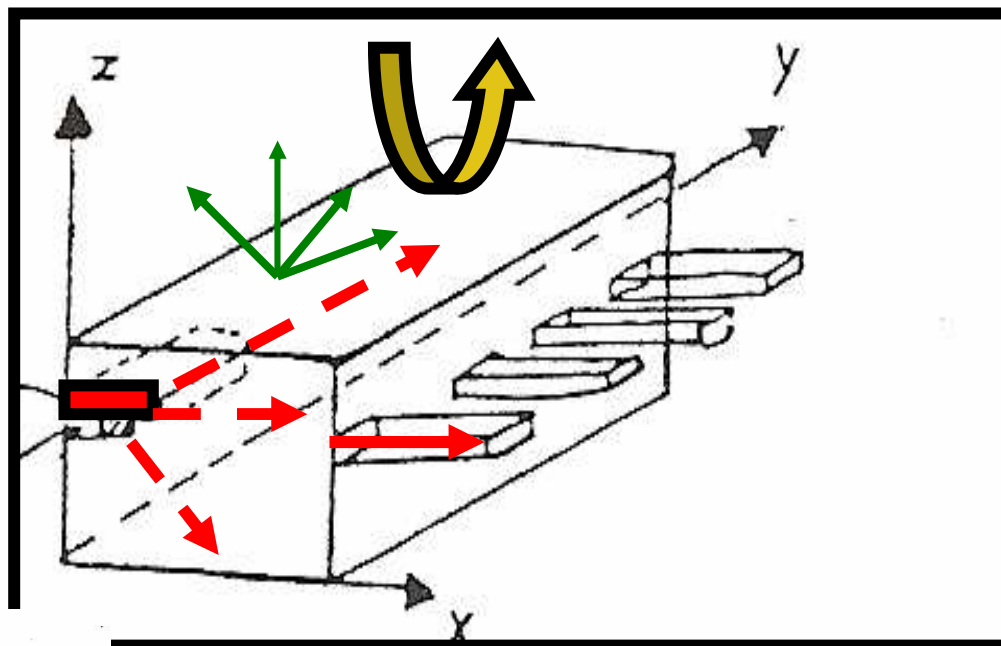
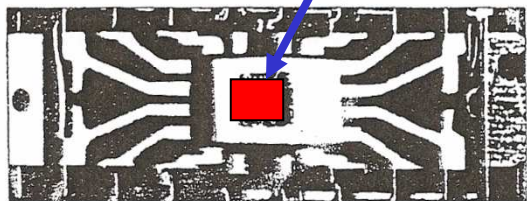




Thermique et électronique



Puce = effet Joule



carte

Rayonnement

- - - - - Conduction dans le boîtier

— — — — — Conduction dans les pattes

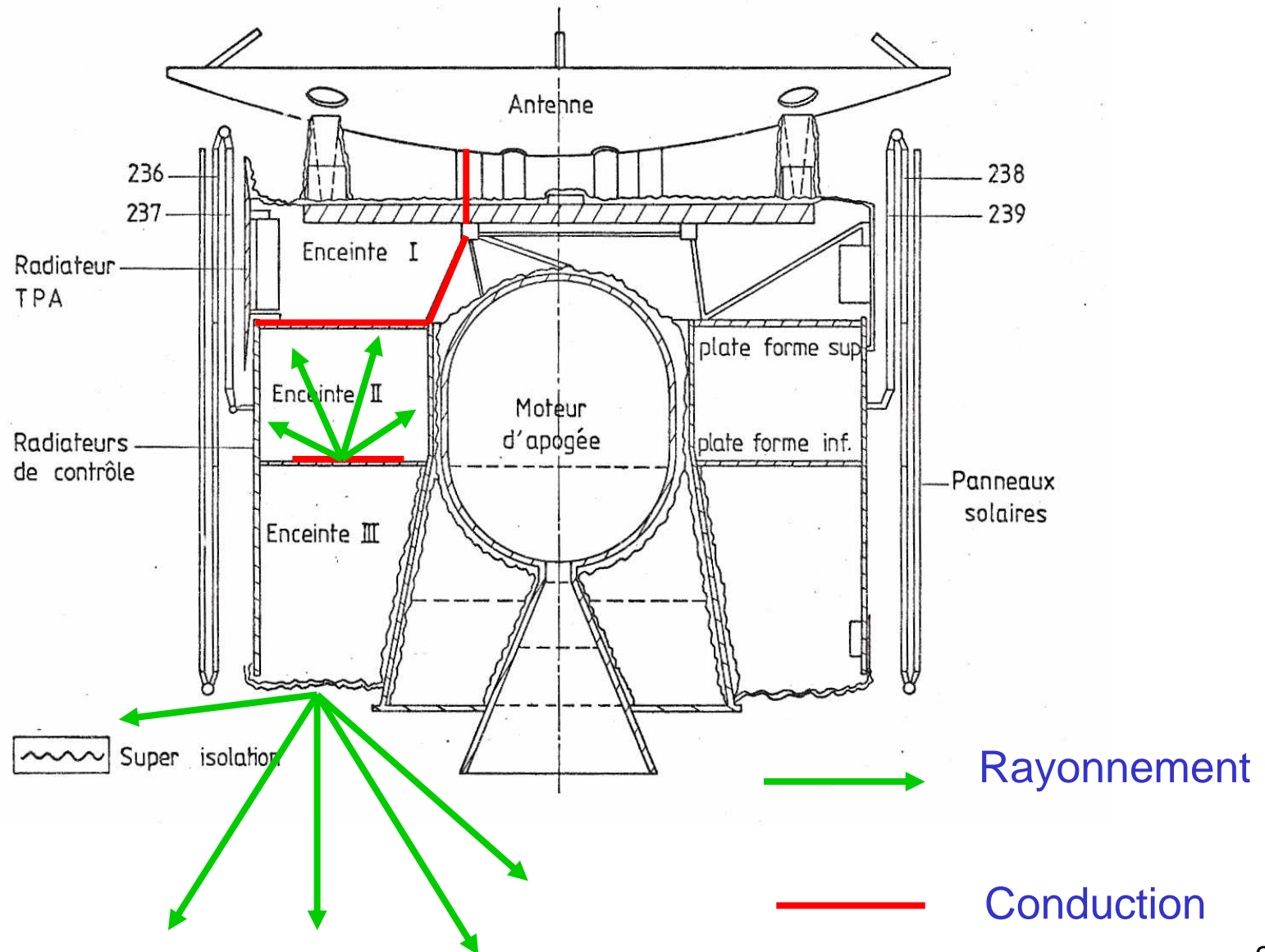
Convection

Thermique des satellites



- Rayonnement solaire incident et réfléchi par la terre
- Rayonnement infra rouge émis par le satellite et par la terre

En orbite, en principe, pas de convection



Présentation des 3 modes de transfert de chaleur

Exemples industriels

Les fondements physiques

Le plan du cours

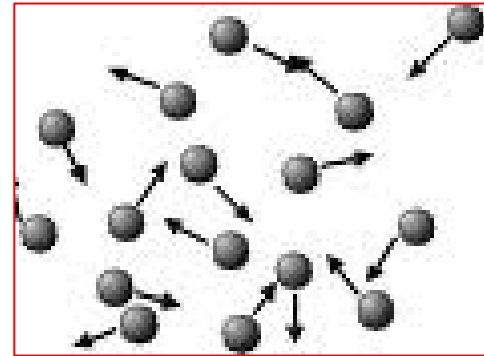
Remarques de conclusion

Une vision des transferts à l'échelle microscopique

1) Conduction

Gaz

Les molécules sont en perpétuelle agitation. Les gaz monoatomiques ont 3 degrés de liberté x, y, et z

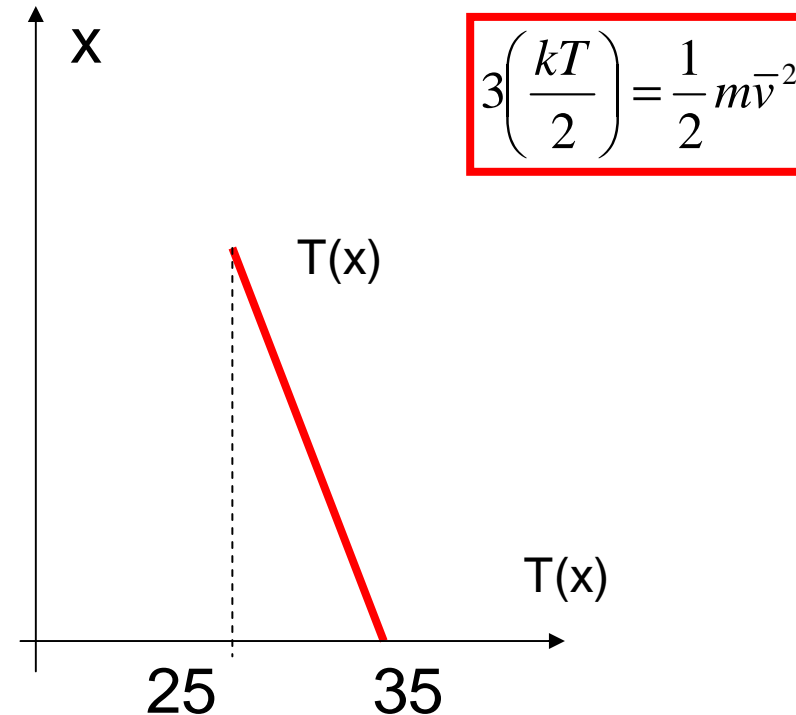
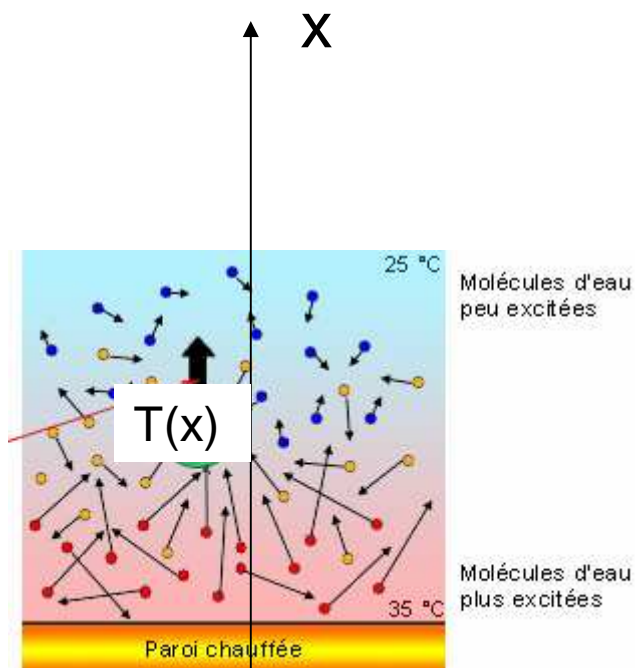


1 atome
Masse m
Vitesse moyenne \bar{v}

La règle de l'équipartition de l'énergie s'écrit: $3\left(\frac{kT}{2}\right) = \frac{1}{2}m\bar{v}^2$

La **chaleur** apparaît donc comme une traduction de l'agitation moléculaire. Elle s'échange lors des chocs.

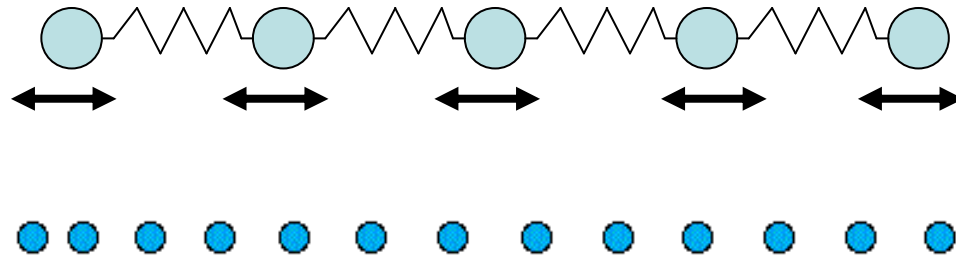
Libre parcours moyen entre chocs: $\lambda_{pm} \approx 100 \text{ nm}$!



Les molécules proches de la paroi chaude (rouges) ont une vitesse moyenne élevée. Lors des chocs, elles cèdent de l'énergie cinétique aux molécules plus froides (oranges) et contribuent à remonter ainsi leur niveau de température. Même chose entre les molécules oranges et bleues

Une vision des transferts à l'échelle microscopique

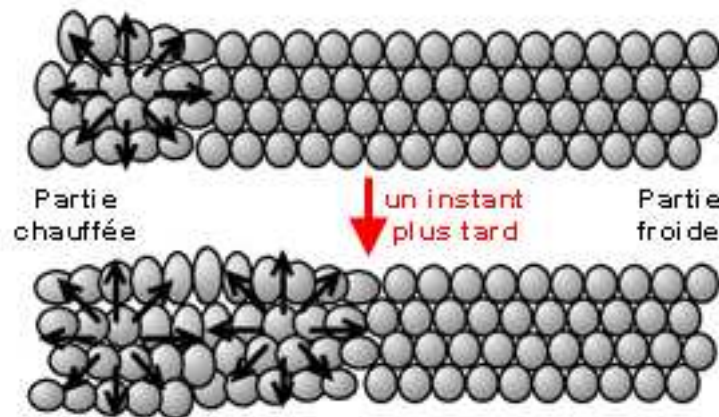
Solide isolant



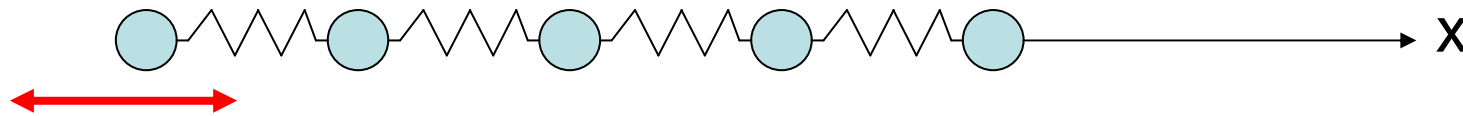
1 atome : une
masse m



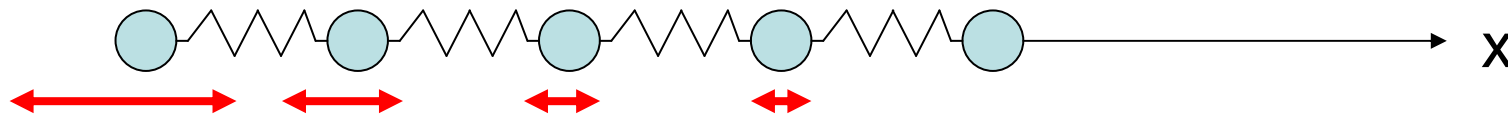
Les forces
d'interaction:
un ressort
de raideur k



Appliquons une perturbation en bout de réseau



Une « onde » se propage de proche en proche , apportant un surplus d'énergie **cinétique** et d'énergie **potentielle**



$$2\left(\frac{kT}{2}\right) = \frac{1}{2}kx^2 + \frac{1}{2}m\dot{x}^2$$

Ce surplus d'énergie se propage sous la forme d'une augmentation de la température locale

Ces ondes sont équivalentes à des quasi particules, les phonons

Solide métallique

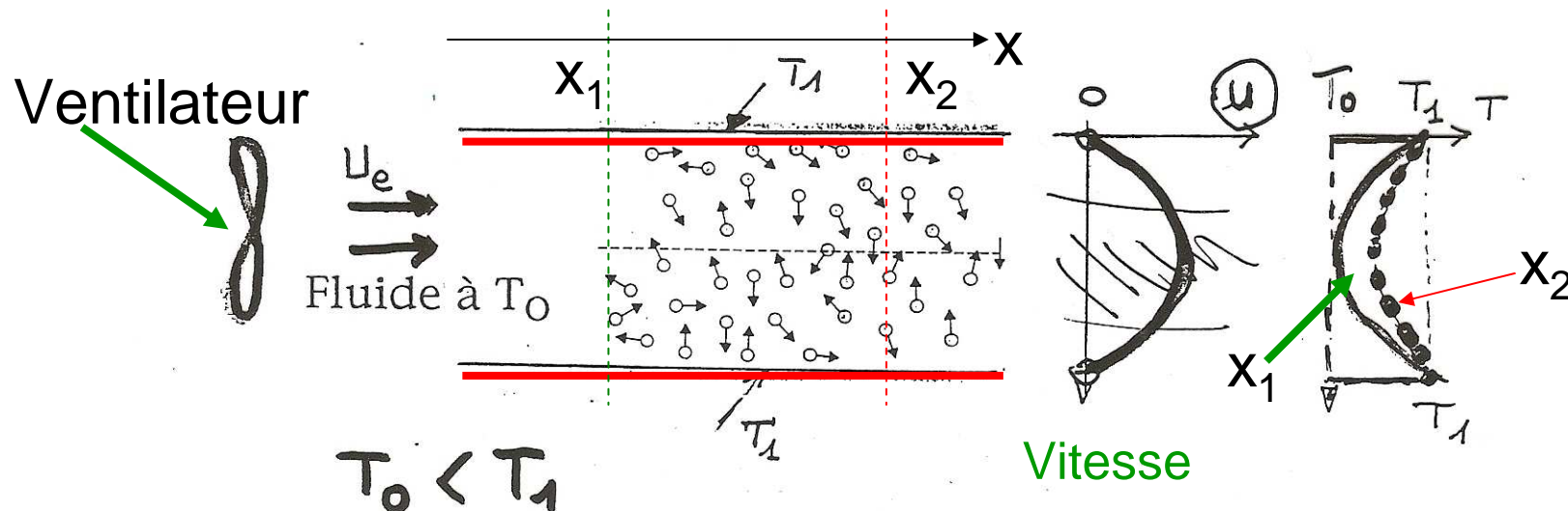
En plus des phonons liés au réseau cristallin, le métal possède des **électrons** « **mobiles** » parmi les ions. L'ensemble de ces électrons peut être assimilé à un gaz ou chaque électron est porteur d'énergie cinétique.

De fait ils peuvent donc comme les molécules des gaz réels contribuer à transférer de la chaleur par leur agitation cinétique.

En pratique les électrons sont plus efficaces que les ondes cristallines et un métal a donc une meilleure conductivité thermique

2) Convection

Un **ventilateur** impose le mouvement d'ensemble du fluide, qui entre à $T_0 < T_1$, température de la paroi du tuyau



Convection = 2 Mécanismes:

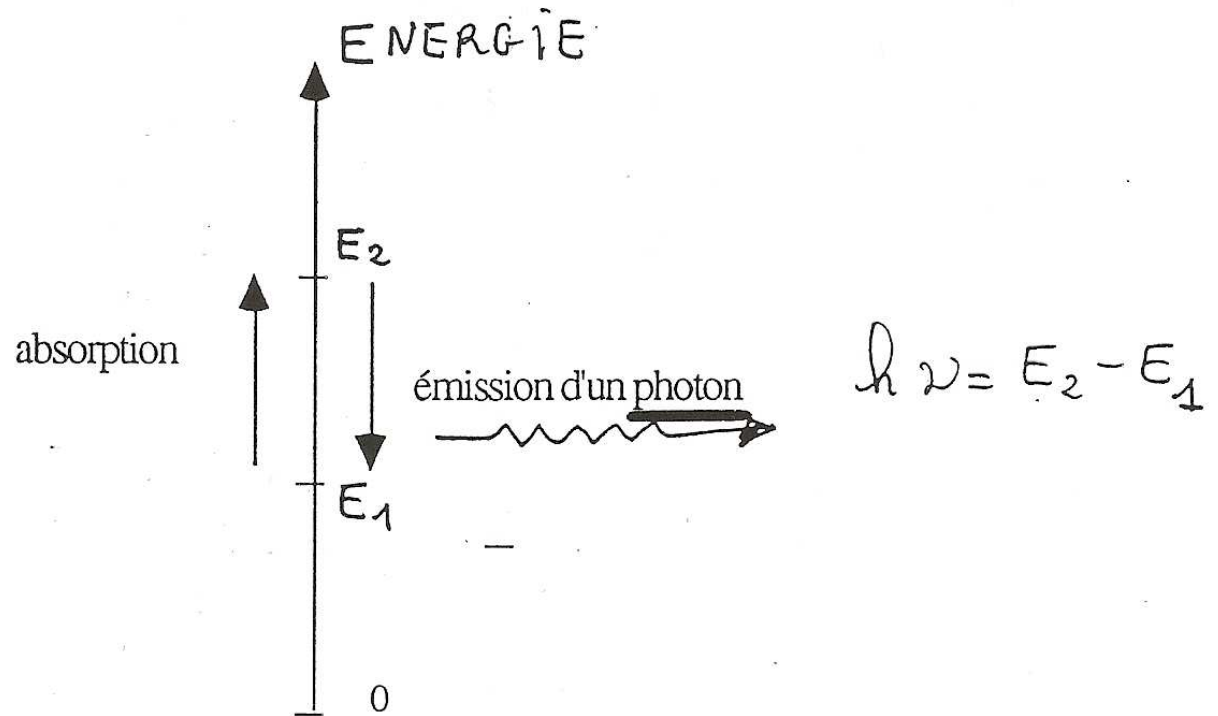
Conduction (chocs moléculaires)

+Advection (lié au mouvement d'ensemble)

3) Rayonnement

Gaz

Mécanisme moléculaire

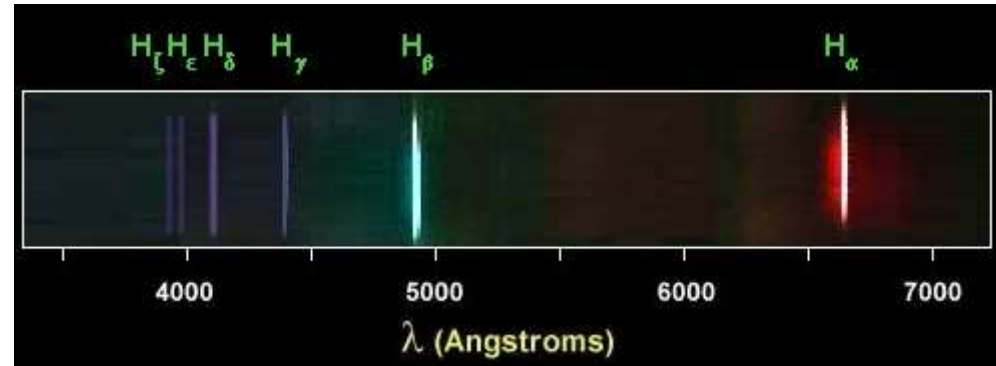


L'énergie d'une molécule prend des valeurs discrètes.

Les transitions s'effectuent par absorption ($E_1 \rightarrow E_2$)
ou par émission ($E_2 \rightarrow E_1$) d'un **photon**

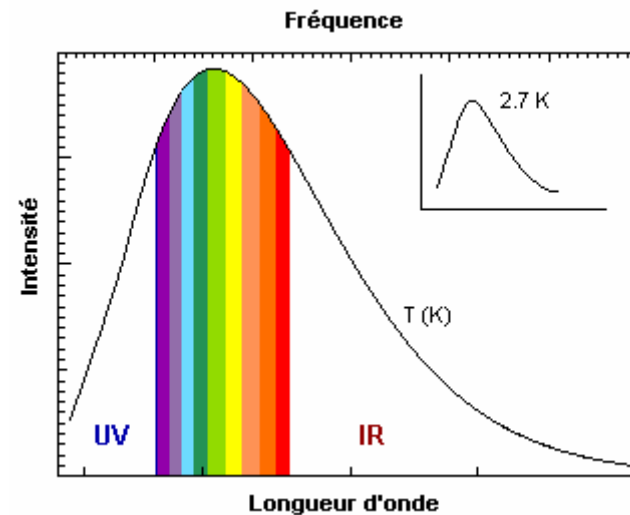
Un spectre radiatif de gaz présente des raies discrètes

Raies de l'hydrogène



Pour un solide, l'interaction entre les émetteurs (atomes d'un solide) conduit à un spectre continu

Spectre du corps noir



Présentation des 3 modes de transfert de chaleur

Exemples industriels

Les fondements physiques

Le plan du cours

Remarques de conclusion

Transfert de chaleur par Conduction



Plan du cours
et commentaires

Introduction

Leçon 1

Phénoménologie de la conduction et équation de la chaleur

Leçon 2

Les problèmes stationnaires

Géométrie 1D : plane, cylindrique, sphérique

Présence de sources

Concept de **résistance thermique**

Leçon 3

Les conditions aux limites, et aux interfaces

Leçon 4

Les ailettes

Leçon 5

Ouverture vers les problèmes 2 D et 3 D

Leçon 6

Les problèmes non stationnaires

Mur semi fini

Mur fini

Régime quasi périodique

Présentation des 3 modes de transfert de chaleur

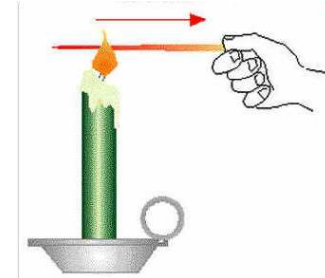
Exemples industriels

Les fondements physiques

Le plan du cours

Remarques de conclusion

Commentaires



Dans l'introduction de ce cours de transfert de chaleur, nous avons observé que la **conduction** nécessite la présence d'un **milieu matériel**, qui sert de support au transfert

Ainsi, solides, liquides, gaz, peuvent-ils être le siège de transfert conductif. Cependant les **fluides** peuvent aisément de prêter à l'apparition de mouvements d'ensemble, qui participent au transfert de chaleur (**convection**) et qui peuvent même devenir un mode d'échange dominant.

➡ C'est donc le plus fréquemment dans les **solides** que se pose à l'ingénieur la maîtrise de la **conduction**

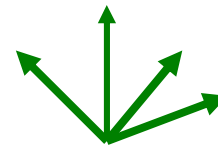
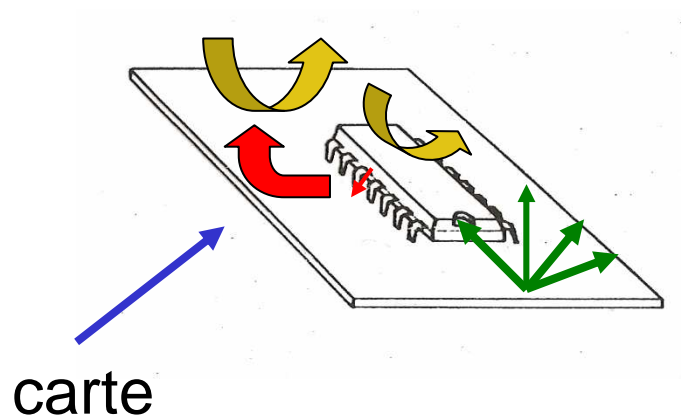
Ajoutons que dans la pratique, on a souvent à considérer les 3 modes fondamentaux de transfert:

Conduction,

Rayonnement,

Convection

comme **présents simultanément**.



Rayonnement



Conduction



Convection

Cependant , dans certains cas, à l'échelle d'un **sous système**, le seul mécanisme de transfert qui opère est la conduction

Exemples:

- Au cœur du **stator** d'un moteur électrique
- Au cœur d'un **circuit intégré**
- Dans un **mur** de bâtiment
- Dans la **paroi** d'une chambre de combustion

Ici, **au cœur de la matière**, c'est bien d'un transfert conductif dont il s'agit

Par contre, convection et rayonnement jouent un rôle important, mais à titre de **conditions aux limites** 

Une vision résumée du cours

Après une introduction de la **phénoménologie** propre à la conduction, le cours sera consacré à la présentation et à l'analyse d'exercices simples, utiles à l'ingénieur et concernant successivement :

- Les régimes **stationnaires** : les champs de température y sont indépendants du temps
- Les régimes **transitoires** : les champs de température y évoluent avec le temps