

Comment un matériau accumule-t-il de l'énergie ?

CONTEXTE DU SUJET

Vous êtes stagiaire dans un bureau d'étude thermique du bâtiment.
Votre maître de stage travaille sur un projet de maison construite à partir de matériaux à accumulation d'énergie.
Dans le cadre du stage et parce qu'il connaît la réputation de votre formation, il n'hésite pas à vous confier une partie de l'étude et vous demande d'étudier les documents fournis puis de réaliser une expérience pour répondre à la problématique. A vous d'être un bon stagiaire !
Voici votre sujet de stage :

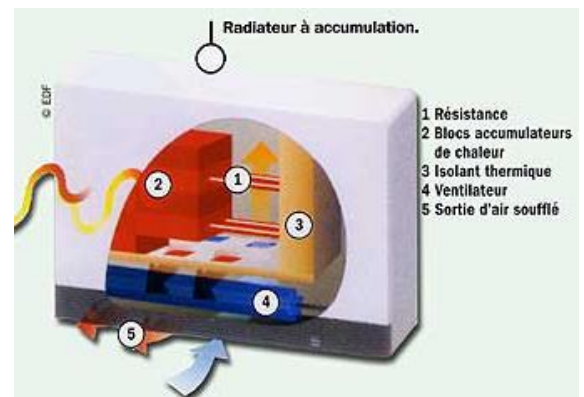


Sujet de stage : Comparaison du « pouvoir » accumulateur d'énergie de différents matériaux pour une éventuelle utilisation dans le cadre d'un radiateur à inertie.

QUELQUES DOCUMENTS

Document 1 : Principe de fonctionnement d'un radiateur à inertie

Un radiateur à inertie est un radiateur contenant un matériau chauffé par le courant électrique pendant les heures creuses d'EDF (en particulier pendant la nuit) et qui se refroidit ensuite progressivement en restituant sa chaleur à la pièce dans la journée. Plus la quantité d'énergie thermique accumulée et stockée pendant la nuit est grande plus l'efficacité du système est grande.



Document 2 : 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 : $D = \frac{\lambda}{\rho \times c}$

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 :

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

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 $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Document 3 : Variation d'énergie interne et variation de température

Si je veux élever la température d'un liquide ou d'un solide, il faut que j'augmente son énergie interne en fournissant une certaine quantité d'énergie.

De quoi dépend la quantité d'énergie que je dois fournir ?

Elle dépend du matériau, de la masse du corps à chauffer et de la variation de température souhaitée, selon la formule :

$$Q = m \times c_{\text{matériau}} \times (T_f - T_i)$$

- T_i : température initiale (en °C ou en K)
- T_f : température finale
- m : masse de solide ou de liquide (en kg)
- Q = chaleur à fournir (en J)
- $c_{\text{matériau}}$: capacité thermique massique (en J. kg⁻¹.K⁻¹)

État	Liquide
Substance	eau
c (J. kg ⁻¹ .K ⁻¹)	4180

Pour le calorimètre, on peut écrire :

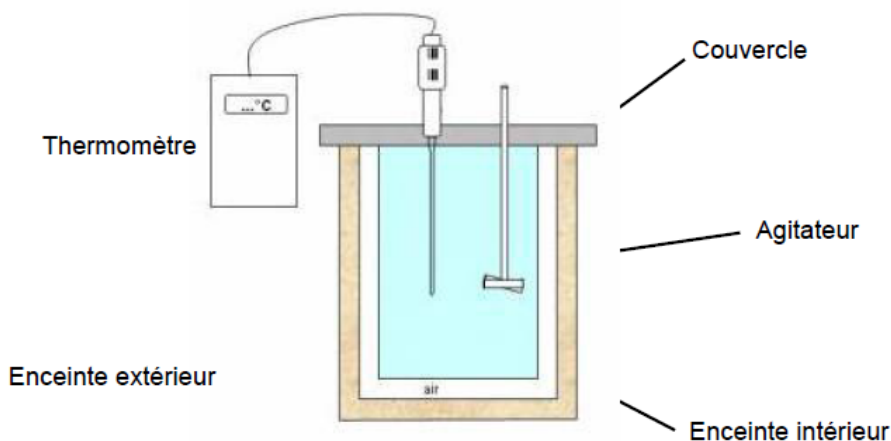
$$Q = C_{\text{calorimètre}} \times (T_f - T_i)$$

- $C_{\text{calorimètre}}$: capacité thermique du calorimètre (en J.K⁻¹)

La capacité thermique massique (symbole usuel c) est la capacité thermique d'un matériau rapportée à sa masse. C'est une grandeur qui reflète la capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique, pour une masse donnée, quand sa température augmente. Une grande capacité thermique signifie qu'une grande quantité d'énergie peut être stockée, moyennant une augmentation relativement faible de la température.

Document 4 : Principe d'un calorimètre

Le calorimètre est un appareil destiné à mesurer les échanges d'énergie thermique. Cet échange peut se produire entre plusieurs corps, mettre en jeu des changements d'état ou des réactions chimiques.



Le calorimètre constitue un système thermodynamique isolé, ce qui implique qu'il n'y a pas d'échange de matière et d'énergie avec le milieu extérieur.

Néanmoins, cela ne signifie pas qu'il n'y a pas d'échange d'énergie thermique entre les différentes parties de l'ensemble calorimétrique (composés objets de l'étude, accessoires et paroi du calorimètre...).

Un calorimètre est une enceinte fermée et thermiquement isolée du milieu extérieur. Ainsi les objets placés dans le calorimètre peuvent échanger l'énergie thermique entre eux mais pas avec l'extérieur. **Par conséquent la somme des énergies échangées dans un calorimètre est nulle.**

Document 5 : Matériel disponible et données

1 calorimètre (de capacité thermique $C_{\text{calo}} = \dots\dots\dots \text{J.K}^{-1}$, 1 balance, 1 morceau de PVC, de fer, de cuivre ou d'aluminium placé dans un cristalliseur d'eau bouillante ; 1 pissette d'eau ; 1 thermomètre ; 1 éprouvette graduée de 250 mL

ANALYSER ET S'APPROPRIER

Votre sujet de stage consiste en la recherche d'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 ?



On se propose par la suite de déterminer expérimentalement la masse volumique et la capacité thermique massique des différents matériaux mis à disposition.

REALISER

Détermination de la masse volumique

Proposer puis mettre en œuvre un protocole pour déterminer la masse volumique du matériau qui vous a été confié. Noter le résultat obtenu.



Vous regrouperez vos résultats sous la forme d'un tableau :

État	Solide			
Matériau	Aluminium	Cuivre	Fer	PVC
$\rho \text{ (kg.m}^{-3}\text{)}$				

Plonger le matériau étudié dans un bain d'eau en ébullition. Maintenir l'ébullition. En attendant, traiter la suite.

Détermination de la capacité thermique du calorimètre :

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 $T_i = \dots\dots\dots$ de l'eau.
- Faire chauffer de l'eau jusqu'à environ 90°C à l'aide de la bouilloire.
- Prélever environ 200 g de cette eau chaude. Mesurer sa masse exacte $m_1 = \dots\dots\dots$ et sa température $T_1 = \dots\dots\dots$ puis l'introduire aussitôt dans le calorimètre.
- Fermer le calorimètre, attendre l'équilibre thermique et mesurer la température $T_f = \dots\dots\dots$ de l'eau.

➔ Faire un bilan énergétique sur le système isolé {eau + calorimètre} puis démontrer la relation :

$$m_1 \cdot c_{eau} \cdot (T_f - T_1) + m_{eau} \cdot c_{eau} \cdot (T_f - T_i) + C_{calorimètre} \cdot (T_f - T_i) = 0$$

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



Détermination de la capacité thermique du matériau :

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 $T_i = \dots\dots\dots$ de l'eau.
- Ajouter le matériau étudié de masse $m_2 = \dots\dots\dots$ de capacité thermique massique inconnue c_2 chauffé à la température $T_2 = \dots\dots\dots$ dans le bain d'eau bouillante.
- Fermer le calorimètre, attendre l'équilibre thermique et mesurer la température $T_f = \dots\dots\dots$ de l'eau.

ANALYSER

Vous regrouperez vos résultats sous la forme d'un tableau :

État	Solide			
Matériau	Aluminium	Cuivre	Fer	PVC
T_1				
T_2				
T_{finale}				
$m_{\text{solide}}(\text{g})$				
$m_{\text{eau}}(\text{en g})$				

1. Écrire les formules permettant de calculer le transfert thermique Q_{eau} transféré à l'eau et le transfert thermique Q_{calo} au calorimètre et Q_{solide} .
2. Faire un bilan énergétique sur le système isolé {eau + calorimètre + matériau}. En déduire la relation littérale permettant de calculer c_2 et calculer sa valeur numérique. Compléter le tableau ci-dessous et commenter

État	Solide			
Substance	Aluminium	Cuivre	Fer	PVC
$C_2 = C_{\text{expérimental}}$ ($\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$)				
$C_{\text{théorique}}(\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1})$	897	385	460	1004

VALIDER

A vous de répondre à votre maître de stage. Lequel des matériaux précédents peut stocker le plus d'énergie ? Vous justifierez à l'aide de calculs judicieux ...