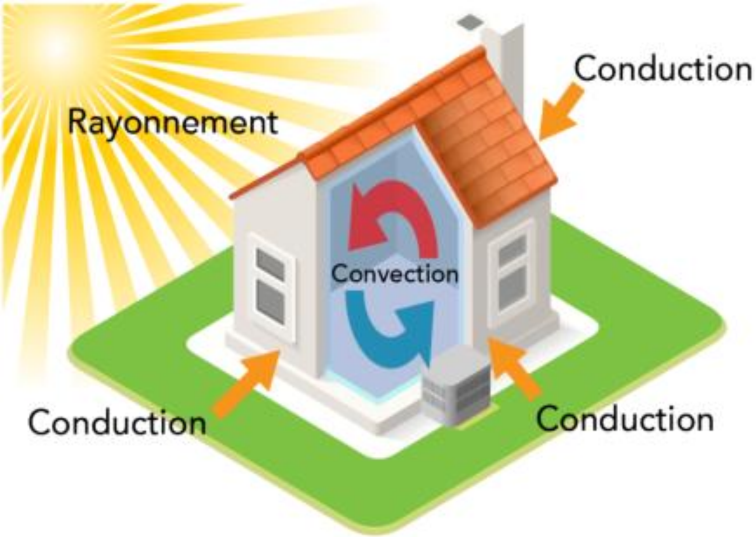
Cours Physique 07 BCPST 1C

- Les transferts thermiques -

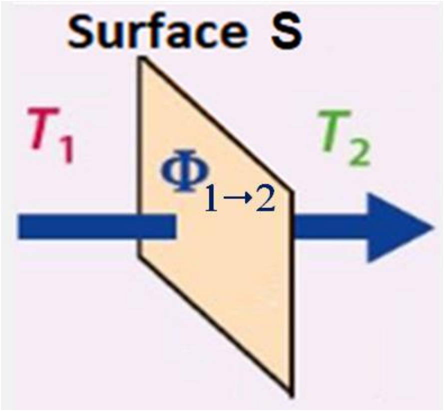
Notions et contenus	***Capacités exigibles***
- Flux thermique conductif en géométrie unidimensionnelle ; résistance thermique.	*- Exploiter la relation entre flux thermique, résistance thermique et écart de température, l'expression de la résistance thermique étant fournie.*
- Flux thermique conducto-convectif : loi de Newton. *- Modélisation de l'évolution de la température d'un système incompressible et indilatable au contact d'un thermostat.*	*- Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible et indilatable en contact avec un thermostat : établir et résoudre l'équation différentielle vérifiée par la température du système.*
- Approche descriptive du rayonnement du corps noir. Loi du déplacement de Wien, loi de Stefan-Boltzmann.	*- Utiliser les expressions fournies des lois du déplacement de Wien et de Stefan-Boltzmann pour expliquer qualitativement l'effet de serre.*



I- Définition générale du FLUX THERMIQUE

Un transfert thermique **n'a pas lieu instantanément**

☛ ***Définition*** : Le ***FLUX THERMIQUE*** Φ à travers une ***surface*** **S** représente la **quantité d'énergie thermique qui traverse cette surface par unité de temps** dans un sens donné.



☛ ***Formule*** : $Q_{1\to2}$ ou $\delta Q_{1\to2}$ = quantité d'énergie thermique transférée de la zone 1 vers la zone 2 pendant une durée Δt ou **dt**.

en J

$$\Phi_{1\to2} = \frac{Q_{1\to2}}{\Delta t} \quad ou \quad \frac{\delta Q_{1\to2}}{dt}$$

en W (Watt)

en s

*Le flux thermique est aussi appelé **PUISSANCE THERMIQUE**.*

☛ ***Interprétation du signe*** : un flux thermique est une **grandeur algébrique** : sa valeur pourra donc être positive ou négative.

- $\Phi_{1\to2} > 0$: le transfert thermique a ***réellement lieu*** de 1 → 2 (donc $T_1 > T_2$)*
- $\Phi_{1\to2} < 0$: le transfert thermique a ***en fait lieu*** de 2 → 1 (donc $T_2 > T_1$)*

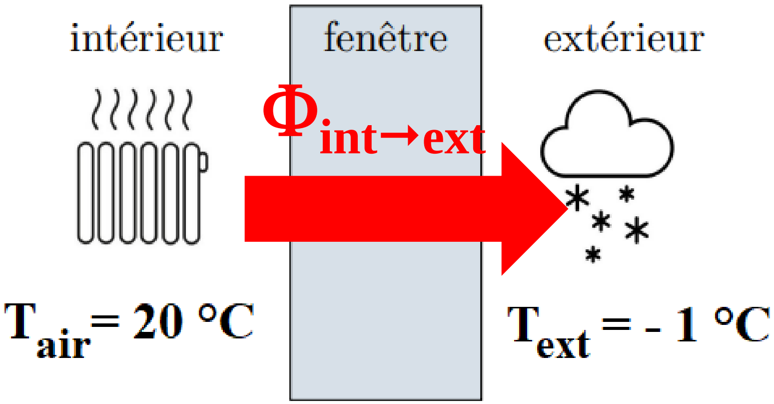
** Un transfert thermique a toujours lieu de la zone chaude vers la zone froide*

☛ ***<u>Interprétation du signe</u>*** : un flux thermique est une **grandeur algébrique** : sa valeur pourra donc être positive ou négative.

- **$\Phi_{1\to2} > 0$** : le transfert thermique a ***réellement lieu*** **<u>de 1 → 2</u>** (donc $T_1 > T_2$)*
- **$\Phi_{1\to2} < 0$** : le transfert thermique a ***en fait lieu*** **<u>de 2 → 1</u>** (donc $T_2 > T_1$)*

** Un transfert thermique a toujours lieu <u>de la zone chaude vers la zone froide</u>*

✍ **<u>Application 1</u>** : *Alors qu'il fait* – 1 °C *dehors, une pièce est chauffée à* 20 °C. *Quelle énergie est perdue par la pièce pendant une journée entière si on estime que le flux thermique perdu au travers de la fenêtre est de* 0,10 kW.



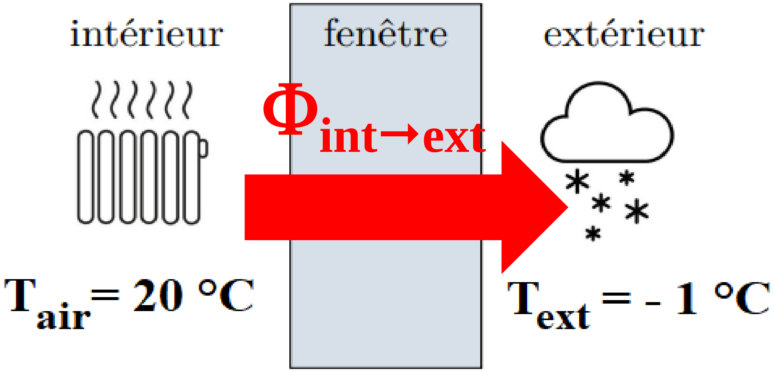
<u>Par définition</u>, $\Phi_{int\to ext} = \dfrac{Q_{int\to ext}}{\Delta t}$

Donc, $\boxed{Q_{int\to ext} = \Phi_{int\to ext} \times \Delta t}$

<u>AN</u> → $Q_{int\to ext} = 0{,}10.10^3 \times 86400$ *soit* $\underline{Q_{int\to ext} = 8{,}6.10^2\ \text{J}}$

<u>Valeur positive</u> en accord avec **<u>un transfert réel de la zone chaude vers la zone froide</u>**

✍ **Application 1** : *Alors qu'il fait* **5 °C** *dehors, une pièce est chauffée à* **20 °C**. *On estime que le flux thermique perdu au travers de la fenêtre est de* **0,10 kW**. *Quelle énergie est perdue par la pièce au travers de cette fenêtre pendant une journée entière ?*



Par définition, $\Phi_{int\to ext} = \dfrac{Q_{int\to ext}}{\Delta t}$

Donc, $\boxed{Q_{int\to ext} = \Phi_{int\to ext} \times \Delta t}$

AN → $Q_{int\to ext} = 0{,}10.10^3 \times 86400$ *soit* $Q_{int\to ext} = 8{,}6.10^2\ J$

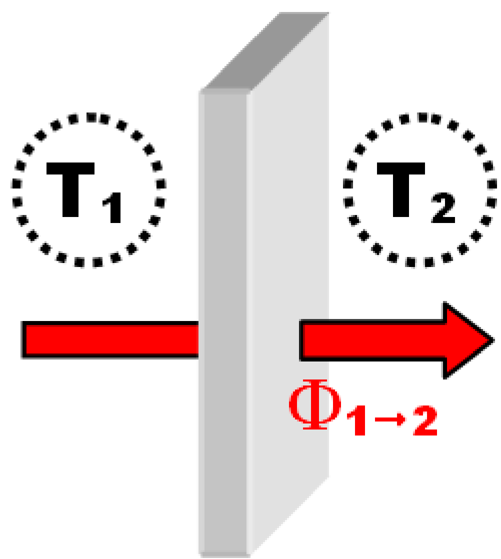
Valeur positive en accord avec **un transfert réel de la zone chaude vers la zone froide**

II- Le flux thermique CONDUCTIF

1) Description

$\Phi_{1\to2}$ est **d'autant plus grand** que :

- la **différence de température** entre les deux zones **est grande**
- le matériau est **peu résistant**.

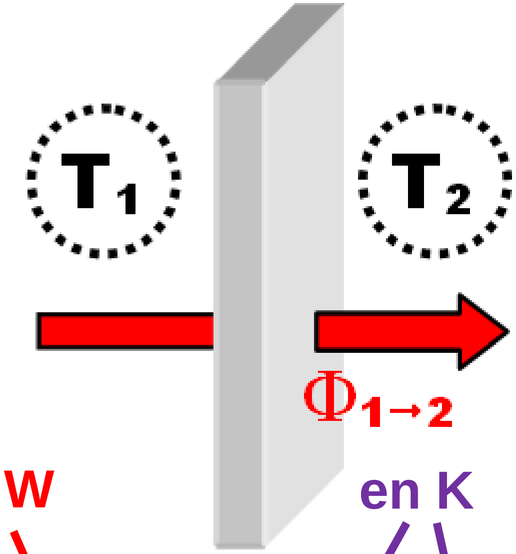


II- Le flux thermique CONDUCTIF

1) Description

$\Phi_{1\to2}$ est **d'autant plus grand** que :

- la **différence de température** entre les deux zones **est grande**
- le matériau est **peu résistant**.



☛ ***Définition*** : Soit une paroi de ***résistance thermique*** R_{Th} séparant un milieu de ***température*** T_1 d'un milieu de ***température*** T_2.

Le ***flux thermique CONDUCTIF*** $\Phi_{1\to2}$ au travers de cette paroi **dans le sens 1 → 2** vaut :

en W

en K

$$\boxed{\Phi_{1\to2} = \frac{T_1 - T_2}{R_{Th}}}$$

en K.W^{-1} (toujours positive)

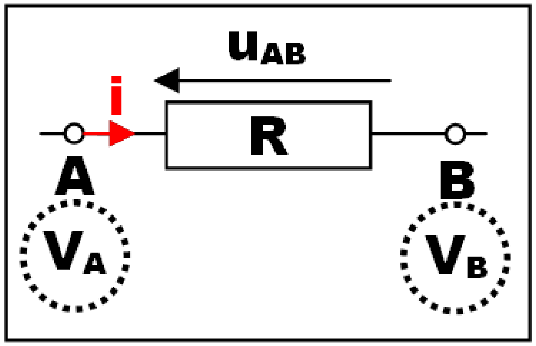
Relation à rapprocher de la **loi d'Ohm** *pour un conducteur ohmique*

Flux de charges électriques

$$i = \frac{u_{AB}}{R}$$

Différence de potentiel électrique $(V_A - V_B)$

Résistance du conducteur ohmique



☛ **Définition** : Soit une paroi de ***résistance thermique*** $\mathbf{R_{Th}}$ séparant un milieu de ***température*** $\mathbf{T_1}$ d'un milieu de ***température*** $\mathbf{T_2}$.

Le ***flux thermique CONDUCTIF*** $\Phi_{1\to2}$ au travers de cette paroi **dans le sens 1 → 2** vaut :

$$\boxed{\Phi_{1\to2} = \frac{T_1 - T_2}{R_{Th}}}$$

en W

en K

en K.W^{-1} (toujours positive)

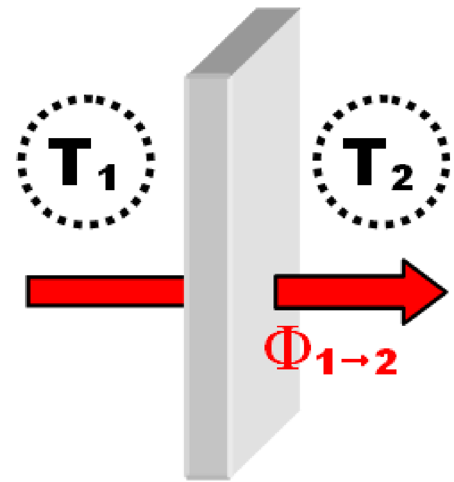
Relation à rapprocher de la **loi d'Ohm**

$$i = \frac{u_{AB}}{R}$$

Flux de charges électriques

Différence de potentiel électrique ($V_A - V_B$)

Résistance du conducteur ohmique



✍ **Application 2** : *Commenter le signe de* $\Phi_{1\to2}$ *selon les valeurs de* T_1 *et de* T_2.

- Si $T_1 > T_2$, alors $\Phi_{1\to2} > 0$: le transfert thermique a ***réellement lieu*** **de 1 → 2**
- Si $T_1 < T_2$, alors $\Phi_{1\to2} < 0$: le transfert thermique a ***en fait lieu*** **de 2 → 1**

➡ *Transfert thermique toujours* ***de la zone chaude vers la zone froide***

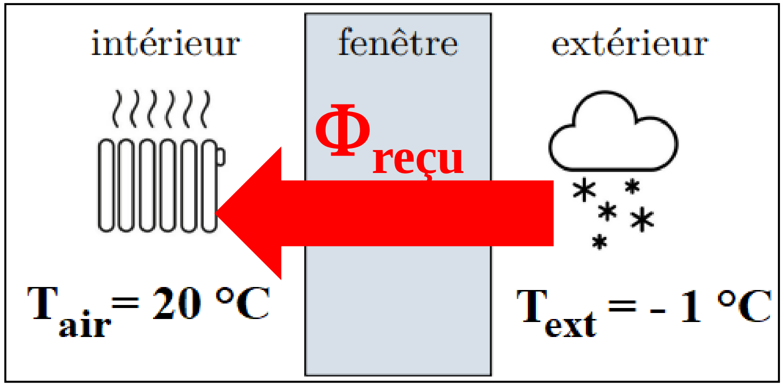
✍ **Application 3** : *Exprimer puis calculer le* ***flux thermique REÇU algébriquement par l'air de la pièce*** *au travers de la fenêtre* ($\mathbf{R_{verre}=2{,}0.10^{-2}\ K.W^{-1}}$). *Commenter le signe.*

✍ **Application 2** : *Commenter le signe de $\Phi_{1\to2}$ selon les valeurs de T_1 et de T_2.*

- Si $T_1 > T_2$, alors $\Phi_{1\to2} > 0$: le transfert thermique a ***réellement lieu*** de 1 → 2
- Si $T_1 < T_2$, alors $\Phi_{1\to2} < 0$: le transfert thermique a ***en fait lieu*** de 2 → 1

➡ *Transfert thermique toujours **de la zone chaude vers la zone froide***

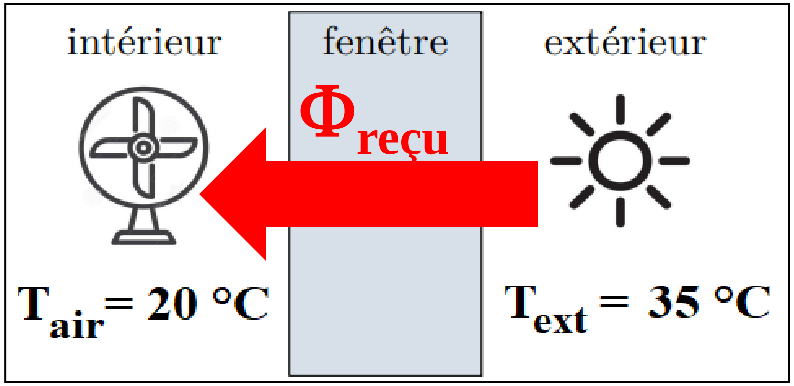
✍ **Application 3** : *Exprimer puis calculer le **flux thermique REÇU algébriquement par l'air de la pièce** au travers de la fenêtre* (**R_{verre}=2,0.10^{-2} K.W^{-1}**). *Commenter le signe.*



$$\Phi_{reçu} = \frac{-1-20}{0,02} = \underline{-1.10^3\ W}$$

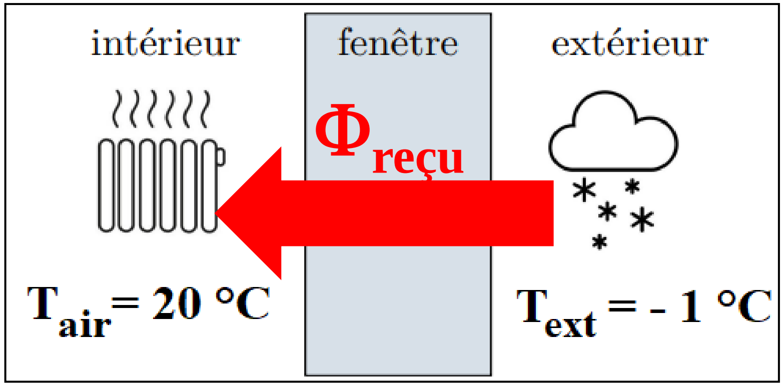
$\Phi_{reçu} < 0$: la pièce **PERD de l'énergie**

$$\boxed{\Phi_{reçu} = \Phi_{ext\to int} = \frac{T_{ext} - T_{int}}{R_{verre}}}$$



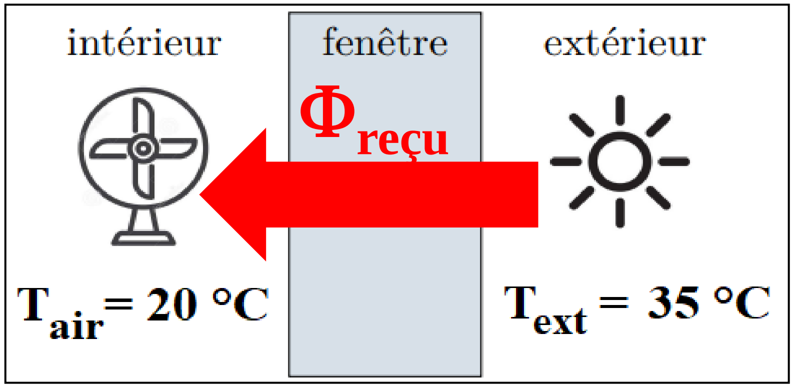
$$\Phi_{reçu} = \frac{35-20}{0,02} = \underline{8.10^2\ W}$$

$\Phi_{reçu} > 0$: la pièce **RECOIT de l'énergie**



$$\Phi_{reçu} = \frac{-1-20}{0{,}02} = \underline{-1.10^3\ W}$$

$\Phi_{reçu} < 0$: la pièce **PERD de l'énergie**



$$\Phi_{reçu} = \frac{35-20}{0{,}02} = \underline{8.10^2\ W}$$

$\Phi_{reçu} > 0$: la pièce **RECOIT de l'énergie**

2) Résistance thermique d'une paroi

a/ Paroi constituée d'un unique matériau

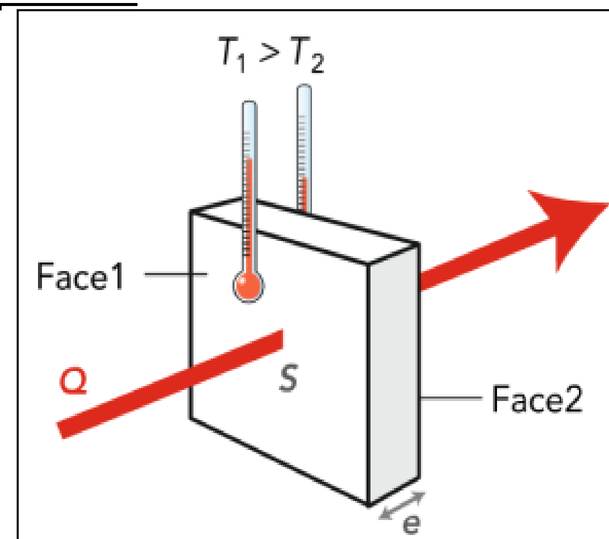
(en $K.W^{-1}$)

(en m)

$$\boxed{R_{Th} = \frac{e}{\lambda \times S}}$$

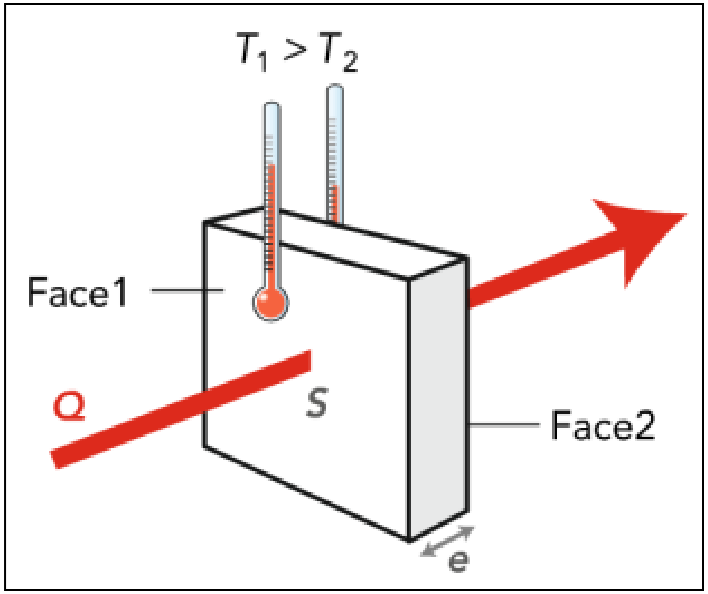
Conductivité thermique du matériau (en $W.K^{-1}.m^{-1}$)

(en m²)



2) Résistance thermique d'une paroi

a/ Paroi constituée d'un unique matériau



(en K.W^{-1})

(en m)

$$R_{Th} = \frac{e}{\lambda \times S}$$

Conductivité thermique du matériau (en W.K^{-1}.m^{-1})

(en m²)

Conductivité thermique des matériaux (en W.m^{-1}.K^{-1})

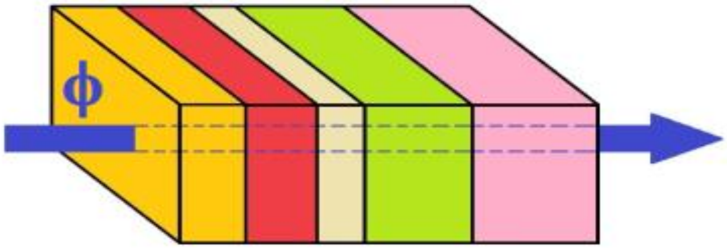
Matériaux isolants	0,028		polyuréthane
	0,040		laine minérale, liège
	0,058		vermiculite
	0,065		perlite
Bois et dérivés	0,17	0,19	feuillus durs
	0,12	0,13	résineux
Maçonneries	0,27	0,41	briques 700-1000 kg/m³
	0,54	0,75	briques 1000-1600 kg/m³
	0,90	1,1	briques 1600-2100 kg/m³
Verre	1,0	1,0	
Béton armé	1,7	2,2	
Pierres naturelles	1,40	1,69	tuft, pierre tendre
	2,91	3,49	granit, marbres
Métaux		45	acier
		203	aluminium
		384	cuivre

2) Résistance thermique d'une paroi

b/ Paroi constituée de plusieurs matériaux

- ***Association en SERIE*** :

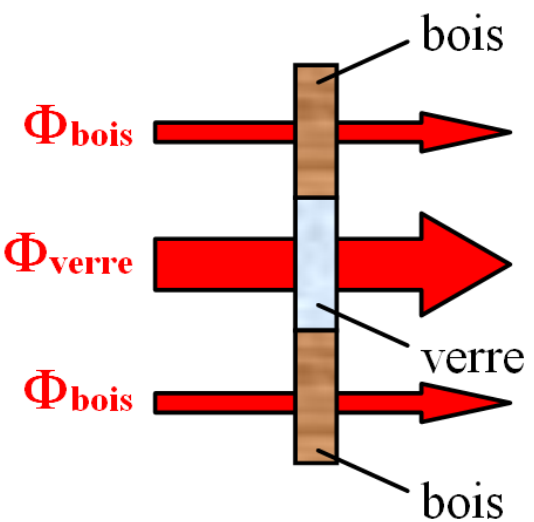
MÊME flux thermique Φ qui traverse les matériaux les uns après les autres.



$$R_{Th}\,(\text{équivalent}) = R_{Th}\,(\text{matériau } 1) + \ldots + R_{Th}(\text{matériau } n)$$

- ***Association en PARALLELE*** :

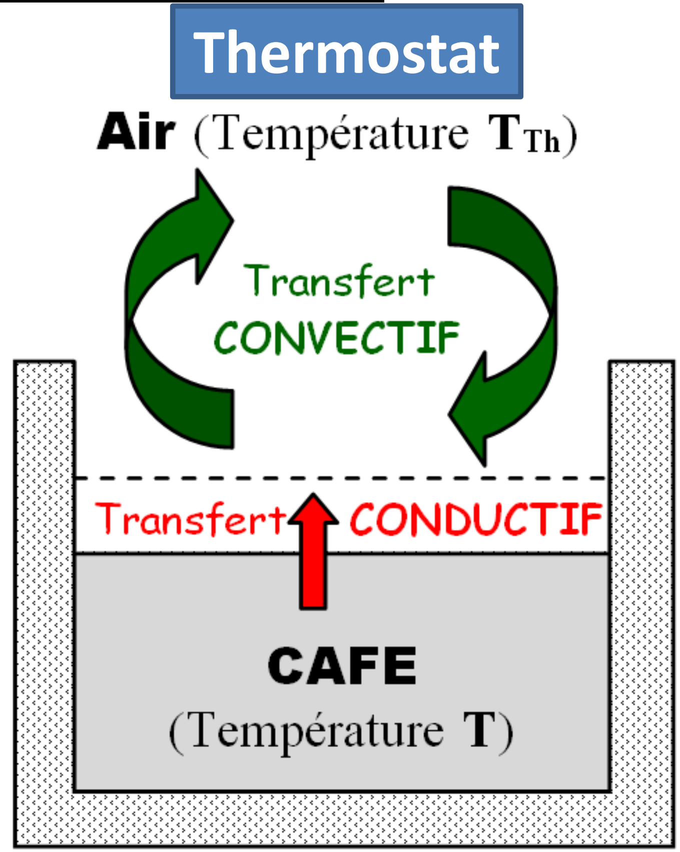
Flux thermique Φ DIFFERENT qui traverse chaque matériau mais **tous sont soumis à la même différence de température**



$$\frac{1}{R_{Th}\,(\text{équivalent})} = \frac{1}{R_{Th}\,(\text{matériau } 1)} + \ldots + \frac{1}{R_{Th}\,(\text{matériau } n)}$$

III- Le flux thermique CONDUCTO-CONVECTIF

1) Description



2 transferts thermiques simultanés :

→ Transfert **CONDUCTIF**

→ Transfert **CONVECTIF**

Transfert thermique CONDUCTO-CONVECTIF

☛ ***Loi phénoménologique de NEWTON*** **:** Le **flux thermique CONDUCTO-CONVECTIF Φ algébriquement reçu** par un système de ***température*** **T** dont la ***surface*** **S** est au contact d'un ***thermostat de température*** T_{Th} vaut :

$$\boxed{\Phi = h \times S \times (T_{Th} - T)}$$

(en W) (en m²) (en K)

Coefficient de transfert conducto-convectif (W.K^{-1}.m^{-2})

☛ ***Loi phénoménologique de NEWTON*** **:** Le **flux thermique CONDUCTO-CONVECTIF Φ algébriquement reçu** par un système de ***température*** **T** dont la ***surface*** **S** est au contact d'un ***thermostat de température*** T_{Th} vaut :

(en m²) **(en K)**

(en W)

$$\boxed{\Phi = h \times S \times (T_{Th} - T)}$$

Coefficient de transfert conducto-convectif **(W.K^{-1}.m^{-2})**

✍ **Application 4** : *Commenter le signe obtenu pour le flux conducto-convectif* ***algébriquement REÇU*** *dans le cas où :*

$T > T_{Th}$: $\Phi < 0$: le système **perd** de l'énergie.

$T < T_{Th}$: $\Phi > 0$: le système **gagne** de l'énergie.

2) Evolution de la température d'un système

Système :

- **incompressible** *et* **indilatable** (solide ou liquide)
- *de* **température T**
- de **capacité thermique C**
- **sans mouvement macroscopique**
- dont la **surface S** est au contact d'un **thermostat de température** T_{th}.

2) Evolution de la température d'un système

Système : - **incompressible** *et* **indilatable** (solide ou liquide)
- *de* **température** T
- de **capacité thermique** C
- **sans mouvement macroscopique**
- de **surface** S au contact d'un **thermostat de température** T_{th}.

• ***Application du 1er principe de la thermodynamique sur une durée élémentaire dt*** :

$$dE_m + dU = \delta W + \delta Q$$ avec : $dE_m = 0$ (pas de mouvement macroscopique)

$\delta W = 0$ (transformation isochore car système incompressible et indilatable)

$$\delta Q = \Phi \times dt = h \times S \times (T_{Th} - T) \times dt$$

Finalement, $dU = h \times S \times (T_{Th} - T) \times dt$

• ***Intervention de la capacité thermique C (= C_V = C_P) du système*** :

$$C \times dT = h \times S \times (T_{Th} - T) \times dt$$

• ***Equation différentielle vérifiée par la température T*** :

$$C \times \frac{dT}{dt} = h \times S \times T_{Th} - h \times S \times T \Leftrightarrow \boxed{C \times \frac{dT}{dt} + h \times S \times T = h \times S \times T_{Th}}$$

- ***Application du 1er principe de la thermodynamique sur une durée élémentaire* dt** :

$$dE_m + dU = \delta W + \delta Q$$ avec : $dE_m = 0$ (pas de mouvement macroscopique)

$\delta W = 0$ (transformation isochore)

$\delta Q = \Phi \times dt = h \times S \times (T_{Th} - T) \times dt$

Finalement, $dU = h \times S \times (T_{Th} - T) \times dt$

- ***Intervention de la capacité thermique* C (= C_V = C_P) *du système*** :

$$C \times dT = h \times S \times (T_{Th} - T) \times dt$$

- ***Equation différentielle vérifiée par la température* T** :

$$C \times \frac{dT}{dt} = h \times S \times T_{Th} - h \times S \times T \Leftrightarrow \boxed{C \times \frac{dT}{dt} + h \times S \times T = h \times S \times T_{Th}}$$

Equation différentielle linéaire du 1er ordre à coefficients constants

Forme **CANONIQUE**
(coeff **1** devant la dérivée)

$$\boxed{\frac{dT}{dt} + \frac{h \times S}{C} \times T = \frac{h \times S}{C} \times T_{Th}}$$

- ***Solution de l'équation différentielle*** :

☛ **Solution particulière T_1** : on propose $T_1 = T_{Th}$

☛ **Solution T_2 de l'équation homogène** :

• ***Equation différentielle vérifiée par la température*** T :

$$C\times\frac{dT}{dt}=h\times S\times T_{Th}-h\times S\times T \Leftrightarrow \boxed{C\times\frac{dT}{dt}+h\times S\times T=h\times S\times T_{Th}}$$

Equation différentielle linéaire du 1[er] ordre à coefficients constants

Forme **CANONIQUE**
(coeff 1 devant la dérivée)

$$\boxed{\frac{dT}{dt}+\frac{h\times S}{C}\times T=\frac{h\times S}{C}\times T_{Th}}$$

• ***Solution de l'équation différentielle*** :

☛ **Solution particulière** T_1 : on propose $T_1 = T_{Th}$

☛ **Solution** T_2 **de l'équation homogène** :

on propose $T_2 = K\times e^{-\frac{h\times S}{C}\times t}$

Si l'équation homogène (H) est : $\boxed{ay'+by=0}$

l'ensemble $\mathcal{S}_H$ des solutions de (H) est :

$$\boxed{\mathcal{S}_H=\left\{x\mapsto Ke^{-\frac{b}{a}x}, K\in\mathbb{R}\right\}}$$

☛ **Solution générale de l'équation différentielle** :

$$T = T_1 + T_2$$

soit $T = T_{Th} + K\times e^{-\frac{h\times S}{C}\times t}$

Extrait du cours de Mathématiques de Mme MOREL

« Equations différentielles linéaires »

• ***Solution de l'équation différentielle*** :

☛ **Solution particulière T_1** : on propose $T_1 = T_{Th}$

☛ **Solution T_2 de l'équation homogène** :

on propose $T_2 = K \times e^{-\frac{h \times S}{C} \times t}$

Si l'équation homogène (H) est : $\boxed{ay' + by = 0}$

l'ensemble $\mathcal{S}_H$ des solutions de (H) est :

$$\boxed{\mathcal{S}_H = \left\{x \mapsto Ke^{-\frac{b}{a}x}, K \in \mathbb{R}\right\}}$$

Extrait du cours de Mathématiques de Mme MOREL

« Equations différentielles linéaires »

☛ **Solution générale de l'équation différentielle** :

$T = T_1 + T_2$

soit $T = T_{Th} + K \times e^{-\frac{h \times S}{C} \times t}$

☛ **Utilisation de la condition initiale pour trouver la valeur de la constante K** :

A la date t = 0, la température T du corps vaut T_0

Or, à cette date, $T_0 = T_{Th} + K \times e^{-\frac{h \times S}{C} \times 0}$

donc $T_0 = T_{Th} + K$

Donc $\boxed{K = T_0 - T_{Th}}$ et $\boxed{T = T_{Th} + (T_0 - T_{Th}) \times e^{-\frac{h \times S}{C} \times t}}$

• ***Solution de l'équation différentielle*** :

☛ **Utilisation de la condition initiale pour trouver la valeur de la constante K** :

A la date t = 0, la température T du corps vaut $\mathbf{T_0}$

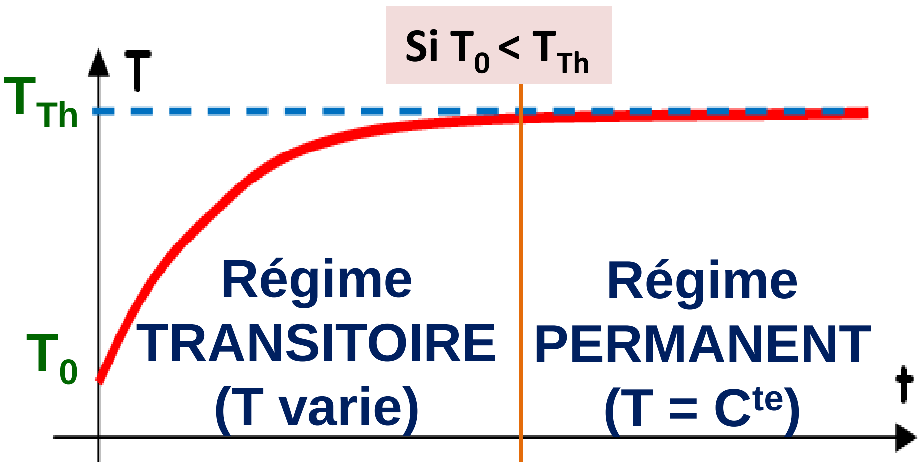
Or, à cette date, $\mathbf{T_0 = T_{Th} + K \times e^{-\frac{h \times S}{C} \times 0}}$

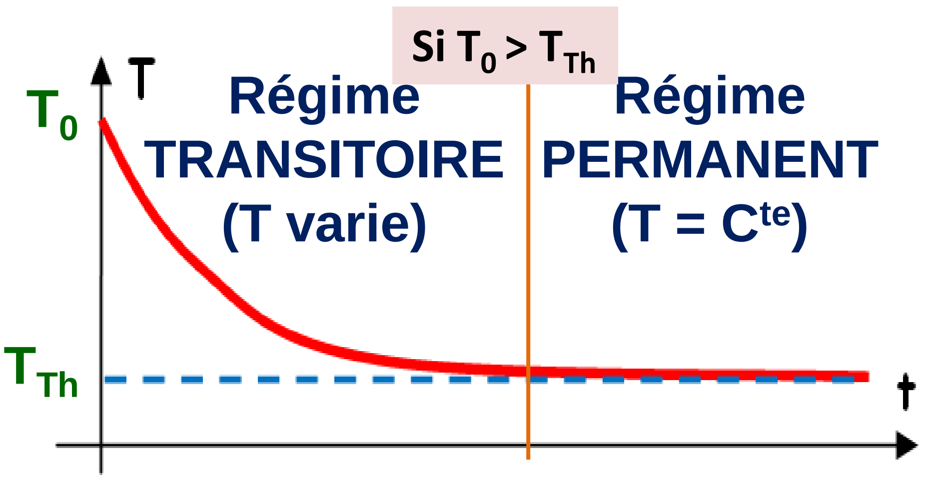
donc $\mathbf{T_0 = T_{Th} + K}$

Donc $\boxed{\mathbf{K = T_0 - T_{Th}}}$ et $\boxed{\mathbf{T = T_{Th} + (T_0 - T_{Th}) \times e^{-\frac{h \times S}{C} \times t}}}$

☛ **Evolution de la température T du système en fonction du temps** :

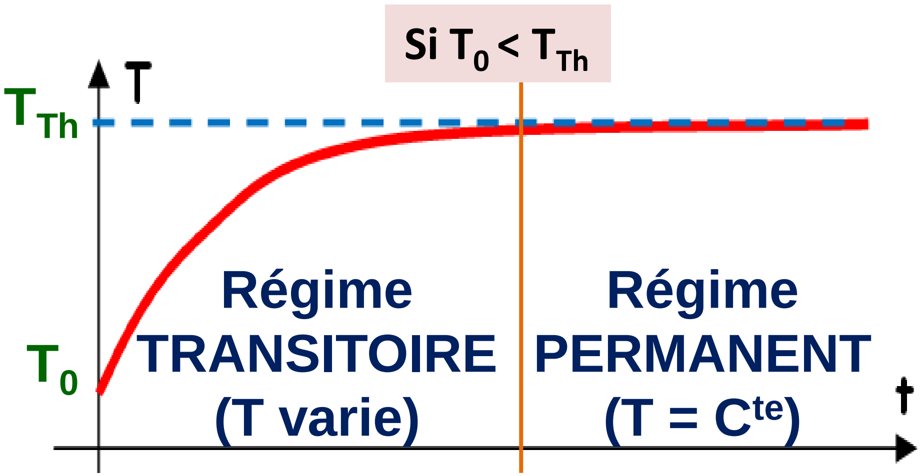
On note que $\mathbf{\lim\limits_{t \to +\infty} (T) = T_{Th}}$ (Convergence de la température du système vers celle du thermostat quand $\mathbf{t \to +\infty}$)

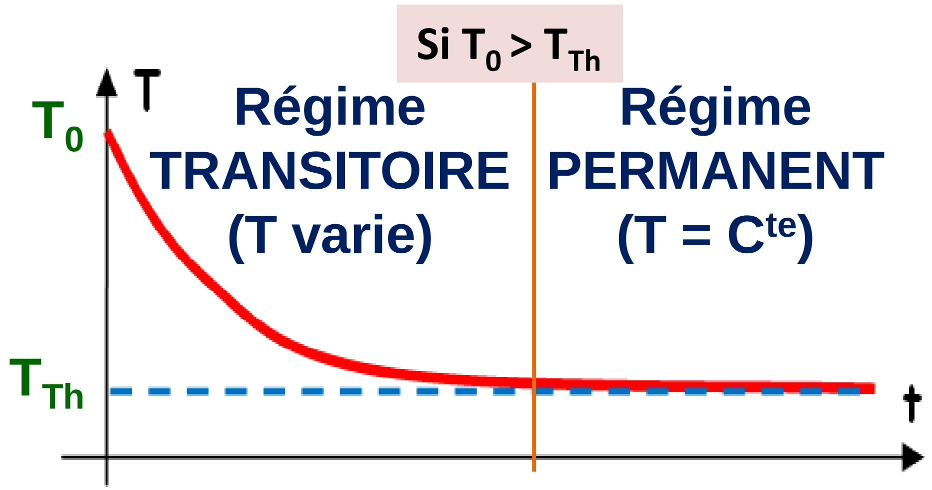




☛ **Evolution de la température T du système en fonction du temps** :

On note que $\lim (T) = T_{Th}$ (Convergence de la température du système vers celle du thermostat quand **t** → **+ ∞**)





✍ **Application 5** : *A l'aide de la forme canonique de l'équation différentielle, déterminer la dimension du terme* $\dfrac{hS}{C}$.

$$\boxed{\frac{dT}{dt} + \frac{h \times S}{C} \times T = \frac{h \times S}{C} \times T_{Th}}$$

$$\left[\frac{hS}{C} \times T\right] = \left[\frac{dT}{dt}\right] \Leftrightarrow \left[\frac{hS}{C}\right] \times [T] = \frac{[T]}{[t]} \Leftrightarrow \left[\frac{hS}{C}\right] = \frac{1}{[t]}$$

➡ $\dfrac{hS}{C}$ a donc la dimension de l'**inverse d'une durée**

✍**Application 5** : *A l'aide de la forme canonique de l'équation différentielle, déterminer la dimension du terme* $\frac{hS}{C}$.

$$\frac{dT}{dt} + \frac{h \times S}{C} \times T = \frac{h \times S}{C} \times T_{Th}$$

$$\left[\frac{hS}{C} \times T\right] = \left[\frac{dT}{dt}\right] \Leftrightarrow \left[\frac{hS}{C}\right] \times [T] = \frac{[T]}{[t]} \Leftrightarrow \left[\frac{hS}{C}\right] = \frac{1}{[t]}$$

➡ $\frac{hS}{C}$ a donc la dimension de l'**inverse d'une durée**

- ***Durée caractéristique de l'évolution*** :

  ☛ **Expression** : Le temps caractéristique τ d'évolution de la température du système est :

$$\boxed{\tau = \frac{C}{h \times S}}$$

s ; $J.K^{-1}$; $W.K^{-1}.m^{-2}$; m^2

  ☛ **Interprétation** : On estime que le **régime permanent est atteint** au bout d'une durée égale à **5 × τ**.

  ☛ **Détermination graphique** : On lit la valeur de τ à l'abscisse du point de croisement de l'asymptote horizontale du graphique **T = f(t)** et de la tangente à l'origine de ce même graphique

✍**Application 6** : *Repérer* τ *sur les graphiques précédents.*

- ***Durée caractéristique de l'évolution*** :

☛ **Expression :** Le temps caractéristique τ d'évolution de la température du système est :

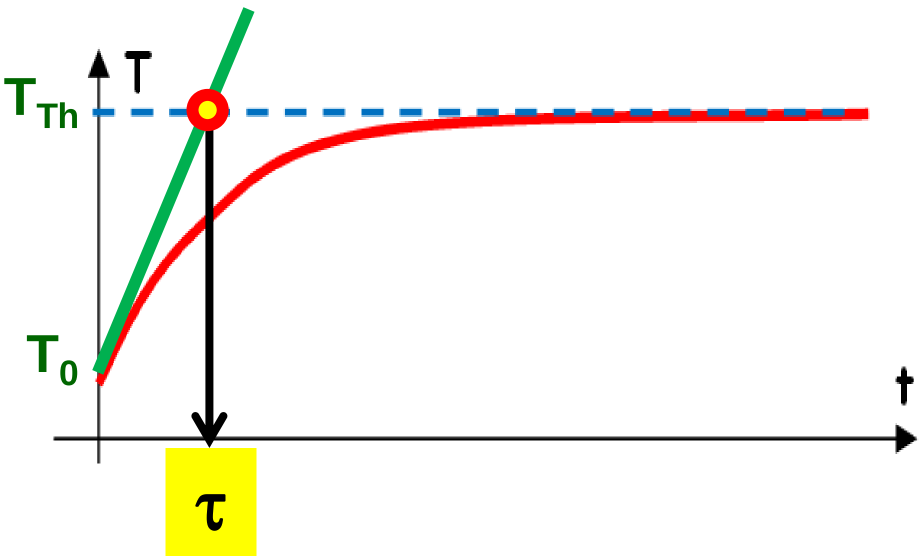
$$\boxed{\tau = \frac{C}{h \times S}}$$

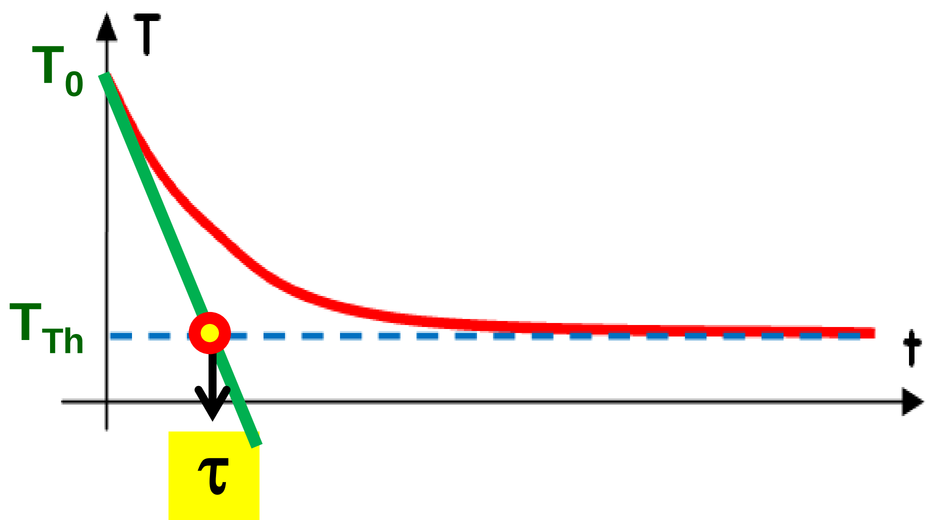
s   J.K^{-1} W.K^{-1}.m^{-2} m²

☛ **Interprétation :** On estime que le **régime permanent est atteint** au bout d'une durée égale à **5 × τ**.

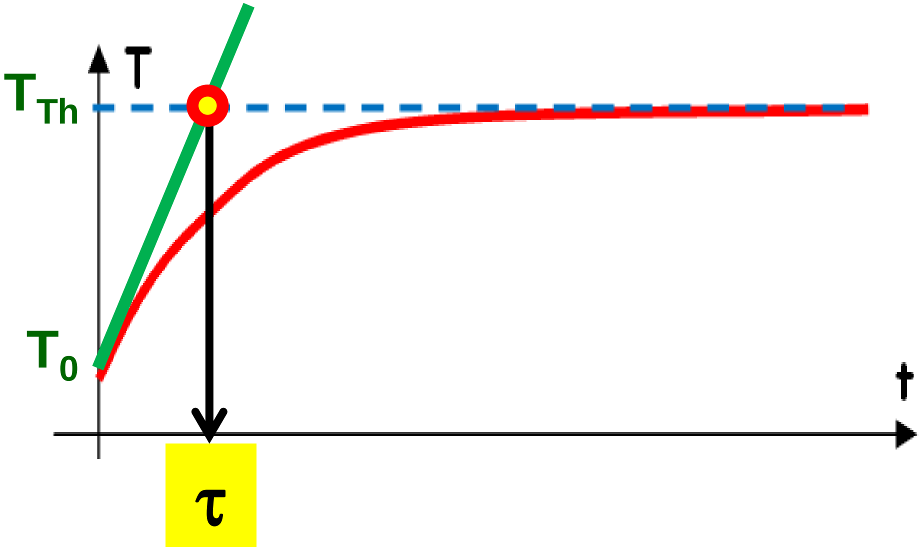
☛ **Détermination graphique :** On lit la valeur de τ à l'abscisse du point de croisement de l'asymptote horizontale du graphique **T = f(t)** et de la tangente à l'origine de ce même graphique

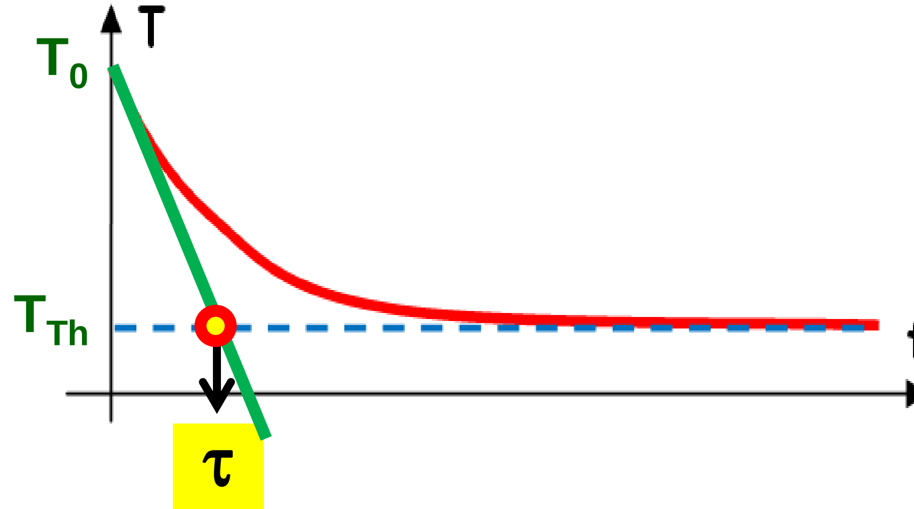
✍ **Application 6** : *Repérer τ sur les graphiques précédents.*



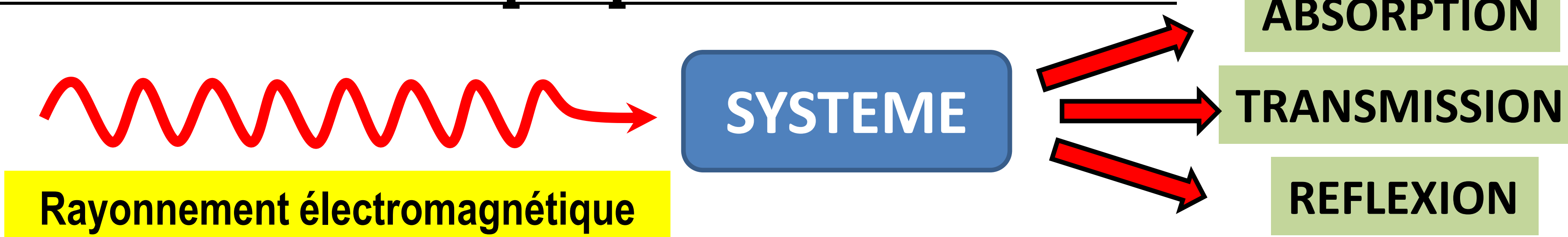


✍ **Application 6** : *Repérer τ sur les graphiques précédents.*





IV- Le flux thermique par RAYONNEMENT



☛ ***Définition*** : Un **CORPS NOIR** est un modèle de corps qui **ABSORBE LA TOTALITE du rayonnement électromagnétique qu'il reçoit**.

☛ ***Conséquence*** : Pour qu'un corps noir soit à **l'équilibre thermique** (**$T = C^{te}$**), il doit émettre un rayonnement dont l'énergie est égale à celle qu'il a absorbée ; on a donc : $\boxed{\Phi_{\text{reçu}} = \Phi_{\text{perdu}}}$

IV- Le flux thermique par RAYONNEMENT

☛ ***Définition*** : Un **CORPS NOIR** est un modèle de corps qui **ABSORBE LA TOTALITE du rayonnement électromagnétique qu'il reçoit**.

☛ ***Conséquence*** : Pour qu'un corps noir soit à **l'équilibre thermique** (**T = C^{te}**), il doit émettre un rayonnement dont l'énergie est égale à celle qu'il a absorbée ; on a donc : $\boxed{\Phi_{reçu} = \Phi_{perdu}}$

Description de corps comme le **CHARBON**, les **ETOILES** …

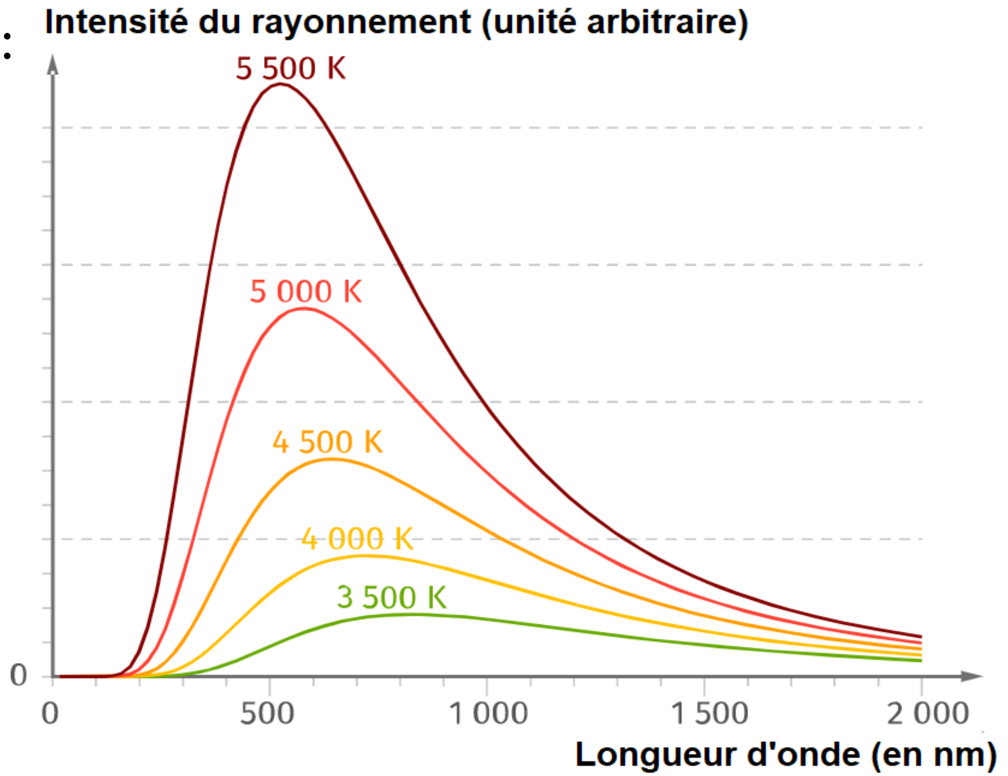
• ***Loi de déplacement de WIEN*** :

Parmi toutes les ondes électromagnétiques émises par un corps noir à la température **T** (**en K**), celle émise avec la plus grande intensité est caractérisée par une longueur d'onde λ_{max} (**en m**) vérifiant la relation :

$$\boxed{T \times \lambda_{max} = k}$$

(Formule fournie)

avec k = 2,89.10^{-3} K.m

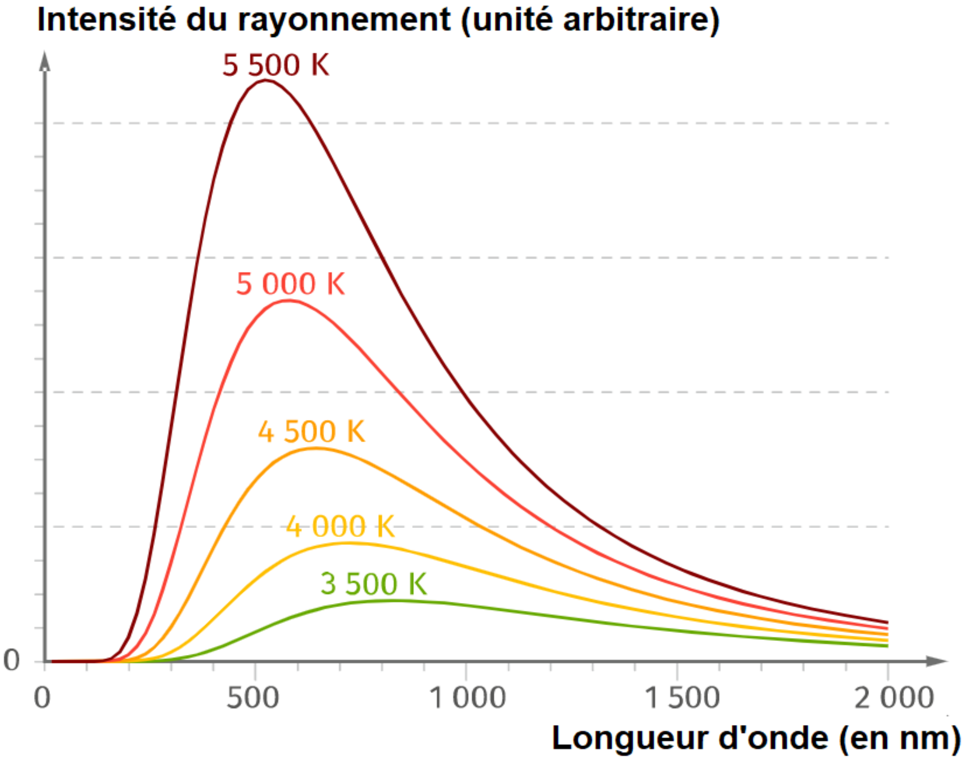


• ***<u>Loi de déplacement de WIEN</u>*** :

Parmi toutes les ondes électromagnétiques émises par un corps noir à la température **T** (**en K**), celle émise avec la plus grande intensité est caractérisée par une longueur d'onde λ_{max} (**en m**) vérifiant la relation :

$$\boxed{T \times \lambda_{max} = k}$$ *(Formule fournie)*

avec k = 2,89.10 ⁻³ K.m



• ***<u>Loi de Stefan-Boltzmann</u>*** : Le flux thermique surfacique φ (**en W.m⁻²**) rayonné par la surface **S** (**en m²**) d'un corps noir à la température **T** (**en K**) vaut :

$$\boxed{\varphi = \sigma \times T^4}$$

avec **σ = 5,67.10⁻⁸ W.m⁻².K⁻⁴** (constante de Stefan-Boltzmann) *(Formule fournie)*

✍ <u>Application 7 : Effet de serre</u>

a) *En hiver, on estime le flux thermique surfacique provenant du Soleil et absorbé par le sol à* $\varphi_{solaire\ reçu}$ = **290 W.m⁻²**. *En assimilant le sol à un corps noir, déterminer sa température* T_{sol} *une fois l'équilibre thermique atteint.*

• ***Loi de déplacement de WIEN*** :

$$\boxed{T \times \lambda_{max} = k}$$

avec **k = 2,89.10^{-3} K.m**

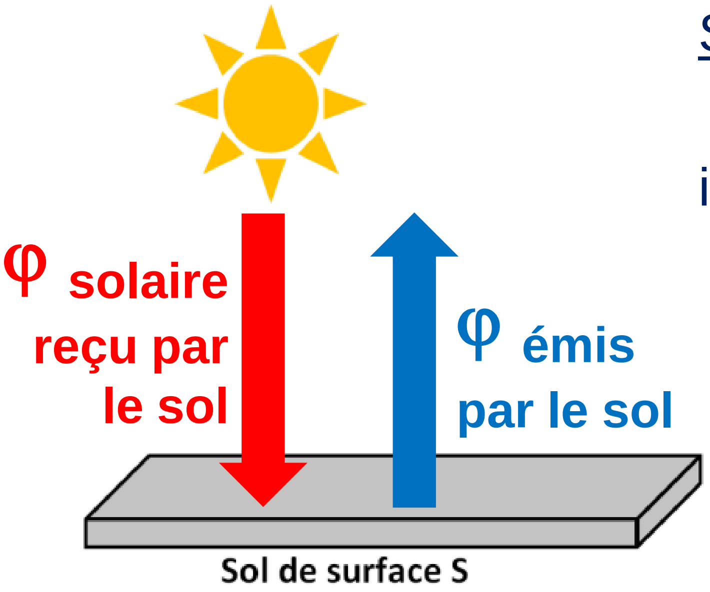
• ***Loi de Stefan-Boltzmann*** :

$$\boxed{\varphi = \sigma \times T^4}$$

avec **σ = 5,67.10^{-8} W.m^{-2}.K^{-4}**

✍ Application 7 : Effet de serre

a) *En hiver, on estime le flux thermique surfacique provenant du Soleil et absorbé par le sol à* $\varphi_{\text{solaire reçu}}$ **= 290 W.m^{-2}**. *En assimilant le sol à un corps noir, déterminer sa température* T_{sol} *une fois l'équilibre thermique atteint.*



Système = sol

Pour que le sol soit à **l'équilibre thermique**, il faut que :

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} = \varphi_{\text{émis par le sol}}$$

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} = \sigma \times T_{sol}^{\ 4}$$

Soit : $$\boxed{T_{sol} = \left(\frac{\varphi_{\text{solaire reçu}}}{\sigma}\right)^{1/4}}$$

AN → $$T_{sol} = \left(\frac{290}{5{,}67.10^{-8}}\right)^{1/4}$$

T_{sol} = 267 K (– 6 °C)

- ***Loi de déplacement de WIEN*** :

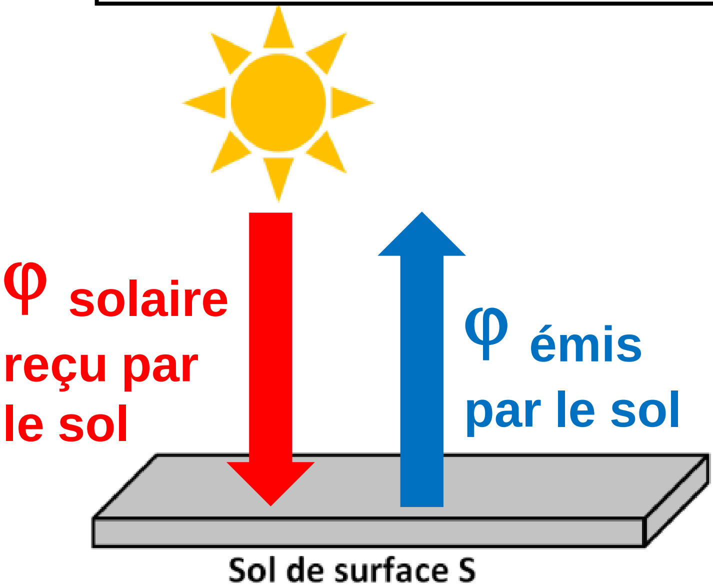
$$\boxed{T \times \lambda_{max} = k}$$

avec **k = 2,89.10 $^{-3}$ K.m**

- ***Loi de Stefan-Boltzmann*** :

$$\boxed{\varphi = \sigma \times T^4}$$

avec **σ = 5,67.10 $^{-8}$ W.m $^{-2}$ .K $^{-4}$**



Système = sol

Pour que le sol soit à **l'équilibre thermique**, il faut que :

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} = \varphi_{\text{émis par le sol}}$$

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} = \sigma \times T_{sol}^{\ 4}$$

Soit : $$\boxed{T_{sol} = \left(\frac{\varphi_{\text{solaire reçu}}}{\sigma}\right)^{1/4}}$$

AN → $T_{sol} = \left(\dfrac{290}{5{,}67.10^{-8}}\right)^{1/4}$

$$T_{sol} = 267\ \text{K}\ \ (-6\ °\text{C})$$

b) *Dans quel domaine d'ondes électromagnétiques se situe le principal rayonnement émis par le sol ?*

D'après la loi de Wien, $$\boxed{\lambda_{max} = \frac{k}{T}}$$

AN → $\lambda_{max} = \dfrac{2{,}89.10^{-3}}{267}$

b) *Dans quel domaine d'ondes électromagnétiques se situe le principal rayonnement émis par le sol ?*

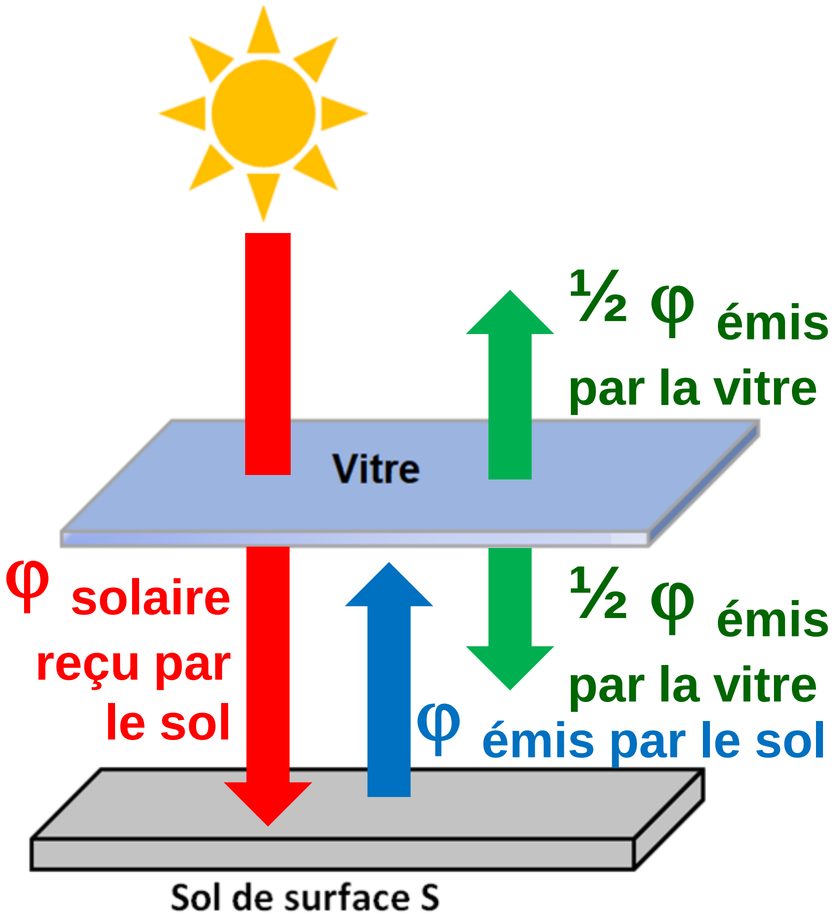
D'après la loi de Wien, $\boxed{\lambda_{max} = \frac{k}{T}}$

AN → $\lambda_{max} = \frac{2{,}89.10^{-3}}{267}$

$\lambda_{max} =$ **1,08.10^{-5} m (10,8 µm)**

➡ λ_{max} appartient au domaine de **l'infrarouge [800 nm ; 100 µm]**

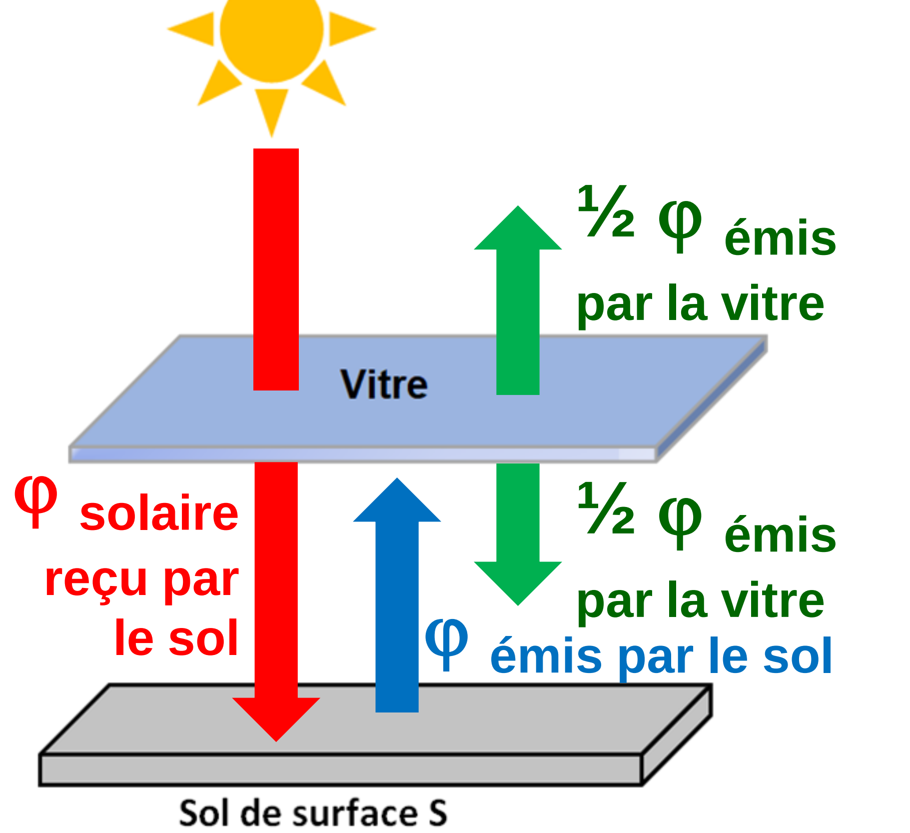
c) *Une vitre plane et horizontale est disposée à quelques mètres au-dessus du sol. Elle est totalement transparente au rayonnement solaire. En revanche, elle se comporte comme un corps noir dans le domaine d'ondes électromagnétiques principalement émis par le sol. Déterminer la température* T_{sol}*' du sol une fois l'équilibre thermique atteint pour le sol et pour la vitre.*



▪ Système = sol

Pour que **l'équilibre thermique** soit atteint au niveau du sol, il faut que :

c) *Une vitre plane et horizontale est disposée à quelques mètres au-dessus du sol. Elle est totalement transparente au rayonnement solaire. En revanche, elle se comporte comme un corps noir dans le domaine d'ondes électromagnétiques principalement émis par le sol. Déterminer la température* T_{sol}*' du sol une fois l'équilibre thermique atteint pour le sol et pour la vitre.*



- <u>Système</u> = sol

Pour que <u>l'**équilibre thermique**</u> soit atteint au niveau du sol, il faut que :

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} + \frac{1}{2}\varphi_{\text{émis par la vitre}} = \varphi_{\text{émis par le sol}} \quad \textbf{(1)}$$

- <u>Système</u> = vitre

Pour que <u>l'**équilibre thermique**</u> soit atteint au niveau de la vitre, il faut que :

$$\varphi_{\text{émis par le sol}} = \varphi_{\text{émis par la vitre}} \quad \textbf{(2)}$$

En injectant **(2)** dans **(1)**, on a donc :

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} + \frac{1}{2}\varphi_{\text{émis par le sol}} = \varphi_{\text{émis par le sol}}$$

- <u>Système</u> = sol

Pour que **<u>l'équilibre thermique</u>** soit atteint au niveau du sol, il faut que :

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} + \frac{1}{2}\,\varphi_{\text{émis par la vitre}} = \varphi_{\text{émis par le sol}} \quad \textbf{(1)}$$

- <u>Système</u> = vitre

Pour que **<u>l'équilibre thermique</u>** soit atteint au niveau de la vitre, il faut que :

$$\varphi_{\text{émis par le sol}} = \varphi_{\text{émis par la vitre}} \quad \textbf{(2)}$$

En injectant **(2)** dans **(1)**, on a donc :

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} + \frac{1}{2}\,\varphi_{\text{émis par le sol}} = \varphi_{\text{émis par le sol}}$$

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} = \frac{1}{2}\,\varphi_{\text{émis par le sol}}$$

$$\varphi_{\text{solaire reçu par le sol}} = \frac{1}{2}\,\sigma \times T'^{\,4}_{sol}$$

Soit : $$\boxed{T'_{sol} = \left(\frac{2\,\varphi_{\text{solaire reçu}}}{\sigma}\right)^{1/4}}$$

<u>AN</u> → $$T'_{sol} = \left(\frac{2 \times 290}{5{,}67.10^{-8}}\right)^{1/4}$$

T'_{sol} = 318 K (45 °C)