

# Thermodynamique (Échange thermique)

**Introduction :** Cette activité est mise en ligne sur le site du CNRMAO avec l'autorisation de la société ERM Automatismes Industriels, détentrice des droits de publication des nombreuses activités pédagogiques liées à la cafetière Nespresso.

**Public :** groupe de 4

**Niveau :** Terminale STI2D

**Durée :** 2h

**Objectif enseignement transversal :**

Chapitre technologie

Objectif de formation 5 : Utiliser un modèle de comportement pour prédire un fonctionnement ou valider une performance

Compétence attendue : CO5.3 : évaluer un écart entre le comportement du réel et le comportement du modèle en fonction des paramètres proposés

2.3 : Approche comportementale

2.3.2 : Comportement des matériaux

Comportements caractéristiques des matériaux selon les points de vue thermiques (échauffement par conduction, convection et rayonnement, fusion, écoulement)

**Notice utilisation cafetière :**

[http://www1.nespresso.com/precom/manuals/pdf/Citiz/N\\_Citiz\\_D\\_FR.pdf](http://www1.nespresso.com/precom/manuals/pdf/Citiz/N_Citiz_D_FR.pdf)

**Travail demandé :** Valider le temps de chauffe théorique du corps de chauffe et sa température.

**Rappel du cours de physique sur la thermodynamique :**

*Définition encyclopédie LAROUSSE :*

**Thermodynamique :** nom féminin

*Branche de la physique qui étudie les propriétés des systèmes où interviennent les notions de température et de chaleur.*

**Chaleur :** nom féminin (latin calor, -oris)

\* Qualité de ce qui est chaud ; température élevée ; sensation que donne un corps chaud : La douce chaleur d'un soleil d'automne.

\* Qualité d'une couleur, d'un parfum, d'une voix, etc., à la fois soutenus et attirants.

\* Qualité de quelqu'un, de quelque chose qui est chaleureux, ou qui manifeste de l'ardeur dans les sentiments, de l'animation, etc. : Plaider une cause avec chaleur.

\* Peintures et vernis : Qualité d'un coloris où dominant le rouge, l'orangé ou certains jaunes.

\* **Physique :** Mode de transfert de l'énergie d'un corps à un autre qui ne correspond pas à un travail. (L'énergie ainsi transférée se nomme quantité de chaleur.)

**Chaleur sensible :**

La chaleur sensible provoque une hausse de température d'un corps sans en changer de phase.

La quantité de chaleur sensible,  $Q_{sens}$ , transférée à un corps, ou d'un corps, provoque un changement de température d'une valeur initiale,  $T_{in}$ , à une valeur finale,  $T_{fin}$ .

Ainsi,  $Q_{sens} = m \cdot C \cdot \Delta T = m \cdot C \cdot (T_{fin} - T_{in})$ .

où  $m$  est la masse du corps en kg,  $C$  la capacité calorifique\* spécifique de la matière dont le corps est composé (définie plus bas) et  $\Delta T$  la variation de température en Kelvin causée par le transfert de chaleur.

**Remarque :** L'unité de mesure de température Européenne étant le Celsius, les températures données sont en Celsius. Cela n'est pas gênant car dans la formule, intervient la différence de température ( $T_{finale} - T_{initiale}$ ). Cette différence est égale à celle constatée en Kelvin.

Dans cette équation,  $\Delta T$  sera positive si  $T_{fin} > T_{in}$  c'est-à-dire si l'on transfère de la chaleur au corps. Dans le cas contraire, la perte chaleur  $\Delta T$  sera négative.

Donc, la quantité de chaleur sensible,  $Q$ , sera soit positive si le corps gagne de l'énergie, soit négative s'il en perd dans le transfert de chaleur. Cette convention de signe permet d'exprimer mathématiquement la direction de l'échange de chaleur relativement au corps.

**La capacité thermique** (ou capacité calorifique) d'un corps est une grandeur permettant de quantifier la possibilité qu'a un corps d'absorber ou restituer de l'énergie par échange thermique au cours d'une transformation pendant laquelle sa température varie. La capacité thermique est l'énergie qu'il faut apporter à un corps pour augmenter sa température de un Kelvin. Elle s'exprime en Joule/Kg/Kelvin. Elle dépend du matériau. Plus  $C$  est grand (voir tableau ci-dessous), plus il faut d'énergie pour élever la température.

**Puissance :**

**La puissance est la quantité d'énergie fournie par un système à un autre par unité de temps. La puissance correspond donc à un débit d'énergie :**

$$P = Q / t$$

avec  $P$  : puissance moyenne en Watt (W),  $Q$  énergie en Joule (J) et  $t$  durée du transfert d'énergie en seconde (s)

*Rappel :  $1Wh = 3600 J$ ,  $1h = 3600s$  donc  $1Ws = 1J$*

Lors du préchauffage, l'eau est "stagnante", ce qui permet de quantifier la chaleur sensible nécessaire à sa chauffe et le temps de préchauffage.

***Calculer le temps théorique de préchauffage du corps de chauffe.***

***Hypothèse :***

Toute la puissance consommée est transmise en chaleur sensible (pas de pertes par rayonnement...), c'est-à-dire que toute la chaleur produite par la résistance sert à chauffer l'eau.

***Données :***

Eau dans le réservoir = 20 °C

Eau en sortie du corps de chauffe = 95 °C

Puissance de la cafetière  $P = 1200 W$

Capacité calorifique de certains matériaux

Matériau	C (J.kg <sup>-1</sup> .K <sup>-1</sup> )
Air	≈ 1000
Eau	≈ 4200
Béton	≈ 900
Laine de verre	≈ 670
Bois	≈ 2700
Alu	≈ 880
Céramique	≈ 820
Acier	≈ 470

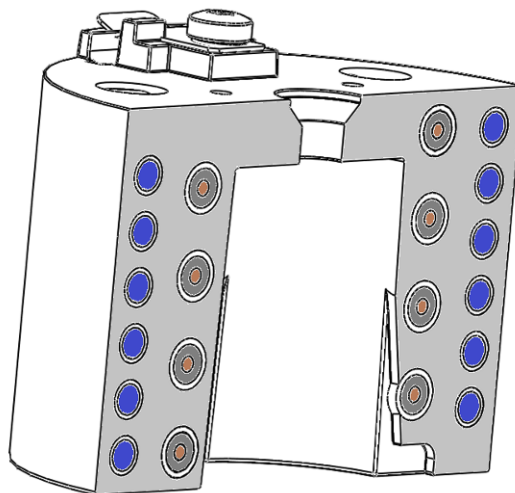
### Échange thermique

Sur le dessin en coupe ci-dessous et en fonction des modèles 3D SW fournis, **indiquer par une flèche rouge le trajet de la chaleur** émise par la résistance, jusqu'à l'eau.

La résistance est noyée dans une céramique (que nous devons prendre en compte : couleurs gris foncé et blanc sur la coupe ci-dessous).

**Indiquer** le nom des composants traversés ainsi que leurs matériaux (eau incluse).

La résistance est en marron sur le dessin ci-dessous et l'eau en bleu.



**Calculer** pour chaque élément traversé la quantité de chaleur sensible.

- **Sur SW, relever** les masses de chaque solide concerné
  - Ouvrir le fichier pièce désiré
  - Vérifier le matériau dans l'arbre de création
  - Sous Sw2010, dans l'onglet évaluer, prendre l'outil propriété de masse.
  - Relever la masse.
  
- **Retrouver**, dans le tableau donné ci-dessus, la capacité calorifique de chaque élément.
  
- **Calculer** la quantité de chaleur sensible totale.

*Remarque* : Les pertes étant négligées, on suppose que les températures (initiale et finale) sont identiques pour chaque solide.

La quantité totale de chaleur sensible est égale à la somme des quantités de chaleur sensible de chaque élément participant au transfert de chaleur.

### Temps de préchauffage

**Calculer** le temps de préchauffage théorique.

*Remarque pour la suite du calcul des temps de préchauffage :*

Les activités suivantes nécessitent la maquette didactisée de la cafetière niveau STI2D de chez ERM (référence NES 12 et la centrale d'acquisition NES 11).

**MAIS vous pouvez directement passer à la lecture de la courbe de chauffe donnée ci-dessous.**

Temps de préchauffage réel.

**Chronométrer** le temps de préchauffage réel.

Le temps de préchauffage est visualisé lors de l'allumage de la machine par le clignotement du bouton POWER.

Temps de préchauffage mesuré.

**Sur le thermomètre digital en façade** (cafetière didactisée) :

- Faire un relevé des températures, à l'aide de l'affichage digital, toutes les 10 secondes lors :

\* de la préchauffe de l'appareil (de la mise sous tension jusqu'à la stabilisation de la température durant 10s)

\* de la réalisation de 5 expressos (réalisé à la suite l'un de l'autre)

\* de la réalisation de 5 Lungos (réalisé à la suite l'un de l'autre)

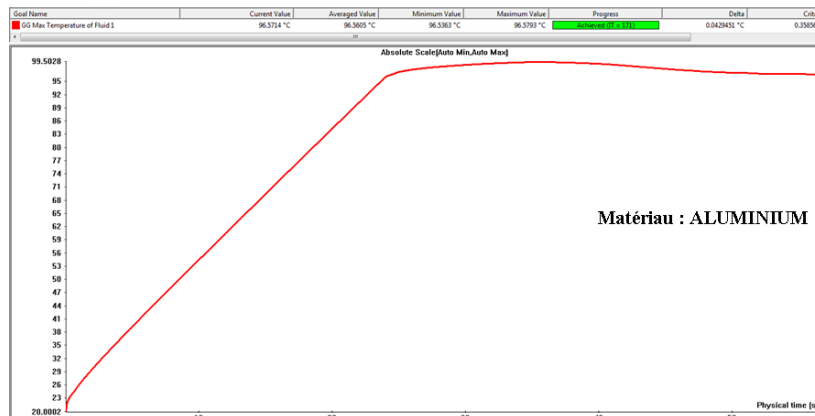
- Réaliser sous EXCEL, les courbes correspondantes.

## Boîtier d'acquisition (en option)

- Refaire ces courbes avec le boîtier d'acquisition (si vous en possédez un, voir notice d'utilisation)

**Déterminer** sur la courbe les périodes de préchauffage, maintien en température, chauffe de l'expresso, du lungo.

Voici la **courbe de chauffage** du corps de chauffe réalisé avec le *module FlowSimulation* sur SW2010.



## Conclusion :

**Vérifier et comparer** le temps de chauffe réel (boîtier d'acquisition : nécessite l'achat de la cafetière didactisée avec le module d'acquisition de chez ERM), chronométré (idem que précédemment), **simulé** (pour le tutoriel FlowSimulation, voir cafetière didactisée ERM) et **calculé**.

**Identifier** les paramètres pouvant générer les écarts s'il y en a.

Proposer une solution qui permettrait de diminuer les écarts (voir hypothèse de départ).