



## CH28 : Les transferts thermiques

### Enjeu :

Dimensionnement d'une armoire électrique.

### Problématique :

Pour un fonctionnement normal des éléments contenus dans une armoire électrique, la température interne de celle-ci ne doit pas dépasser les 35°C.

Un premier dimensionnement a permis de déterminer la puissance thermique totale dissipée par les éléments de cette armoire : 710W.

L'armoire a pour dimension 1000x1200x470 (en mm). Le matériau qui la constitue a pour épaisseur  $e=2\text{mm}$  et pour résistance thermique  $\rho_{\text{th}}=125 \text{ K.m.W}^{-1}$ . On considère que l'échange thermique s'effectue de manière homogène au travers des six faces de l'armoire.

Sachant que l'air ambiant de la pièce où se situe le système est de 18°C, faut-il prévoir une ventilation de l'armoire ?



### Rapport au programme :

#### A4. ÉLECTROTHERMIE

A4.1. Les différents modes de transmission de la chaleur : convection, conduction, rayonnement

A4.2. Résistance et capacité thermiques : modélisation

### Objectifs :

#### A l'issue de la leçon, l'étudiant doit :

A l'issue de la leçon, l'étudiant doit :		
28.1	Savoir différentier température et chaleur.	
28.2	Savoir convertir en kelvin des températures exprimées en degrés Celsius.	
28.3	Savoir décrire les 3 modes de transfert thermique en citant un exemple.	
28.4	Savoir calculer le flux thermique traversant une surface par conduction connaissant la résistance thermique et les températures de chaque côté de la surface.	
28.5	Savoir calculer la résistance thermique connaissant la surface d'échange thermique et l'épaisseur traversée par le flux thermique.	
28.6	Savoir utiliser les relations permettant de calculer la densité de flux dans les 3 modes de transferts.	

### Travail à effectuer :

⇒ Lire attentivement l'annexe (en essayant de le comprendre).

⇒ Répondre à la problématique au travers des questions suivantes (au brouillon) :

1. A partir des dimensions de l'armoire, calculer la valeur de surface totale sur laquelle l'échange thermique s'effectue.
2. Calculer la résistance thermique correspondant à cette surface.
3. Calculer la valeur de la température interne de l'armoire si toute la puissance thermique dissipée par ses éléments se transfert entièrement par conduction au travers des parois.
4. Faut-il prévoir une ventilation ?
5. Quelle puissance maximale peut-on dissiper par conduction au travers des parois de l'armoire si on ne veut pas dépasser la valeur maximale de température admissible à l'intérieur de celle-ci ?
6. Quelle puissance faudrait-il alors évacuer par ventilation ?
7. A quel mode de transfert thermique correspond cette ventilation ?

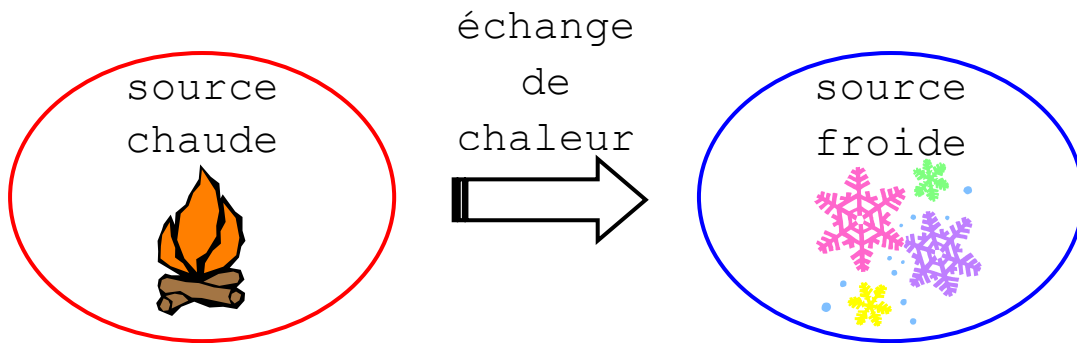
⇒ En utilisant l'annexe, réaliser la fiche résumée du chapitre. Pour cela, réécrire les différents objectifs et indiquer pour chacun la relation, la définition ou la méthode permettant de l'atteindre.



## 1. Qu'est-ce que la chaleur ?

La chaleur est une forme d'énergie (thermique) qui peut être échangée entre deux corps.

Ainsi, si l'on dispose de deux sources de chaleur, l'une froide, l'autre chaude, il se produit un échange de chaleur de la source chaude vers la source froide, jusqu'à atteindre l'équilibre **des températures**.



Cet échange de chaleur (flux de chaleur) dépend essentiellement de la quantité de matière des deux sources, de l'écart de température, de la capacité des sources à absorber ou transmettre la chaleur et de la surface d'échange.

Lorsqu'un système reçoit de la chaleur, sa température n'augmente pas systématiquement (par exemple lors des changements d'états). **Chaleur et température sont donc deux grandeurs distinctes.**

## 2. Qu'est-ce que la température ?

Il est difficile de donner une définition exacte de la température, car ce n'est pas une grandeur mesurable directement... Ainsi si on ajoute dans un récipient 1 litre d'eau à 30°C et 1 litre d'eau à 20°C, on n'obtient pas un litre d'eau à 50°C.

On est donc amené à repérer les températures au moyen d'échelles.

On peut la définir de deux façons différentes :

- ✓ à l'échelle atomique, elle est liée à l'énergie cinétique moyenne des constituants de la matière (agitation microscopique).
- ✓ au niveau macroscopique, certaines propriétés des corps dépendant de la température (volume massique, résistivité électrique, etc.) peuvent être choisies pour construire des échelles empiriques de température.

## 3. Quelles sont les échelles de températures les plus utilisées ?

Il existe deux types d'échelles de température, à savoir :

- ✓ relative : basée sur des points particuliers (changement d'état, par exemple). C'est le cas des échelles Celsius et Fahrenheit.
- ✓ absolue : basée sur l'état d'agitation de la matière (échelle Kelvin)

### Echelle centésimale ou Celsius :

L'échelle centésimale fut inventée en 1743 par le suédois Anders Celsius (1701-1744) physicien et astronome.

Sur cette échelle, définie sous pression atmosphérique, on fixe arbitrairement :

- ✓ la valeur de 0° à la température de congélation de l'eau
- ✓ la valeur de 100° à la température d'ébullition de l'eau.

L'échelle Celsius est l'échelle de température la plus employée dans la vie courante.

## Echelle Fahrenheit :

C'est l'une des plus anciennes échelles élaborée en 1720 par le physicien allemand Gabriel Daniel Fahrenheit (1686-1736) qui consacra ses travaux à la thermométrie.

Cette échelle prend pour références arbitraires, à pression atmosphérique :

- ✓ la valeur de 32° pour la température de congélation de l'eau
- ✓ la valeur de 212° pour l'ébullition de l'eau.

C'est l'échelle en usage dans les pays anglo-saxons.

## Echelle Kelvin :

Inventée par le mathématicien et physicien écossais Sir William Thomson Kelvin (1824-1907) au XIX<sup>e</sup> siècle, à partir de ses travaux sur la thermodynamique, c'est l'échelle employée en science (S.I.). Cette échelle n'est plus liée à des références arbitraires liées à certaines propriétés d'un corps, mais à un état d'agitation de la matière.

L'origine de cette échelle est appelée « zéro absolu ». C'est la température limite basse pour laquelle un gaz parfait occupant un volume donné, verrait sa pression tendre vers zéro. On ne peut donc pas descendre en dessous de ces zéros.

On passe de l'échelle Kelvin à l'échelle Celsius par la relation :

$$T^{\circ}(\text{K}) = 273,15 + T^{\circ}(\text{C})$$

Une variation de température de 1°C correspond à une variation de température de 1K.

- ✓ Température de congélation de l'eau : T=273,15 K
- ✓ Température d'ébullition de l'eau : T= 373,15 K

Les conversions les plus utilisées sont réunies dans le tableau suivant :

	Kelvin (°K)	Celsius (°C)	Fahrenheit (°F)
Kelvin (°K)	1	°C + 273,15	
Celsius (°C)	°K - 273,15	1	(°F - 32) / 1,8
Fahrenheit (°F)		°C x 1,8 + 32	1

## 4. Qu'est-ce que le flux thermique (puissance thermique) :

La flux thermique  $P_{th}$  (également appelée puissance thermique) est la quantité d'énergie thermique qui traverse une surface  $S$  par unité de temps :

$$[W] \quad P = \frac{Q}{\Delta t} \quad \begin{matrix} [J] \\ [s] \end{matrix}$$

## 5. Quels sont les 3 modes de transfert thermiques :

Les échanges thermiques peuvent s'effectuer de 3 manières :

⇒ **Par conduction** : Le transfert thermique s'effectue directement à travers la matière (solide ou liquide). L'agitation thermique se propage d'atome en atome.

C'est un mode de transfert sans apport de matière.

La transmission de chaleur entre deux zones de température différente s'effectue de la zone la plus chaude vers la zone la plus froide.

Exemples : La conduction thermique explique le fait que lorsqu'on laisse une extrémité d'un ustensile de cuisine en métal dans de l'eau bouillante, au bout d'un certain temps on risque de se brûler en touchant l'autre extrémité.

Les pertes d'énergie thermique d'un bâtiment au travers des vitrages s'effectuent également par conduction.

⇒ **Par convection** : C'est un mode de transfert thermique propre aux fluides et lié au déplacement de matière.

Exemples : dans une installation de chauffage centrale, l'eau chaude se déplace pour aller au contact de l'air froid. A l'inverse, dans une centrale électrique, l'eau froide des circuits de refroidissement se déplace vers la source chaude à refroidir.

Les pertes d'énergie dans les bâtiments par le biais des VMC (Ventilation Mécanique Contrôlée) s'effectuent par convection. Les VMC double flux permettent de limiter ces pertes (l'air chaud rejeté réchauffe l'air froid entrant)

⇒ **Par rayonnement** : émission d'énergie rayonnante entre deux corps.

Pour la conduction et la convection, le transfert de chaleur nécessite la présence de matière. Cependant, le Soleil transmet de la chaleur en passant par le vide. Il existe donc un troisième mode de transfert qui ne nécessite pas de matière : le rayonnement thermique (selon le même mode de transfert que les ondes électromagnétiques).

Dans le vide, la seule transmission de chaleur possible est donc le rayonnement. Mais un transfert thermique par rayonnement s'effectue également au travers de la matière (exemples : dans l'air, dans le verre,...).

Exemple : Dans les bâtiments, le gain thermique apporté par le soleil au travers les vitrages s'effectue par rayonnement.

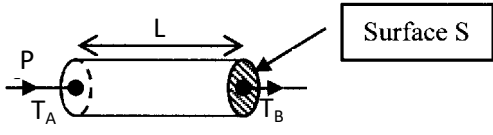
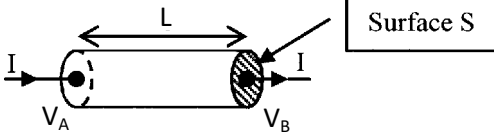
## 6. Comment calculer le flux thermique échangé au travers d'une paroi par conduction ?

La loi d'ohm thermique permet le calcul de ce flux :

$$T_A - T_B = R_{th}P$$

Avec : P en W  
 $(T_A - T_B)$  en K (mais on peut laisser en °C)  
 $R_{th}$  : résistance thermique du matériau en  $K \cdot W^{-1}$

Cette loi porte son nom par analogie avec l'électricité :

Résistance thermique :	Résistance électrique :
	
Différence de température : $T_A - T_B$	Différence de potentiel : $V_A - V_B$
Résistance thermique : $R_{th}$	Résistance électrique : $R$
Puissance (ou flux) thermique : P	Intensité du courant I
$T_A - T_B = R_{th}P$	$V_A - V_B = RI$

## 7. Comment déterminer la résistance thermique ?

Il faut connaître la résistivité thermique du matériau  $\rho_{th}$  (donnée constructeur), la surface à travers laquelle a lieu l'échange thermique et la longueur  $L$  traversée par le flux thermique. On a alors :

$$R_{th} = \rho_{th} \frac{L}{S}$$

Avec :  $R_{th}$  en  $K.W^{-1}$

$S$  : en  $m^2$

$L$  : en  $m$

$\rho_{th}$  : conductivité thermique du matériau en  $K.m.W^{-1}$

Remarque : pour les matériaux utilisés dans le bâtiment, les fabricants indiquent généralement la conductivité thermique  $\lambda_{th}$  :

$$\rho_{th} = \frac{1}{\lambda_{th}}$$

## 8. Comment calcul-t-on la densité de puissance thermique en conduction ?

Considérons une vitre comportant une surface  $S$  conductrice de la chaleur séparant l'extérieur de l'intérieur. On constate que la puissance thermique transmise est proportionnelle à  $S$ .

On introduit alors pour un matériau, la densité de puissance thermique (appelée également densité de flux thermique) la grandeur  $\varphi$  exprimée en  $W.m^{-2}$  telle que :

$$\varphi = \frac{P}{S}$$

[W.m<sup>-2</sup>]      [W]      [m<sup>2</sup>]

## 9. Quelles sont les lois qui sont propres à la convection ?

La densité de flux est donnée par :

$$\varphi = h(T_A - T_B)$$

Avec :  $\varphi$  en  $W.m^{-2}$

$h$  : coefficient de transfert convectif en  $W.m^{-2}.K^{-1}$

$(T_A - T_B)$  en  $K$  (mais on peut laisser en  $^{\circ}C$ )

## 10. Quelles sont les lois qui sont propres au rayonnement ?

On utilise la loi de Stefan :

La densité de puissance thermique émise par un corps chaud a pour expression :

$$\varphi = \sigma T^4$$

Avec :  $\varphi$  en  $W.m^{-2}$ .

$\sigma = 5,67.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}$  (Constante de Stefan)

$T$  : en  $K$  (mais pas en  $^{\circ}C$  !!!)