CHAP 17-ACT EXP Transfert thermique conducto-convectif : loi de Newton

CORRIGE

Objectifs:

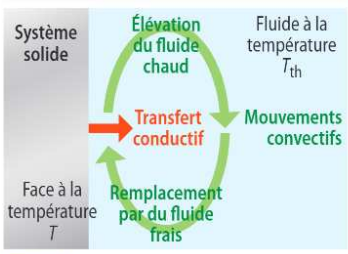
- ***Etudier l'évolution de la température d'un système au contact d'un thermostat***
- ***Modéliser le transfert thermique par la loi de Newton***

1. INTRODUCTION

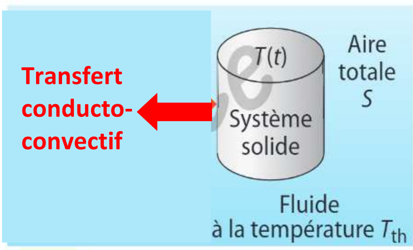
Le capteur de température utilisé est un thermocouple inséré dans un tube en inox. Ce tube constitue le solide dont on étudiera l'évolution de la température lors de son refroidissement au contact de l'air.

Au contact de l'air, assimilé à un **thermostat ***, un corps chaud se refroidit progressivement. Le temps caractéristique de refroidissement dépend du coefficient h de transfert conducto-convectif.

thermostat * : réservoir de chaleur suffisamment grand pour que tout échange de chaleur avec le système considéré ne change pratiquement pas sa température.



Doc. 19 Représentation schématique du transfert conducto-convectif : si $T_{th} < T$, le fluide s'échauffe au contact de la face, sa masse volumique diminue, il s'élève sous l'action de la poussée d'Archimède et est remplacé par du fluide frais.



Doc. 20 Transfert thermique entre un corps solide à la température $T(t)$ et un thermostat de température T_{th} (ici, supérieure à celle du corps).

Loi phénoménologique de Newton :

La température θ d'un solide au contact d'un thermostat évolue au cours du temps selon :

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{th})e^{-t/\tau} + \theta_{th}$$

où θ_0 est la température du solide à l'instant initial, θ_{th} la température du thermostat (ici l'air ambiant) et τ le temps caractéristique de refroidissement.

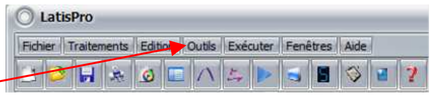
$$\tau = \frac{C}{hS}$$

avec S l'aire de la surface du solide, C sa capacité thermique et h le coefficient de transfert conducto-convectif entre l'air et le solide.

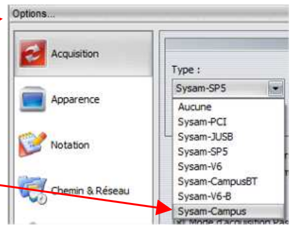
2. EVOLUTION DE LA TEMPERATURE D'UN SOLIDE DANS UN FLUIDE

2.1 Convection naturelle

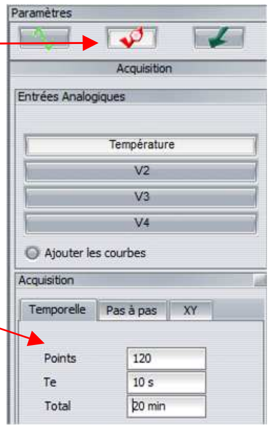
2.1.1 Protocole



- Le capteur de température étant relié à l'interface d'acquisition SYSAM-Campus, ouvrir le logiciel LATIS PRO.

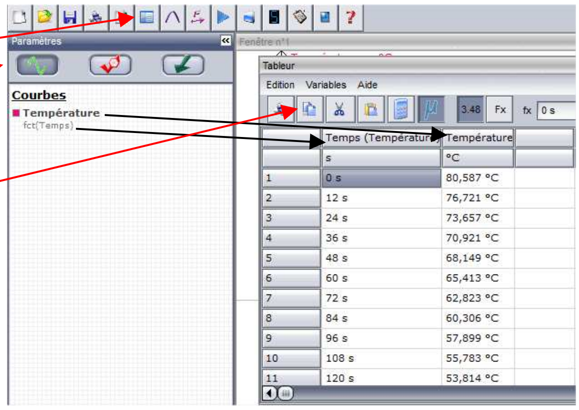


Attention : Si le capteur de température n'est pas détecté,
-aller dans l'onglet OUTILS
-puis OPTIONS
-et sélectionner la bonne interface d'acquisition : Sysam-Campus



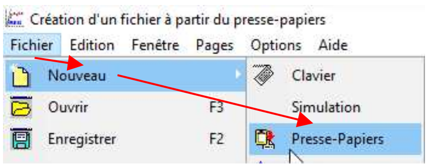
- Régler les paramètres d'acquisition de la température de la façon suivante :
  -acquisition temporelle
  -Nombre total de points : 120
  -Durée totale d'acquisition : 20 min
- Noter la température θ_{th} de l'air ambiant, mesurée avec le thermomètre :
  θ_{th} = 21°C
- Plonger le capteur de température dans de l'eau bouillante pendant 2 minutes environ.
- Sortir le capteur de température de l'eau bouillante grâce au fil et le suspendre grâce à la pince (cf. photo ci-dessus).
- Déclencher l'acquisition . Les valeurs de la température de la sonde sont enregistrées toutes les 10s et le graphique Température = f(t), montrant l'évolution de la température en fonction du temps s'affiche à l'écran.

2.1.2 Exploitation

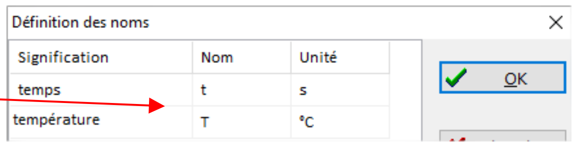


	Temps	Température
	s	°C
1	0 s	80,587 °C
2	12 s	76,721 °C
3	24 s	73,657 °C
4	36 s	70,921 °C
5	48 s	68,149 °C
6	60 s	65,413 °C
7	72 s	62,823 °C
8	84 s	60,306 °C
9	96 s	57,899 °C
10	108 s	55,783 °C
11	120 s	53,814 °C

- **Récupérer le tableau des mesures**
  - Ouvrir le tableur
  - Aller dans l'onglet contenant les courbes
  - Glisser-déposer les courbes dans les colonnes respectives du tableau (cf. ci-contre)
  - Sélectionner l'ensemble des valeurs et les copier dans le presse-papier
- **Importer les mesures dans Regressi**
  - Ouvrir Regressi

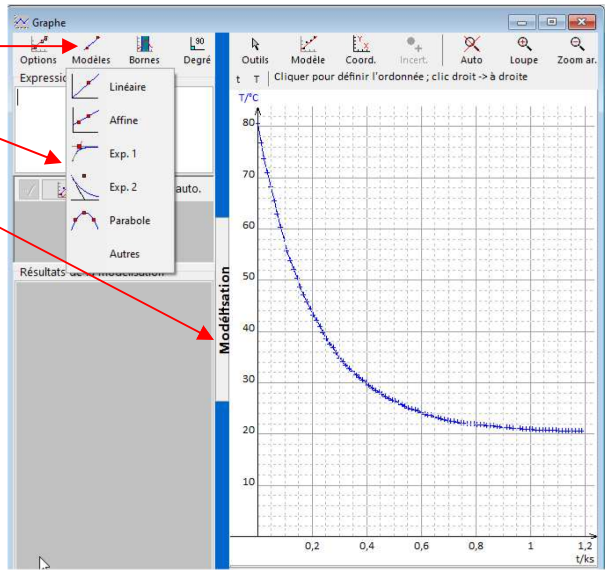


  - Créer un fichier à partir du presse-papier



  - Redéfinir si nécessaire le nom et l'unité pour chacune des grandeurs
  - On obtient le graphique T = f(t), montrant l'évolution de la température en fonction du temps

- **Modéliser l'évolution de la température en fonction du temps**
  - Ouvrir l'onglet « Modélisation »
  - Sélectionner parmi les modèles proposés celui correspondant à l'évolution observée

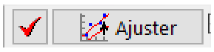


Modèle choisit : **décroissance exponentielle.**

  - Adapter éventuellement l'expression du modèle proposé pour tenir compte de la valeur à l'asymptote non nulle.

Expression du modèle : **T = a*e(-t/τ) + b**

  - Ajuster le modèle aux points expérimentaux



  - Résultats de la modélisation pour un intervalle de confiance à 95% :

a = 59,5°C +- 0,2°C

τ = 213 s +- 2 s

b = 20,4°C +- 0,1°C

  - Enregistrer la courbe.

- **Valider que l'évolution de la température en fonction du temps suit la loi de Newton** : $\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{th})e^{-t/\tau} + \theta_{th}$
  - A partir du graphique, déterminer la valeur de la température initiale : **θ_0 = 81°C**
  - Comparer la valeur de a à $(\theta_0 - \theta_{th})$: **$(\theta_0 - \theta_{th})$ = 81-21 = 60°C ~a**
  - Comparer la valeur de b à θ_{th} : **θ_{th} = 21°C ~b**

2.1.3 Interprétation de la loi : $\theta(t) = (\theta_0 - \theta_{th})e^{-t/\tau} + \theta_{th}$

a) vitesse de refroidissement

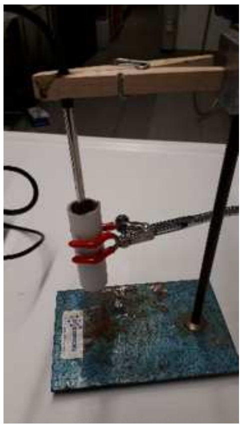
On rappelle (voir COURS) que la loi de Newton découle d'un modèle dans lequel on considère la vitesse de refroidissement proportionnelle à l'écart de température entre le système et le thermostat.

b) décroissance exponentielle de la température

- à t = 0, que vaut $e^{-t/\tau}$ **=1** ; en déduire $\theta(0)$ = **θ_0** Retrouver cette valeur sur le graphique : **valeur initiale de la température θ_0 = 80°C**
- lorsque t tend vers l'infini, $e^{-t/\tau}$ tend vers **0** ; en déduire vers quelle limite tend la température lorsque t tend vers l'infini **θ_{th}** Traduire cette propriété sur le graphique en traçant l'asymptote correspondante.
  La température tend vers une asymptote à θ_{th} = 20°C
- A l'aide du simulateur faire varier la valeur de τ et observer l'incidence sur la loi de décroissance de la température ; En déduire une signification du temps caractéristique : **La température décroit exponentiellement d'autant plus vite que le temps caractéristique τ est petit. (τ est d'autant plus petit que la vitesse de refroidissement est élevée !)**

c) coefficient de transfert conducto-convectif

- Par la suite, nous appellerons τ_{nat} la valeur du temps caractéristique obtenu lors de cette expérience en convection naturelle.
  Rappeler la valeur de τ_{nat} obtenue : **τ_{nat} = 213 s**
- On appellera h_{nat} le coefficient de transfert conducto-convectif correspondant.



2.2 Convection empêchée

2.2.1 Protocole

Reprendre le protocole du 2.1.1 en entourant le capteur de température d'un cylindre en carton, en veillant à ce que le capteur ne touche pas les parois en carton.

2.2.2 Exploitation

Idem 2.1.2

- Relever la valeur obtenue pour le temps caractéristique en convection empêchée.
  τ_{emp} = ... s
- On appellera h_{emp} le coefficient de transfert conducto-convectif correspondant.

2.3 Convection forcée

2.3.1 Protocole

Reprendre le protocole du 2.1.1 en plaçant le capteur de température dans le courant d'air d'un ventilateur ou d'un sèche cheveux pulsant de l'air froid.

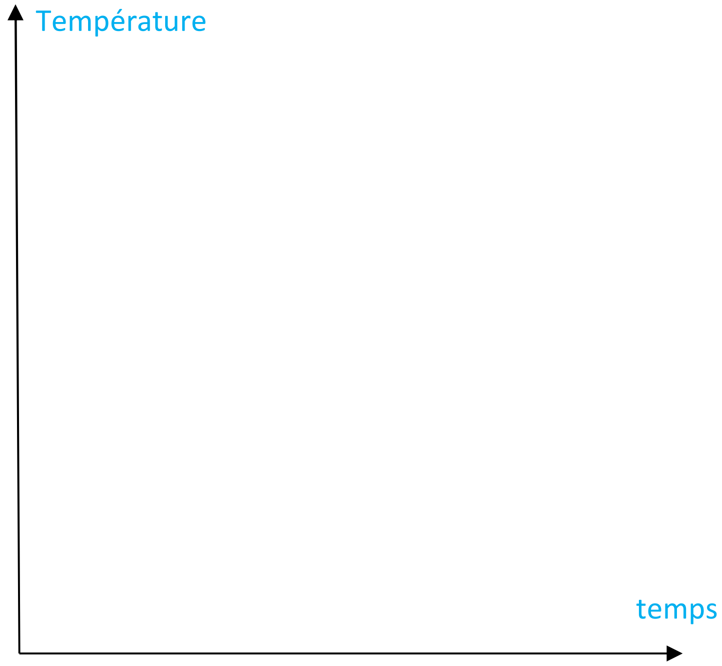
2.3.2 Exploitation

Idem 2.1.2

- Relever la valeur obtenue pour le temps caractéristique en convection forcée.
  τ_{for} = ... s
- On appellera h_{for} le coefficient de transfert conducto-convectif correspondant.

Bilan

- Représenter l'allure des 3 courbes obtenues sur un même graphique



- Comparer τ_{nat} , τ_{emp} et τ_{for} : **τ_{for} < τ_{nat} < τ_{emp}**
- En déduire une comparaison entre h_{nat} , h_{emp} et h_{for} : **h_{for} > h_{nat} > h_{emp}** (h inversement proportionnel à τ)
- Le phénomène de conducto-convection est décrit ainsi : l'air au contact du solide chaud s'échauffe par conduction, il s'élève par action de la poussée d'Archimède et est remplacé par de l'air frais.
  Expliquer l'ordre des 3 coefficients : **Le transfert thermique conducto-convectif est favorisé lorsque l'air est renouvelée au contact du solide.**
  Application : on se refroidit plus vite quand il y a du vent (notion de froid ressenti !)