|  |  |
| --- | --- |
| Thème : L’énergie, conversions et transferts  | **SpéPC Term** |
| **TP** **Température d’un système incompressible au cours du temps** |

**Capacités exigibles**

|  |  |
| --- | --- |
| **1** | Suivre et modéliser l’évolution de la température d’un système incompressible. |

La température idéale d’extraction d’un thé noir est de 85°C mais sa température de dégustation vaut 65°C. L’abaissement de la température, de l’extraction à la dégustation, est lié aux transferts thermiques entre l’infusion et l’air, milieu extérieur.

* **Comment décrire ce processus par un modèle mathématique et prédire la durée de refroidissement nécessaire avant dégustation ?**

**Document 1 Modes de transferts thermiques**

Un transfert thermique s’effectue entre un système et le milieu extérieur, lorsqu’il existe une différence de température entre eux.

Trois modes de transferts thermiques peuvent avoir lieu simultanément ou séparément :

* la conduction : dans les solides principalement ; transmission de proche en proche dans la matière mais sans déplacement ;
* la convection : dans les fluides (liquide ou gaz) ; transmission de proche en proche avec déplacement (courants de fluide) ;
* le rayonnement : dans un milieu matériel ou dans le vide ; absorption et émission d’ondes électromagnétiques.

**Document 2 Loi de refroidissement de Newton**

Considérons un *système incompressible\**, à la température , en contact avec le milieu extérieur, de température constante , sans échange de matière. Le système **et/ou** le milieu extérieur est un fluide.

*\*système incompressible : système dont le volume est considéré comme constant, quelle que soit la pression qu’il subit.*

Lorsque le principal mode de transfert thermique dans le fluide est convectif, **Isaac Newton** (1643, 1727) démontre que la dérivée de la température de ce système par rapport au temps, notée , est proportionnelle à la différence de température entre le système et le milieu extérieur selon :

SYSTEME

INCOMPRESSIBLE

MILIEU EXTERIEUR

FLUIDE

Surface d’échange S

Flux thermique

convectif

avec [ en °C, en s, en s].

Le temps caractéristique est une constante relative au système et au milieu extérieur, qui dépend, entre autres, de leur surface de contact, surface d’échange S.

L’évolution de la température du système est alors décrite par l’expression : .

**Document 3 Matériel disponible**

* Capteur de température + pince
* Eprouvette graduée plastique 10 mL « fenêtre » et 25 mL « couloir »
* Bécher 50 mL
* Chronomètre
* Regressi

**Document 4 Résoudre une équation différentielle du premier ordre avec second membre**

* **Cf. Annexe :** Comment résoudre une équation différentielle du premier ordre avec ou sans second membre

**Travail à effectuer**

On admet que la température est uniforme en chaque point du système étudié et que tout transfert thermique entre le système et le milieu extérieur, autre que convectif est négligeable.

1. Elaboration et mise en œuvre d’un protocole (ANA-RAIS, REA) Proposer et mettre en œuvre un protocole pour modéliser l’évolution temporelle de la température du thé lors de son refroidissement.
2. Acquisition (REA) Effectuer l’acquisition de l’évolution temporelle de la température du système {éprouvette ; eau} pour une durée minimale de , afin d’atteindre au moins la température de 35°C, un volume d’eau , une température du milieu extérieur à mesurer et l’éprouvette « *fenêtre 10mL* » **ou** « *couloir 25mL*».
3. Modélisation et exploitation du modèle, incertitude-type A (ANA-RAIS, VAL)
	1. Modéliser la courbe d’évolution de la température obtenue, par une exponentielle de type :

**,** avec A, B et C, variables à déterminer (Regressi : *Modèles/Autres/Manuelle*).

* 1. Faire correspondre les variables A, B et C avec les termes de l’expression donnée par Newton :

 avec température initiale du système, température du milieu extérieur et constante. Comparer ces températures aux valeurs mesurées par le capteur.

* 1. Mesurer la durée nécessaire pour que la température du système passe de 50°C à 35°C.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Groupe :** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |  | **Moyenne** | **Incertitude-type :**  |
| (s) |  |  |  |  |  |  |  |
| (s) |  |  |  |  |  |  |  |

* 1. Estimer la **surface** **d’échange S** pour l’éprouvette utilisée sachant que Scylindre,fenêtre = 3960 mm²,

Scylindre,couloir = 2940 mm², Sdisque,fenêtre = 113 mm² et Sdisque,couloir = 250 mm² :

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Groupe :** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| (mm²) |  |  |  |  |  |
| (mm²) |  |  |  |  |  |

* 1. A partir de la modélisation de la courbe **,** mesurer la durée nécessaire pour que notre thé modélisé, infusé à 85°C, puisse être dégusté à 65°C.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Groupe** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |  | **Moyenne** | **Incertitude-type :**  |
| (s) |  |  |  |  |  |  |  |
| (s) |  |  |  |  |  |  |  |

1. Effectuer des calculs, incertitude-type B (REA, VAL)
	1. Retrouver, par le calcul, la durée de refroidissement (date ) de **votre système** {éprouvette ; eau}, de à Aide : eln(x) = x et ln(ex) = x
	2. A l’aide de Gum\_mc\_eleve\_lycee (*TP20\_Incertitude\_tô\_85\_65.gum)* et de votre modélisation Regressi, déterminer l’incertitude-type de la durée de **votre système.**
2. Influence de la surface d’échange S et autres caractéristiques physiques (VAL)
	1. Déduire des relevéset **,** l’influence de la surface d’échange S surle transfert thermique convectif entre le système et le milieu extérieur.
	2. Sachant que le processus d’extraction du thé doit durer trois minutes à la température de 85°C et que sa dégustation se fait à 65°C, expliquer en quoi une théière de petite surface d’échange permettra une meilleure préparation mais retardera d’autant sa consommation.
	3. Proposer d’autres caractéristiques physiques de la théière qui pourraient modifier l’allure du refroidissement de cette boisson.
	4. Vérifier à l’aide de l’annexe (cf. Doc.4), que la relation est la solution de l’équation différentielle : .
3. Rendre compte à l’écrit en utilisant un vocabulaire adapté (COM) Quelle fonction mathématique modélise l’évolution de la température d’un système incompressible en fonction du temps ?

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **DATE :**  |  | **spéPC Term** |
| **HEURE :**  | **SALLE :** | **POSTES : 10** |

|  |
| --- |
| **TP 20 Température d’un système incompressible au cours du temps** |

|  |  |
| --- | --- |
| Matériel poste | Matériel prof |
| * chronomètre
* bécher 50mL
* thermomètre élec+potence
* éprouvette plastique 10 mL « fenêtre »
* éprouvette plastique 25 mL « couloir »
* une mousse 5cm\*5cm (isolant thermique contre la conduction)
* **Regressi**
* **Gum\_mc**
 | * Bouilloire ;
 |

***Manip :***

* ***Regressi/Nouveau/Clavier : t en s et ctrl+q en °C***
* ***Mesurer***
* ***Faire bouillir l’eau et verser 10mL dans éprouvette, plonger directement sonde température (isolé par le haut grâce à la sonde et le bas grâce à la mousse) ;***
* ***Attendre l’équilibre et quand temp descend de 0,1°C, lancer chrono***
* ***toutes les 20s jusqu’à 600s puis toutes les minutes ensuite (900s mini pour atteindre 35°C)***



**Correction**

1. .
2. .
3. Exploiter des résultats (ANA-RAIS)
	1. Modéliser la courbe d’évolution de la température obtenue, par une exponentielle de type :

avec A, B et C, variables à déterminer (Regressi : *Modèles/Autres/Manuelle*).

* **Fenêtre : avec u(A)=0,3°C ; u(B) =10s ; u(C)=0,3°C**
* **Couloir : avec u(A)=0,5°C ; u(B) =25s ; u(C)=0,6°C**
	1. Faire correspondre les variables A, B et C avec les termes de l’expression donnée par Newton :

 avec température initiale du système, température du milieu extérieur et constante. Comparer ces températures aux valeurs mesurées par le capteur.

* **Fenêtre :** **; ; a = 592 s**
* **Couloir : ; ; a = 681 s**
	1. Mesurer la durée nécessaire pour que la température passe de 50°C à 35°C.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Groupe :** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |  | **Moyenne** | **Incertitude-type :**  |
|  | 488 | 554 | 550 | 581 |  |  | **543** | **20** |
| **(s)** | 622 | 745 | 781 | 742 | 712 |  | **720** | **27** |

* 1. Estimer la surface d’échange S pour l’éprouvette utilisée :

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Groupe :** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |
| (mm²) | 3960 | L’échange thermique est principalement convectif à travers la surface cylindrique de l’éprouvette seulement |
| (mm²) | 2940 |
| (mm²) | 25 000 |

* 1. A partir de la modélisation de la courbe **,** mesurer la durée nécessaire pour que le thé, infusé à 85°C puisse être dégusté à 65°C.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Groupe** | **1** | **2** | **3** | **4** | **5** |  | **Moyenne** | **Incertitude-type :**  |
| (s) | 228 | 250 | 233 | 254 |  | **241.3** | **6.3** |
|  | 235 | 245 | 260 | 250 | 227 |  |  |
| (s) | 273 | 274 | 280 | 274 | 293 | **278. 8** | **3.8** |
|  | 276 | 278 | 322 | 384 | 371 |  |  |  |
| **Théière\_prof** | 1300 | 1365 | Etendue=65 |  | **1333** | **19** |

1. Effectuer des calculs, incertitude-type B (REA, VAL)
	1. Retrouver, par le calcul, la durée de refroidissement de votre système {éprouvette ; eau}, de à Aide : eln(x) = x et ln(ex) = x
	2. A l’aide de Gum\_mc\_eleve\_lycee (*TP20\_Incertitude\_tô\_85\_65.gum)* et de votre modélisation Regressi, déterminer l’incertitude-type de la durée de **votre système.**

La modélisation Regressi donne les coefficients A, B et C, assortis de leurs incertitudes. Cela nous permet de déterminer :

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Expérience 1** | **Expérience 2** | **Expérience 3** | **Expérience 4** | **Expérience 5** |
|  | 260,03.3  | 237,34.0  | 257,26.1  |  |
|  | 280,87.4  | 27713  | 27015 | 301.49.5 |

L’incertitude-type B explose avec l’éprouvette 25 mL : perte de matière par le dessus contrairement à l’éprouvette 10mL qui est bouchée par la sonde ET grande zone d’évaporation entre la sonde et la surface de l’eau MAIS cela reste LA modélisation qui peine parce que au contraire l’éprouvette 25 mL est plus STABLE dans la répétition de son refroidissement (incertitude-type A plus faible).

1. Interpréter des mesures, discuter un modèle (VAL)
	1. Déduire des relevéset **,** l’influence de la surface d’échange S surle transfert thermique convectif entre le système et le milieu extérieur.

Plus la surface d’échange S augmente et plus la durée pour refroidir la solution de 50°C à 35°C est courte donc plus l’échange thermique convectif est important.

* 1. Sachant que le processus d’extraction du thé doit durer trois minutes à la température de 85°C et que sa dégustation se fait à 65°C, expliquer en quoi une théière de petite surface d’échange permettra une meilleure préparation mais retardera d’autant sa consommation.

Une théière de petite surface d’échange limitera les transferts thermiques donc le refroidissement du thé qu’elle contient ; l’infusion se fera à une température plus constante donc proche de 85°C ; en revanche, la durée nécessaire avant dégustation sera plus longue. Patience.

* 1. Proposer d’autres caractéristiques physiques de la théière qui pourraient modifier l’allure du refroidissement.

Matériau utilisé (lié à la capacité thermique cf. TP19), épaisseur de la paroi, état de la surface. On pourrait agir sur le milieu extérieur en augmentant la vitesse du vent ou la différence de température liq-air.

* 1. Vérifier à l’aide de l’annexe (cf. Doc.4), que la relation est la solution de l’équation différentielle : .
1. Rendre compte à l’écrit en utilisant un vocabulaire adapté (COM) Quelle fonction mathématique modélise l’évolution de la température d’un système incompressible en fonction du temps ?

Si un système incompressible est en contact avec un fluide et que les échanges thermiques sont principalement convectifs, le refroidissement du système suit une exponentielle décroissante de limite tendant vers la température extérieure.