

# Evolution de la température d'un système

## Fiche Professeur

Inspiré d'un TP de BTS élaboré par L.Angrand

<b>Place dans la progression</b>	Niveau : Terminale
<b>Extrait BO</b>	<p><b>L'énergie, conversions et transferts</b></p> <p><b>2. Effectuer des bilans d'énergie sur un système : le premier principe de la thermodynamique</b></p> <p><b>Notions et contenus :</b> Loi phénoménologique de Newton, modélisation de l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat.</p> <p><b>Capacités exigibles :</b> Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible échangeant de l'énergie par un transfert thermique modélisé à l'aide de la loi de Newton fournie. Établir l'expression de la température du système en fonction du temps.</p> <p><i>Suivre et modéliser l'évolution de la température d'un système incompressible.</i></p>
<b>Prérequis</b> (vus en Terminale)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prévoir le sens d'un transfert thermique</li> <li>- Exploiter l'expression de la variation d'énergie interne d'un système incompressible en fonction de sa capacité thermique et de la variation de sa température pour effectuer un bilan énergétique</li> <li>- Caractériser qualitativement le mode de transfert thermique « convection »</li> </ul>
<b>Objectifs de la séquence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Effectuer un bilan d'énergie pour un système incompressible (plaquette de métal) grâce à la Loi de Newton pour la convection (équation différentielle + solution générale)</li> <li>- Faire une hypothèse sur la nature du matériau à utiliser pour fabriquer un moteur en se basant sur la solution générale (<math>T = f(t)</math>)</li> <li>- Suivre et modéliser l'évolution de la température soit d'une plaque de cuivre, soit d'une plaque de fer que l'on soumet à une variation thermique brutale</li> <li>- Confronter la modélisation et la théorie</li> <li>- Répondre à la problématique</li> </ul>
<b>Organisation de la séquence</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>En séance 1 en classe : on propose l'activité 1</b> pour faire établir aux élèves, l'équation différentielle du 1er ordre régissant l'évolution de température d'une cuillère en métal, en explicitant la solution obtenue (la loi de Newton sera fournie aux élèves).</li> <li>- <b>Séance 2 : matériau pour faire un moteur</b> : Leur demander de faire une hypothèse sur la nature du matériau à utiliser pour fabriquer un moteur en s'appuyant sur la solution générale trouvée.</li> </ul> <p>Séance de 2h en effectif réduit</p> <p>Une moitié de groupe étudie une plaque de cuivre, l'autre moitié, une plaque de fer</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Après avoir étalonné le capteur thermique utilisé (thermocouple), on étudie son temps de réponse afin de montrer qu'il est faible devant le temps de réponse de la plaque</li> <li>- On effectue un suivi, grâce à une carte d'acquisition et un logiciel, de la température de la plaque que l'on soumet à une variation thermique brutale</li> <li>- A l'aide du logiciel, on modélise l'évolution de la température de la plaque et on la confronte à la théorie</li> <li>- On répond à la problématique</li> </ul>

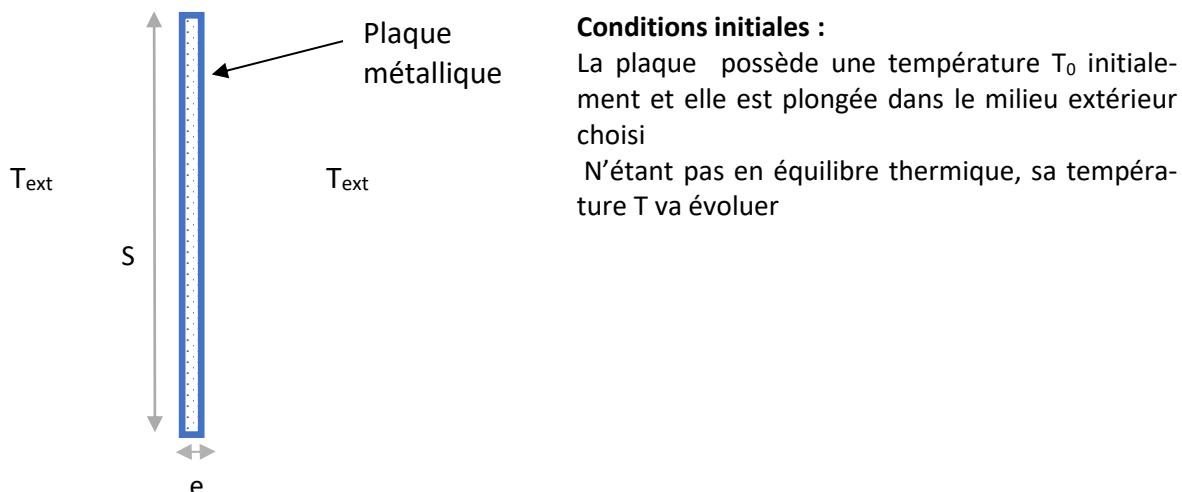
<b>Documents mis à disposition</b>	Fiche activité cours : comment évolue la température d'un système ? Fiche TP <b>Quel matériau choisir pour fabriquer un moteur ?</b>
<b>Remarques sur le matériel utilisé</b>	<p>Plaques de cuivre et de fer avec faible épaisseur (30x30(ou100)x1mm)  <a href="https://www.equascience.com/electrochimie/397-electrodes-metalliques-en-lames.html">https://www.equascience.com/electrochimie/397-electrodes-metalliques-en-lames.html</a>, à découper (éventuellement)</p> <p>Rq : conductivités thermique <math>\lambda</math> (en <math>\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}</math>) à 20°C de Fe : 80, de Cu : 390  + thermostat de taille suffisante</p> <p>⇒ on suppose que :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- la température est uniforme à l'intérieur de la plaque</li> <li>- la température du thermostat ne varie pas</li> <li>- le thermomètre possède un temps de réponse faible par rapport au temps nécessaire à la mise en équilibre</li> </ul> <p>Thermocouple de type K + boîtier  Carte d'acquisition + logiciel  Bécher 250 mL  Calorimètre ou récipient type thermos  Bouilloire  Glaçons  « Patafix » ou sparadrap</p>

#### QUELQUES ELEMENTS DE REPONSE :

En amont du TP :

**Donner l'équation différentielle qui régit l'évolution de la température d'une plaque métallique en contact avec l'air de température  $T_{\text{ext}}$  au cours du temps.**

**Donner la solution générale  $T = f(t)$  de cette équation.**



**Loi de Newton pour le phénomène de convection** pour un système incompressible:

Au voisinage d'un solide de surface  $S$  et de température de surface  $T_s$ , un fluide en mouvement à la température  $T_f$ , reçoit un flux d'énergie (ou puissance thermique)  $\Phi = hS(T_s - T_f)$  où  $h$  désigne le coefficient de transfert thermique (en  $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$ ).

Cette loi de Newton nous permet donc d'accéder à l'évolution de la température  $T(t)$ , voici comment :

La plaque métallique est considérée de température interne homogène, en contact avec l'extérieur de température constante et subissant la convection naturelle de l'air, on peut appliquer la loi de Newton qui permet de calculer la puissance thermique (ou flux) échangée entre la plaque et le

fluide.  $\Phi = hS(T_{ext} - T)$ . La plaque étant refroidie par l'air, il y a bien transfert d'énergie de la plaque vers l'extérieur, et la température  $T$  va diminuer au cours du temps.

Or, on a vu que le transfert d'énergie  $Q$  pour un solide s'exprime en fonction de la variation de température  $\Delta T$  du solide et sa capacité thermique  $C$ :  $Q = C \Delta T$

La puissance thermique (en W) pourra donc s'écrire de deux manières :

$$\frac{dQ}{dt} = C \frac{dT}{dt}$$

$$\frac{dQ}{dt} = hS(T_{ext} - T)$$

Donc, pour un intervalle de temps très petit, la variation  $dT$  de température suit cette équation différentielle :

$$C \frac{dT}{dt} = hS(T_{ext} - T)$$

**Équation différentielle qui régit l'évolution de la température de la plaque en contact avec un fluide de température  $T_{ext}$ , au cours du temps**

$$\Rightarrow \frac{dT}{dt} + \frac{hS}{C} T = \frac{hS}{C} T_{ext}$$

$$\Rightarrow \text{Solution de l'équation sans second membre } T(t) = Ae^{-\frac{hS}{C}t}$$

$$\Rightarrow \text{Solution particulière } T = T_{ext}$$

$$\Rightarrow T = Ae^{-\frac{hS}{C_{plaque}}t} + T_{ext}$$

À  $t = 0$ ,  $T = T_{int} \Rightarrow A = T_{int} - T_{ext}$

**Solution générale : Expression de la température de la plaque en fonction du temps**

$$\Rightarrow T = (T_{int} - T_{ext})e^{-\frac{hS}{C_{plaque}}t} + T_{ext}$$

**En s'appuyant sur l'expression de la température de la plaque en fonction du temps trouvée en 1., faire une hypothèse sur la nature du matériau à choisir pour fabriquer un moteur.**

Dans l'équation trouvée au 1., la constante de temps est  $\tau = \frac{C}{hS}$ .

Un bon matériau pour fabriquer un moteur serait donc un matériau dont la constante de temps est faible.

Pour une plaque donnée,  $S$  est constante.

On compare deux matériaux de conductivités thermiques différentes, dans les mêmes conditions.  $h$  dépend de la nature du fluide, de la température de celui-ci ainsi que du type d'écoulement. Dans un environnement donné (notre expérience), on peut considérer qu'il est constant (même température, même fluide et même écoulement).

**Un bon matériau pour fabriquer un moteur serait donc un matériau dont la capacité calorifique  $C$  est faible.**

Pendant le TP :

**Hypothèse :** Un bon matériau pour fabriquer un moteur serait donc un matériau dont la capacité calorifique  $c$  est faible.

**Expérience :**

**Résultats :**

**Conclusion :**

**Rq :** À la fin de la séance : lors de l'élaboration d'un moteur,  $c$  n'est pas le seul facteur à prendre en compte...