

BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

**Épreuve pratique de l'enseignement de spécialité physique-chimie
Évaluation des Compétences Expérimentales**

Cette situation d'évaluation fait partie de la banque nationale.

ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT

NOM :	Prénom :
Centre d'examen :	n° d'inscription :

Cette situation d'évaluation comporte **cinq** pages sur lesquelles le candidat doit consigner ses réponses. Le candidat doit restituer ce document avant de sortir de la salle d'examen.

Le candidat doit agir en autonomie et faire preuve d'initiative tout au long de l'épreuve.

En cas de difficulté, le candidat peut solliciter l'examineur afin de lui permettre de continuer la tâche.

L'examineur peut intervenir à tout moment, s'il le juge utile.

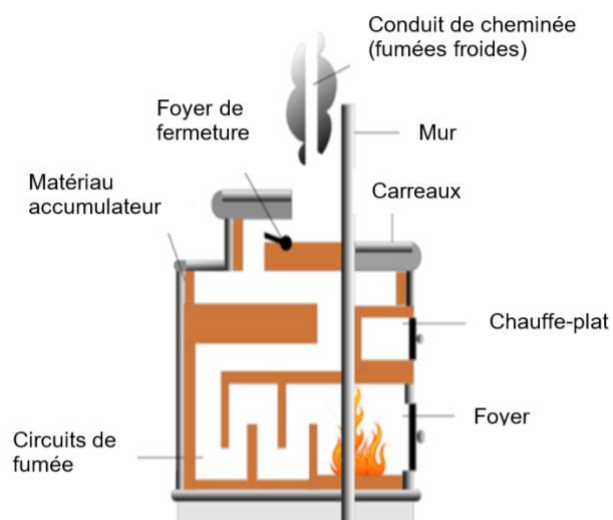
L'usage de calculatrice avec mode examen actif est autorisé. L'usage de calculatrice sans mémoire « type collège » est autorisé.

CONTEXTE DE LA SITUATION D'ÉVALUATION

Un « Kachelofen », four ou poêle de masse en carreaux de terre cuite vernissée, est un poêle typique d'Alsace et des pays germaniques. Il s'agit d'une construction massive adossée à un mur, souvent accompagnée d'une petite banquette pour s'asseoir, et dont le foyer est alimenté en combustible depuis une autre pièce. La fumée, guidée à l'intérieur, réchauffe la banquette et la pièce jusqu'à douze heures après l'extinction du combustible.



Kachelofen visible au château du Haut Koenigsbourg



L'objectif de cette situation d'évaluation est d'étudier un matériau susceptible d'accumuler l'énergie dans le Kachelofen, afin que le transfert thermique dure relativement longtemps.

INFORMATIONS MISES À DISPOSITION DU CANDIDAT

Principe d'un Kachelofe

▪ La flambée

Une flambée intense de plusieurs kilogrammes de bois s'effectue dans le foyer à très haute température.

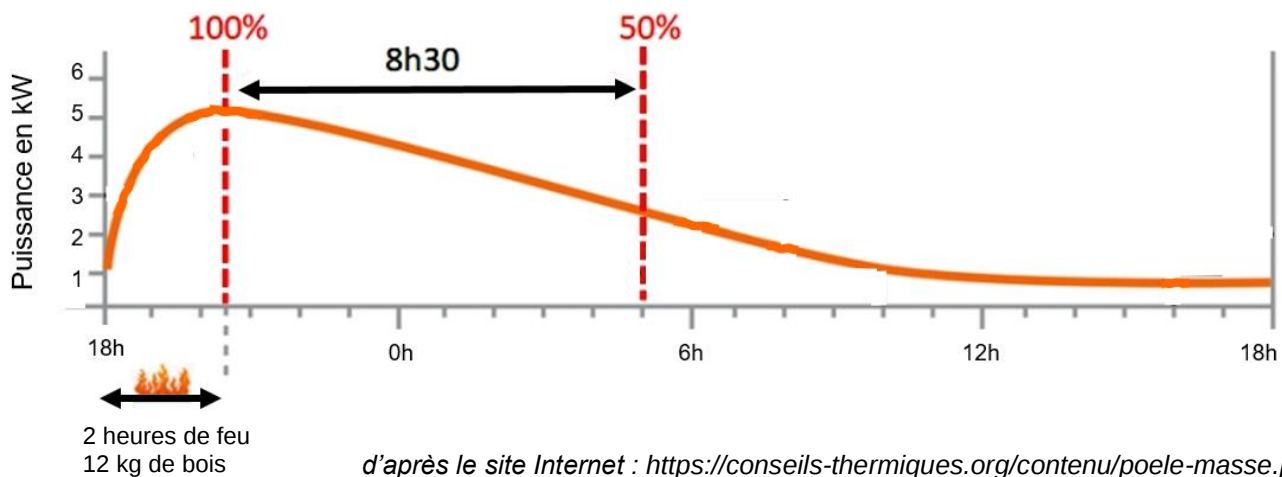
▪ Transfert thermique immédiat

Une partie de l'énergie thermique est diffusée directement dans la pièce pendant la flambée, par rayonnement à travers la vitre et, sur certains modèles, par convection à travers des grilles d'air chaud.

▪ Transfert thermique tardif

Les fumées chaudes parcourent un circuit interne, réchauffant ainsi des matériaux accumulateurs qui stockent alors de l'énergie. Ceux-ci restituent ensuite lentement cette énergie à l'extérieur sous forme de chaleur.

Exemple de durée de restitution d'un poêle de masse



d'après le site Internet : <https://conseils-thermiques.org/contenu/poele-masse.php>

Inertie thermique d'un matériau

Lorsqu'un matériau se trouve à l'équilibre thermique, sa température est fixe et les échanges d'énergie qu'il entretient avec son environnement sont équilibrés : il y a autant d'énergie reçue que d'énergie cédée. Si le matériau est soumis à une perturbation thermique, il évolue alors, plus ou moins rapidement, vers un nouvel état d'équilibre. Cette évolution est caractérisée par l'inertie thermique du matériau, elle-même quantifiée par deux grandeurs :

La diffusivité thermique : $D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$

Elle caractérise la rapidité avec laquelle l'énergie thermique se transmet à travers l'épaisseur d'un matériau lorsqu'une différence de température est imposée entre ses faces.

L'effusivité thermique :

$$E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$$

Plus elle est élevée, plus le matériau absorbe ou cède rapidement l'énergie thermique reçue à sa surface.

Avec :

- λ : la conductivité thermique du matériau en $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- ρ : masse volumique du matériau en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- c : la capacité thermique massique du matériau en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Données utiles

- Capacité thermique massique de l'eau : $c_{\text{eau}} = 4,18 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique du fer : $c_{\text{fer}} = 0,44 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Masse volumique du fer : $\rho_{\text{fer}} = 7,86 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$

TRAVAIL À EFFECTUER

1. Propriétés des matériaux du Kachelofe (5 minutes conseillées)

Lors de la fabrication d'un poêle de masse, on cherche un bon accumulateur, c'est-à-dire un matériau pour lequel la diffusivité est la plus basse possible et l'effusivité la plus élevée possible.

Que peut-on en conclure sur le produit de la capacité thermique massique par la masse volumique d'un matériau qui répondrait à ces critères ?

Produit de la capacité thermique massique par la masse volumique d'un matériau : $\rho \cdot c$

La diffusivité $D = \frac{\lambda}{\rho \cdot c}$ est inversement proportionnel à $\rho \cdot c$. Si on la souhaite la plus basse possible, il faut que $\rho \cdot c$ soit le plus grand possible.

L'effusivité $E = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c}$ est proportionnel à $\rho \cdot c$. Si on la souhaite la plus élevée possible, il faut que $\rho \cdot c$ soit le plus grand possible.

Ainsi, le produit de la capacité thermique massique par la masse volumique d'un matériau qui répondrait à ces critères doit être le plus grand possible.

APPEL facultatif		
	Appeler le professeur en cas de difficulté	

On se propose par la suite de déterminer expérimentalement la masse volumique et la capacité thermique massique de morceaux de céramique.

2. Détermination de la masse volumique du matériau en céramique (15 minutes conseillées)

2.1. Proposer un protocole expérimental qui permette de déterminer la masse volumique du matériau à tester, en utilisant une éprouvette graduée, une balance et de l'eau.

Pour trouver la masse, on pèse le matériau avec la balance.

Pour trouver le volume, on utilise la méthode de déplacement d'eau. On remplit une éprouvette avec de l'eau. On immerge ensuite le matériau. Le volume du matériau est la différence entre le volume final et le volume initial.

Pour trouver la masse volumique, on utilise la formule : $\rho = \frac{m}{V}$

APPEL n°1		
	Appeler le professeur pour lui présenter le protocole ou en cas de difficulté	

2.2. Mettre en œuvre le protocole proposé et noter le résultat obtenu.

On prend quelques morceaux de céramique. Voici les résultats obtenus expérimentalement (votre résultat sera différent) : $m = 54,4 \text{ g}$, $V = 26,5 \text{ mL}$

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{54,4}{26,5} = 2,05 \text{ g} \cdot \text{mL}^{-1} = 2,05 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$$

2.3. Peser les morceaux de céramique proposés. On notera cette masse m_2 . Plonger ensuite les morceaux de céramique dans un bain d'eau. Faire chauffer jusqu'à ébullition. Maintenir l'ébullition. En attendant, traiter la partie 3.

3. Détermination de la capacité thermique du calorimètre (20 minutes conseillées)

Mettre en œuvre le protocole suivant :

- Verser une masse d'eau $m_{eau} = 300$ g de capacité thermique massique c_{eau} à température ambiante dans un calorimètre de capacité thermique $C_{calorimètre}$.
- Attendre l'équilibre thermique et mesurer la température θ_i de l'eau.
- Faire chauffer de l'eau jusqu'à environ 90°C dans une bouilloire électrique. Prélever environ 200 g de cette eau chaude. Mesurer sa masse m_1 et sa température θ_1 puis l'introduire aussitôt dans le calorimètre.
- Fermer le calorimètre, attendre l'équilibre thermique et mesurer la température θ_f de l'eau.

Noter les mesures et les résultats obtenus :

$m_{eau} = 300$ g ; $\theta_i = 21,0^\circ\text{C}$; $m_1 = 200$ g ; $\theta_1 = 90,0^\circ\text{C}$; $\theta_f = 46,5^\circ\text{C}$ (votre résultat sera différent)

En établissant un bilan énergétique sur le système isolé {eau + calorimètre}, on obtient la relation :

$$m_1 \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_1) + m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i) + C_{calorimètre} \cdot (\theta_f - \theta_i) = 0$$

En déduire la valeur de la capacité thermique $C_{calorimètre}$ du calorimètre.

$$m_1 \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_1) + m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i) + C_{calorimètre} \cdot (\theta_f - \theta_i) = 0$$

$$C_{calorimètre} \cdot (\theta_f - \theta_i) = -m_1 \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_1) - m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i)$$

$$C_{calorimètre} = \frac{-m_1 \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_1) - m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i)}{(\theta_f - \theta_i)}$$

$$C_{calorimètre} = \frac{-200 \times 4,18 \times (46,5 - 90,0) - 300 \times 4,18 \times (46,5 - 21,0)}{(46,5 - 21,0)}$$

$$C_{calorimètre} = 172 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ (Votre résultat sera différent)}$$

APPEL n°2		
	Appeler le professeur pour lui présenter les mesures ou en cas de difficulté	

4. Détermination de la capacité thermique du matériau en céramique (15 minutes conseillées)

Mettre en œuvre le protocole suivant :

- Verser une masse d'eau $m_{eau} = 500$ g de capacité thermique massique c_{eau} à température ambiante dans un calorimètre de capacité thermique $C_{calorimètre}$.
- Attendre l'équilibre thermique et mesurer la température θ_i de l'eau.
- Ajouter les morceaux de céramique de masse m_2 de capacité thermique massique inconnue c_2 chauffés à la température θ_2 dans le bain d'eau bouillante.
- Fermer le calorimètre, attendre l'équilibre thermique et mesurer la température θ_f de l'eau.

Noter les mesures et les résultats obtenus.

$m_{eau} = 500$ g ; $\theta_i = 21,0^\circ\text{C}$; $m_2 = 67,1$ g ; $\theta_2 = 95,3^\circ\text{C}$; $\theta_f = 23,9^\circ\text{C}$.

En établissant un bilan énergétique sur le système isolé {eau + calorimètre + céramique}, on obtient la relation :

$$m_2 \cdot c_2 \cdot (\theta_f - \theta_2) + m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (\theta_f - \theta_i) + C_{calorimètre} \cdot (\theta_f - \theta_i) = 0$$

La capacité thermique massique de l'échantillon peut alors être obtenue par la relation :

$$c_2 = \frac{[m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} + C_{\text{calorimètre}}] \cdot (\theta_f - \theta_i)}{m_2 \cdot (\theta_2 - \theta_f)}$$

En déduire la capacité thermique massique du matériau à disposition.

$$c_2 = \frac{[m_{\text{eau}} \cdot c_{\text{eau}} + C_{\text{calorimètre}}] \cdot (\theta_f - \theta_i)}{m_2 \cdot (\theta_2 - \theta_f)}$$

$$c_2 = \frac{[500 \times 4,18 + 172] \times (23,9 - 21,0)}{67,1 \times (95,3 - 23,9)}$$

$$c_2 = 1,37 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \text{K}^{-1}$$

APPEL n°3		
	Appeler le professeur pour lui présenter les mesures ou en cas de difficulté.	

5. Exploitation des résultats (5 minutes conseillées)

À l'aide des résultats obtenus, indiquer si le matériau testé est un meilleur accumulateur que le fer.

Calculons le produit de la capacité thermique massique par la masse volumique d'un matériau : $\rho \cdot c$ de ces deux matériaux.

$$\rho_{\text{fer}} \times c_{\text{fer}} = 7,86 \times 0,44 = 3,5 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \text{K}^{-1}$$

$$\rho_2 \times c_2 = 2,05 \times 1,37 = 2,81 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-3} \text{K}^{-1}$$

Le produit de la capacité thermique massique par la masse volumique d'un matériau qui répondrait à ces critères doit être le plus grand possible.

$\rho_{\text{fer}} \times c_{\text{fer}} > \rho_2 \times c_2$: Ainsi, le fer est un meilleur accumulateur que notre céramique.

APPEL FACULTATIF		
	Appeler le professeur en cas de difficulté	

Défaire le montage et ranger la pailasse avant de quitter la salle.