



Chapitre E1. Transferts thermiques et énergie interne

Activité 1 : Une nouvelle forme d'énergie... mécanique ou pas mécanique ?

1. La perception ressentie lorsqu'on touche un objet chaud (par exemple à 60°C) avec la main peut-elle être interprétée par un transfert d'énergie ? Si oui, de quel type ; si non, pourquoi ?
2. Prendre parti (en donnant au moins un argument) pour l'un des deux élèves de TS ci-dessous qui viennent de sortir un gâteau du four:

Jean : Ce qui est bien avec le four c'est que même lorsque tu l'éteins il continue à te fournir l'énergie qu'il a emmagasiné ;

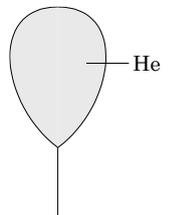
James : Non ce n'est pas possible, il ne peut pas te fournir de l'énergie juste parce qu'il est chaud puisqu'en physique on a vu que l'énergie stockée était soit cinétique soit potentielle !

Jean : Qui te dit que cette énergie n'est ni cinétique ni potentielle ?

On considère maintenant un ballon gonflé à l'hélium, attaché à une ficelle dans une maison. On suppose que l'hélium peut être décrit à l'aide du modèle du gaz parfait (document ❶).

3. Mettre une croix dans les cases qui vous paraissent pertinentes :

	possède de l'énergie cinétique	possède de l'énergie potentielle
Le système « ballon »		
Le système « un atome d'hélium » dans le ballon		

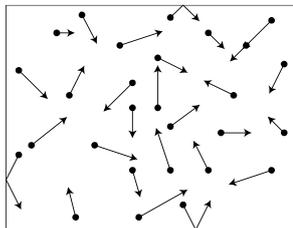


4. Si la température de l'hélium augmente à l'intérieur du ballon :
 - comment évolue l'énergie cinétique du système ballon ?
 - comment évolue l'énergie cinétique moyenne des atomes d'hélium dans le ballon ?
5. Parmi les grandeurs $\langle e_c \rangle$ et T du document ❷, l'une décrit le gaz à l'échelle microscopique et l'autre le décrit à l'échelle macroscopique. Identifier chacune de ces deux grandeurs.

DOCUMENT ❶ : le modèle du gaz parfait

Le gaz parfait est un modèle qui décrit avec une bonne précision les gaz dont la pression est faible. Ce modèle suppose que :

- Le gaz est constitué d'entités réparties uniformément dans l'espace disponible, en mouvement désordonné.
- Chaque entité est ponctuelle.
- Les entités n'interagissent pas entre elles, sauf au moment de leurs collisions.
- Les entités n'interagissent pas avec l'extérieur.



DOCUMENT ❷ : la température absolue du gaz parfait

La température est une grandeur macroscopique qui donne une information sur l'agitation thermique des entités.

Le modèle du gaz parfait permet de définir la température ainsi :

On note $\langle e_c \rangle$ l'énergie cinétique moyenne des entités qui constituent le gaz. La température T est telle que :

$$\langle e_c \rangle = \frac{3}{2} \frac{R}{N_A} T$$

avec

- $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$: constante du gaz parfait
- $N_A = 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$: constante d'Avogadro
- T : température absolue en kelvin K.

Lire le § A1 du modèle.



Activité 2 : l'énergie sous toutes ses formes...

Dans chacune des situations ou objets proposés ci-dessous, de l'énergie est stockée (le système qui stocke est souligné).

Attribuer chaque représentation à une forme de stockage, en collant les vignettes au bon endroit ou en indiquant le numéro.

	1. Du <u>vent</u> fait tourner une éolienne.		2. Un ballon est rempli d' <u>hélium</u> .
	3. Un bidon est rempli d' <u>essence</u> .		4. Un <u>plongeur</u> s'apprête à sauter d'un plongoir de 10 m.
	5. Un <u>radiateur</u> chauffe une pièce.		6. Un <u>cycliste sur son vélo</u> se déplace à vitesse constante sur une route horizontale.
	7. De l' <u>eau</u> est retenue dans un barrage.		8. Un stère de <u>bois</u> est rangé devant un chalet.

	Cinétique	Potentielle
Énergie macro		
Énergie micro		
Énergie interne		

Pour aller plus loin...

Proposer une situation de stockage un peu plus complexe pour laquelle au moins deux formes d'énergie sont stockées : décrire la situation et indiquer ces formes



Activité 3 : Différentes façon de faire varier l'énergie interne d'un système

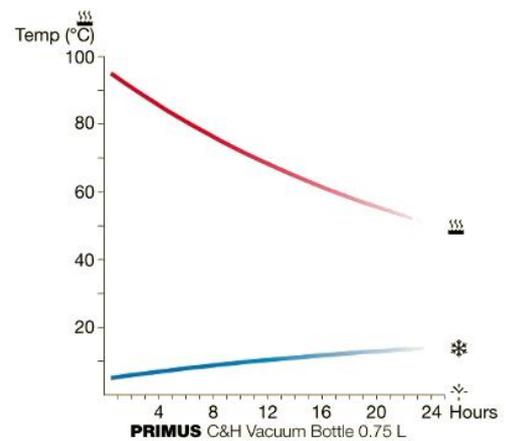
Pour chacune des affirmations suivantes, proposer un exemple de situation courante :

L'énergie interne d'un système peut être augmentée par travail mécanique .	
L'énergie interne d'un système peut être augmentée par transfert électrique .	
L'énergie interne d'un système peut être augmentée par transfert thermique sans que cela se traduise par une variation de la température du système.	

Activité 4 : Zoom sur différents modes de transferts thermiques

Lire le § B du modèle

- On verse de l'eau chaude dans de l'eau froide dans un thermos (on peut alors considérer le mélange comme isolé). Compléter la chaîne ci-contre qui décrit le phénomène ayant lieu. 
- Pourquoi deux volumes d'eau de températures différentes se mélangent-ils plus vite que si on fait le mélange avec deux volumes de même température ?
- Donner deux interprétations au fait que de l'eau chaude présente dans un thermos isolé de l'extérieur par une zone de vide (schéma ci-contre à gauche) finisse tout de même par se retrouver à température ambiante (courbe du haut sur la figure ci-contre à droite).



Activité 4 suite - Lire les § C1 et C2 du modèle

- Dans chacune des situations suivantes, indiquer par quel mode, parmi la conduction, la convection et le rayonnement, l'énergie est majoritairement transférée vers chacun des milieux proposés. Préciser la nature du milieu si celui-ci n'est pas indiqué.

Situation	Système	Mode de transfert
① Un chauffe-eau solaire permet de chauffer un circuit d'eau pour le chauffage d'une maison.	Eau	
② Les résistances chauffantes dont est muni un four assurent la cuisson du poulet placé à l'intérieur.	L'air dans le four	
③ Ce même poulet pourra être réchauffé à l'aide d'un four à micro-ondes.	Poulet	
④ Faire bouillir de l'eau dans une casserole. Plonger ensuite des pommes de terre pour les cuire.	Métal de la casserole	
	Eau de cuisson	
	Pommes de terre	
⑤ Il est possible de cuire un gâteau avec un four solaire.	Gâteau	

- Dans un self, pourquoi est-il absurde, énergétiquement, de poser les canettes initialement à température ambiante sur une plaque réfrigérée pour les refroidir ?
- Marre d'avoir chaud l'été : vous installez des climatiseurs. Vous les mettez plutôt en haut ou plutôt en bas ?



Activité 5 : Comparaison de la conductivité thermique de trois métaux.

Lorsqu'on utilise un grand récipient, par exemple pour faire des confitures, on a besoin que le récipient ait rapidement une température uniforme : il doit assurer un bon transfert thermique par conduction.



Problème expérimental à résoudre

Avec le matériel dont vous disposez, proposer une expérience permettant de comparer la capacité des trois métaux disponibles à assurer le transfert thermique par conduction, sans faire appel à votre perception par le toucher. Faire un schéma de l'expérience proposée.

Matériel disponible : 3 ou 4 plaques métalliques (fer, zinc, cuivre, aluminium éventuellement), un grand bécber, une bouilloire pour faire chauffer de l'eau, une bougie (qui ne sert pas à chauffer mais à déposer de la cire).

Appeler le professeur

Après validation éventuelle, réaliser l'expérience et noter les résultats expérimentaux et en particulier le récipient que vous préconisez pour la bassine à confiture... et celui que vous préconisez pour les poignées !

Activité 6 : Mesure de la capacité thermique d'un matériau

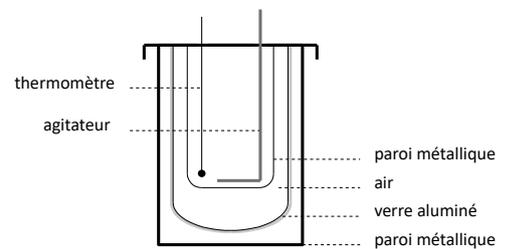
On peut, en plongeant un matériau de masse connue préalablement chauffé dans une eau à température ambiante située dans un calorimètre, déterminer la capacité thermique de ce matériau : ceci permet de savoir si ce matériau stocke beaucoup d'énergie interne pour une élévation de température donnée et une masse donnée.

Document : le calorimètre à vase Dewar

Le calorimètre à vase Dewar est une enceinte conçue pour que son contenu échange le moins d'énergie possible avec l'extérieur. Ci-contre est donné le schéma du meilleur calorimètre disponible en classe (ce n'est pas celui posé sur les paillasses). Le calorimètre idéal est un modèle qui suppose nul tout transfert thermique entre le système {calorimètre + contenu} et l'extérieur.

La capacité thermique du calorimètre à vase Dewar de marque « Pierron » est $C_{dewar} = 61,4 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$

La capacité thermique des calorimètres utilisés vaut approximativement $C_{calo} \approx 0,25 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1}$: c'est l'équivalent d'une masse de 60 g d'eau !



Données : capacité thermique massique de l'eau : $c_{eau} = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Matériel disponible :

Échantillon d'un matériau, calorimètre, thermomètre, balance, éprouvette graduée, bécber, bain réfrigérant, potence.

Principe de la mesure et étude préalable

On va plonger un matériau de masse m initialement très froid (température T_M) dans de l'eau (masse m_E) à température ambiante (noté T_i) situé dans un calorimètre également à température ambiante. On plonge le matériau dans l'eau et on attend que la température se stabilise (valeur notée T_f).

- T_f sera-t-elle plus grande ou plus petite que T_i ?
- U_{tot} désigne l'énergie interne du système {calorimètre + contenu}. Si on suppose que le calorimètre n'échange pas d'énergie avec l'extérieur, que vaut la variation ΔU_{tot} de l'énergie interne du système ?
- On décompose le système en trois sous-systèmes : le calorimètre, l'eau et le matériau. L'énergie interne du système peut alors s'écrire $U_{tot} = U_{cal} + U_{eau} + U_m$. En déduire l'expression de la variation de l'énergie interne ΔU_{tot} .
- Exprimer chacun des termes de variation en fonctions des capacités thermiques et des températures.
- En déduire l'expression de la capacité thermique de l'échantillon notée C_M .

Protocole

- ▷ Déterminer la masse m du matériau choisi, puis placer le matériau dans le bain réfrigérant eau/glace (température T_M) 20 min minimum
- ▷ Prendre de l'eau distillée à température ambiante puis peser avec précision une masse d'eau de l'ordre de 400 g : noter sa valeur m_E
- ▷ Introduire l'eau dans le calorimètre, fermer avec le couvercle, noter la valeur de la température initiale T_i .
- ▷ Introduire le matériau dans l'eau du calorimètre, le maintenir avec la potence (il ne doit toucher ni le fond ni les parois latérales), agiter régulièrement mais de façon modérée. Noter l'évolution de la température jusqu'à stabilisation. Noter la température finale T_f .

Résultats

- Calculer la capacité thermique de l'échantillon C_M .
- En déduire la valeur de la capacité thermique massique du matériau utilisé.
- Comparer à la valeur théorique indiquée ci-contre.

m	m_E	T_i	T_f	T_M

Matériau	Capacité thermique massique $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
aluminium	897
zinc	380
fer	444
laiton	377
cuivre	385
brique	840



Activité 7 : Construction raisonnée d'une maison

Sensibles à la nécessaire réduction des émissions des gaz à effet de serre autant qu'à l'économie financière réalisée, les particuliers désireux de faire construire leur maison d'habitation s'orientent de plus en plus vers l'écoconstruction. Pour maîtriser au mieux la dépense énergétique, plusieurs points de vigilance sont à considérer : l'isolation, la ventilation, la qualité des ouvertures et la maîtrise des ponts thermiques (endroits du bâtiment où la chaleur s'échappe plus vite). On utilisera les paragraphes A2 et C3 du modèle

Document ① Isolation et chauffage

L'étude porte sur une maison, sans étage et de surface habitable 68 m², dont l'isolation du sol, des murs extérieurs et des combles (espaces sous la toiture) est prévue selon les données du tableau suivant :

	Surface (m ²)	Matériaux	Épaisseur (cm)	Conductivité thermique λ (W.m ⁻¹ .K ⁻¹)	Résistance thermique (S.I.)
Sol	70	mortier chaux	25	0,17	0,021
Vitres	15	triple vitrage verre/air	3,6	0,023	0,10
Combles (espaces sous la toiture)	79	gypse / cellulose	1,3	0,35	0,053
		granulé de chanvre	20	0,048	
Murs extérieurs	85	enduit plâtre	1,5	0,50	
		briques plâtrières	5,0	0,80	
		panneaux liège expansé	6,0	0,040	
		brique creuse standard	20	0,60	
		enduit sable/chaux	2,5	1,05	

Document ②

Définition d'une maison passive

On dit d'une maison qu'elle est passive lorsque ses besoins en chauffage sont inférieurs à 15 kWh par m² habitable et par an contre 250 à 300 kWh par m² habitable et par an en moyenne pour les besoins en chauffage d'un bâtiment classique.

1 kWh correspond à 3,6 MJ.

D'après le site <http://fr.ekopedia.org>

Document ③ : Notion de résistivité thermique

La résistance thermique définie au § C3 dépend non seulement du matériau qui constitue l'objet considéré mais aussi de sa forme.

Sa résistivité thermique r_{th} est une grandeur qui ne dépend que du matériau : c'est l'inverse de la conductivité thermique λ . Dans le cas d'une paroi plane, la résistivité thermique r_{th} est liée à la résistance thermique R_{th} par :

$$R_{th} = r_{th} \frac{e}{S} = \frac{e}{S \cdot \lambda}$$

- ▷ e : épaisseur de la paroi
- ▷ S : surface traversée par le flux thermique.
- ▷ λ : conductivité thermique

En pratique, une paroi est constituée de plusieurs couches de matériaux d'épaisseur et de conductivité différentes. Dans ce cas, les résistances thermiques de chaque couche s'additionnent

1. Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité d'une résistance thermique.
2. Pour une surface donnée à isoler, expliquer qualitativement dans quel sens doivent évoluer les caractéristiques d'une paroi pour augmenter l'isolation de l'habitation. Donner des exemples de choix de matériaux pour les murs extérieurs.
3. Calculer la résistance thermique des murs extérieurs R_m , en précisant l'unité.
4. On souhaite remplacer le matériau isolant des combles tout en conservant la même résistance thermique. Quelle devrait être la valeur de l'épaisseur d'une couche de laine de verre de conductivité thermique $\lambda_{lv} = 0,038 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$? On suppose que l'on utilise uniquement ce matériau.
5. Dans la région où est prévue la construction de la maison, la température extérieure moyenne du sol en hiver est d'environ 10°C et celle de l'air extérieur, 4°C.
Un poêle à bois maintient la température intérieure de la maison constante à $T_i = 19^\circ\text{C}$.
Pendant une journée, les valeurs des transferts thermiques sont alors :
 - pour les murs extérieurs : $Q_m = 56 \text{ MJ}$;
 - pour le sol : $Q_s = 37 \text{ MJ}$;
 - pour les vitres : Q_v ;
 - pour les combles : $Q_c = 24 \text{ MJ}$.
 - 5.1. Préciser le sens dans lequel s'effectuent spontanément les transferts thermiques et donc les signes des transferts algébriques entrant.
 - 5.2. Donner la valeur de la variation d'énergie interne de la maison pendant une journée, puis exprimer cette valeur en faisant un bilan énergétique de la maison.
 - 5.3. À partir de la définition du flux thermique, exprimer puis calculer Q_v .
 - 5.4. En déduire la valeur de la chaleur fournie par un poêle à bois pendant une journée.
6. Dans ces conditions, si, par an, la période de chauffage dure 100 jours, peut-on considérer la maison comme passive ?



Activité 8 : Transferts thermiques et situations courantes : comment utiliser les concepts de résistance thermique, conductivité thermique, capacité thermique ?

Pour cette activité, vous disposez du § C3 du modèle ainsi que du document ③ de l'activité précédente et du document ci-contre.

Les affirmations ci-dessous correspondent à des observations courantes mais parfois décrites dans la vie quotidienne à l'aide d'expressions incorrectes du point de vue de la physique (expressions entre guillemets).

Pour chacune de ces affirmations, rédiger en dessous une justification utilisant les notions vues dans ce chapitre. Chaque réponse doit mentionner **au moins un mode de transfert d'énergie** et **citer au moins une information extraite des documents**. Les citations entre guillemets devront être reformulées.

Document : Ne pas confondre capacité et conductivité thermiques

Matériau	Capacité thermique massique $J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$	Conductivité thermique λ $(W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1})$
verre	720	1,2
laine	1500	0,05
acier	444	80
fonte	540	100
air	1004	0,026
caoutchouc	1200	0,38

1	une vitre assure une isolation thermique d'autant plus efficace que la vitre est épaisse.	
2	L'air serait parfait pour isoler les murs si on pouvait le figer à l'intérieur...	
3	Les secouristes, afin d'éviter qu'une victime n'entre en hypothermie, enveloppent celle-ci d'une couverture de survie	
4	un duvet en plume est « très chaud » car il emprisonne beaucoup d'air.	
5	Si on touche la partie métallique du guidon d'un Vélo'V « on a bien plus froid » que si on touche les poignées en caoutchouc. → La température du guidon est-elle la même partout (le Vélo'V étant en station depuis quelques heures...)? → Quel phénomène est responsable de la sensation « de froid » lorsque l'on touche le guidon ?	
6	un plat est gardé au chaud plus longtemps lorsqu'il est placé dans une cocote en fonte que dans une cocote en acier.	

Pour s'entraîner Isolation thermique dans l'habitat : Activité pages 416 et 417.



Exercice II fait trop chaud, j'ouvre mon réfrigérateur...

Document ① : bilan énergétique de machines frigorifiques

En été, lorsqu'on sert un verre de soda glacé, la boisson se réchauffe car l'air qui l'entoure lui cède de la chaleur et se refroidit. Le transfert thermique se fait spontanément du système dont la température est la plus élevée vers celui dont la température est la plus basse. À cette saison, on n'observera jamais le phénomène inverse, c'est-à-dire le verre se refroidir de lui-même en cédant de l'énergie au milieu extérieur.

Seules les machines frigorifiques effectuent le transfert thermique inverse (Fig. 1) au prix de deux transferts énergétiques supplémentaires. Ce sont des machines thermiques dites cycliques, basées sur des successions de vaporisations et de liquéfactions d'un ou plusieurs fluides frigorigènes.

Dans une telle machine cyclique, la variation d'énergie interne ΔU du système {fluide frigorigène} est nulle au terme de chaque cycle.

Le réfrigérateur est une machine frigorifique qui, à l'aide d'un fluide frigorigène, extrait par transfert thermique l'énergie Q_f d'un milieu à basse température (l'intérieur du réfrigérateur) pour rejeter l'énergie Q_c vers un milieu à plus haute température (l'air de la pièce), en consommant une quantité de travail W_c délivré par le réseau électrique.

Les fluides frigorigènes utilisés sont généralement les hydrofluorocarbones (HFC). Ils ont remplacé les chlorofluorocarbones (CFC), interdits depuis plusieurs années à cause de leur rôle dans la destruction de la couche d'ozone.

L'efficacité des réfrigérateurs est exprimée en terme de coefficient d'efficacité frigorifique (EER), défini par le rapport de l'énergie utile sur l'investissement requis.

Document ② : Extrait de chaîne énergétique décrivant le fonctionnement d'un réfrigérateur

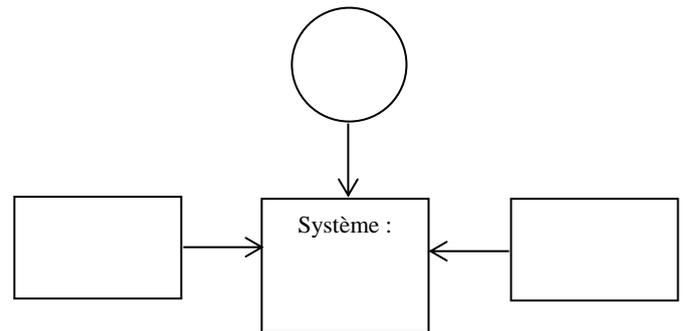
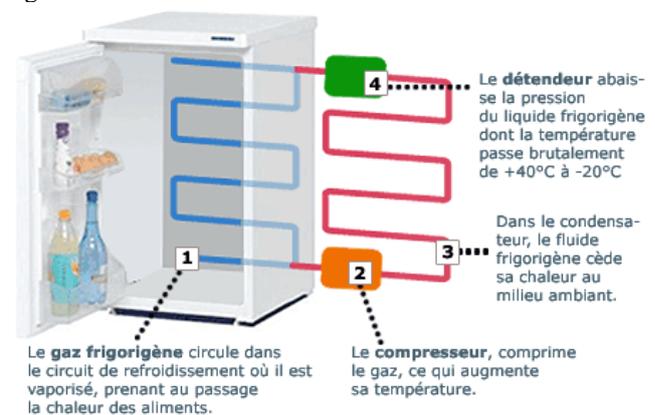


Figure 1



1. Quel est le système étudié dans cette étude énergétique sur les machines frigorifiques ?
2. a. Compléter le document ② en indiquant trois systèmes avec lesquels le système étudié est en interaction et en notant chaque transfert comme dans le document ① : Q_f , Q_c , et W (transfert par travail mécanique).
b. Indiquer sur le document le signe de chacun de ces transferts.
3. Exprimer la variation d'énergie interne en fonction des trois transferts indiqués.
4. Quels sont les différents états physiques du système au cours d'un cycle ? Les cycles étant périodiques, indiquer, en raisonnant sur un cycle, la relation entre les trois transferts ayant lieu pendant un cycle et traduire cette relation à l'aide d'une phrase.
5. Exprimer l'efficacité EER du réfrigérateur.
6. Expliquer pourquoi il ne faut pas espérer refroidir une pièce en laissant la porte du réfrigérateur ouverte.