

Chapitre 2

Énergie interne et transferts thermiques

Extrait de BO correspondant

Énergie, matière et rayonnement

Notions et contenus	Compétences exigibles
Du macroscopique au microscopique Constante d'Avogadro.	Extraire et exploiter des informations sur un dispositif expérimental permettant de visualiser les atomes et les molécules. Évaluer des ordres de grandeurs relatifs aux domaines microscopique et macroscopique.
Transferts d'énergie entre systèmes macroscopiques Notions de système et d'énergie interne. Interprétation microscopique. Capacité thermique. Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique. Résistance thermique. Notion d'irréversibilité. Bilans d'énergie.	Savoir que l'énergie interne d'un système macroscopique résulte de contributions microscopiques. Connaître et exploiter la relation entre la variation d'énergie interne et la variation de température pour un corps dans un état condensé. Interpréter les transferts thermiques dans la matière à l'échelle microscopique. Exploiter la relation entre le flux thermique à travers une paroi plane et l'écart de température entre ses deux faces. Établir un bilan énergétique faisant intervenir transfert thermique et travail.

Ce chapitre est relativement autonome dans la progression de terminale S. Il peut être cependant pertinent de le traiter plutôt dans la deuxième partie d'année, au début d'une séquence qui a pour thème, comme le suggère le programme, « Énergie, matière et rayonnement ». Il précéderait ainsi la partie consacrée à la quantique.

Durée prévue : environ une semaine et demie mais une seule séance de TP. Les activités expérimentales étant situées plutôt en fin de chapitre, il convient de commencer ce chapitre en classe entière durant trois heures.

Ce chapitre peut aussi être l'occasion de traiter une partie du programme figurant plus loin (dans la partie « Agir »).

Économiser les ressources et respecter l'environnement

Notions et contenus	Compétences exigibles
Enjeux énergétiques Nouvelles chaînes énergétiques. Économies d'énergie.	Extraire et exploiter des informations sur des réalisations ou des projets scientifiques répondant à des problématiques énergétiques contemporaines. Faire un bilan énergétique dans les domaines de l'habitat ou du transport. Argumenter sur des solutions permettant de réaliser des économies d'énergie.

Les activités proposées ici permettent de construire les connaissances et les capacités nécessaires à cette partie : une ou deux activités supplémentaires et intégrées à ce chapitre nous paraissent pouvoir y prendre place mais nous n'en proposons pas en tant que telles : les manuels scolaires en regorgent.

Quelques commentaires peuvent être insérés en bleu.

Les objectifs sont également indiqués en rouge mais le professeur pourra choisir de les laisser apparents pour l'élève, en les reformulant éventuellement.

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

L'énergie interne et son interprétation à l'échelle microscopique

► Objectifs :

- prendre conscience que la classification cinétique/potentielle n'est pas adaptée pour des situations courantes
- prendre conscience que microscopiquement, toute énergie peut effectivement être classée en cinétique ou potentielle
- Justifier la nécessité de l'énergie interne pour préserver le principe de conservation, ce qui est permis par le petit dialogue sur l'éventuelle contradiction entre la perte d'énergie d'un système qui refroidit sans ralentir ni perdre d'altitude (ne pas le dire ainsi aux élèves...).

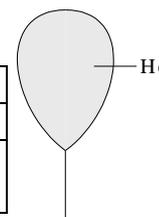
1. Rappeler les différents modes de transferts d'énergie vus en 1^{ère} S.
2. Rappeler les deux types d'énergie revus récemment dans le contexte de la mécanique.
3. La perception ressentie lorsqu'on touche un objet chaud (par exemple à 60°C) avec la main peut-elle être interprétée par un transfert d'énergie ? Si oui, de quel type ; si non, pourquoi ?
4. 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, immobile car attaché à une ficelle. On suppose que l'hélium peut être décrit à l'aide du modèle du gaz parfait (document 1).

5. 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		

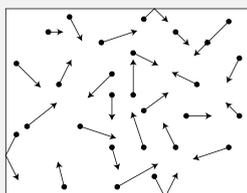


6. Si la température de l'hélium augmente à l'intérieur du ballon :
 - comment évolue l'énergie cinétique du système ballon ?
 - comment évolue l'énergie cinétique moyenne des atomes d'hélium dans le ballon ?
7. Parmi les grandeurs $\langle e_c \rangle$ et T du document 2 ci-dessous, l'une décrit le gaz à l'échelle microscopique et l'autre le décrit à l'échelle macroscopique. Identifier chacune de ces deux grandeurs.
8. On dit souvent que la constante d'Avogadro \mathcal{N}_A « fait le lien entre les échelles micro et macroscopique » : citer un autre cas où \mathcal{N}_A fait le lien entre ces deux échelles.

DOCUMENT 1 : 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 2 : 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. On note $\langle e_c \rangle$ l'énergie cinétique moyenne des entités qui constituent le gaz. La température T est telle que :

$$\langle e_c \rangle = \frac{3}{2} \frac{R}{\mathcal{N}_A} T$$

avec

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

L'activité est conclue par le prof en institutionnalisant l'énergie interne à l'aide d'un tableau à double entrée (voir Modèle)

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

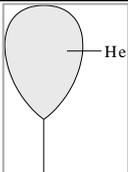
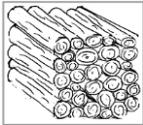
Contributions macroscopiques et microscopiques de l'énergie interne

► **Objectif :**

- Donner du sens au modèle de l'énergie interne nouvellement introduit et repérer les contributions cinétique et potentielle

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

1. Attribuer chaque représentation à une forme de stockage, en collant les vignettes au bon endroit ou en réécrivant dans le tableau.

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

	Cinétique	Potentielle
Énergie macro		
Énergie micro		
Énergie interne		

2. 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 : interprétation de transferts à l'aide du modèle

► **Objectif :**

- Se rappeler des différents modes de transferts vus en 1^{ère} S ;
 - Être capable de repérer des variations d'énergie interne par différents modes de transferts ;
- Alors que l'activité 2 est centrée sur les stockages, celle-ci s'intéresse aux transferts qui peuvent faire varier l'énergie interne.

Pour chacune des affirmations théoriques suivantes, proposer une situation courante correspondante.

Description théorique	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.	
Un apport d'énergie par transfert thermique augmente l'énergie interne mais ne se traduit pas forcément par une variation de la température du système.	

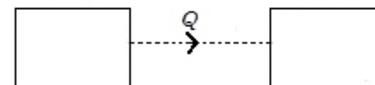
Activité 4 : Zoom sur différents modes de transferts thermiques

► **Objectif :**

- Distinguer clairement les différents modes de transferts thermiques
- Utiliser la représentation des transferts.

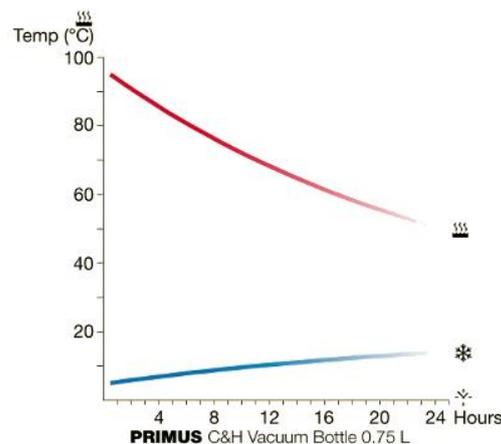
Lire le § B du modèle

1. On verse de l'eau froide sur de l'eau chaude dans un thermos (on peut alors considérer le mélange comme isolé). Compléter la chaîne ci-contre qui décrit le phénomène ayant lieu.



2. À votre avis, pourquoi les deux volumes d'eau se mélangent-ils plus vite que si on faisait le mélange avec deux volumes de même température ? Votre réponse doit faire intervenir une grandeur physique non citée dans la question.

3. Donner deux interprétation 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 de droite).



Lire les § C1 et C2 du modèle

4. 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.

Situation	Milieu	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 possible de cuire un gâteau avec un four solaire.	Gâteau	

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

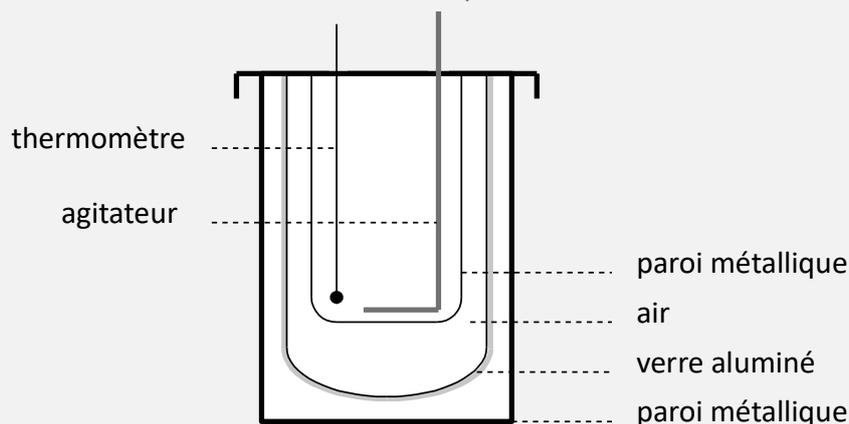
Activité 5 : le calorimètre échange-t-il de l'énergie avec son contenu ? avec l'extérieur ?

► Objectif :

- Faire des bilans quantitatifs de transferts thermiques.
- Porter un regard critique sur le rôle « idéal » d'un calorimètre à la fois en termes d'échanges avec son contenu que d'échanges avec l'extérieur.

DOCUMENT 1 : 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. Voici le schéma du calorimètre dont nous disposons :



Le calorimètre idéal est un modèle qui suppose nul tout transfert thermique entre le système {calorimètre + contenu} et l'extérieur.

Capacité thermique du calorimètre à vase Dewar :

Le calorimètre de marque « Pierron » indique la valeur :

$$C_{calo} = 61,4 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

PARTIE 1 – le calorimètre échange-t-il de l'énergie avec son contenu ?

Question préliminaire

(a) Nous allons faire l'expérience décrite ci-dessous. Si le calorimètre n'échange aucune énergie ni avec l'eau qu'il contient ni avec l'extérieur, que vaudra la température finale de l'eau, après le mélange ? Répondre intuitivement par une expression littérale en fonction de T_{EC} et T_{EF} , sans justifier, *avant de faire l'expérience*.

Expérience :

- ▷ Introduire dans un calorimètre une masse $m_{EC} = 100 \text{ g}$ d'eau chaude (chauffée, par exemple, à l'aide d'une bouilloire).
- ▷ Dans un bécher de 200 mL, préparer une masse $m_{EF} = 100 \text{ g}$ d'eau froide.
- ▷ Mesurer la température T_{EC} de l'eau chaude et la température T_{EF} de l'eau froide et immédiatement après, introduire l'eau froide dans le calorimètre.
- ▷ Fermer le calorimètre, agiter son contenu et dès que la température de son contenu s'est stabilisée, mesurer sa valeur finale T_f .

Exploitation des mesures

- (b) Montrer que la température obtenue est en accord avec le fait que le calorimètre échange de l'énergie avec son contenu. En particulier, analyser le signe de la différence $T_{f\text{mesurée}} - T_{f\text{prévue}}$.
- (c) D'après la constitution du calorimètre (voir document 1), laquelle de ses parois participe le plus aux échanges d'énergie avec l'eau ?

PARTIE 2 – le calorimètre échange-t-il de l'énergie avec l'extérieur ?

(d) Le calorimètre est conçu pour minimiser les transferts thermiques entre lui et son contenu d'une part, et l'extérieur d'autre part. En étudiant le schéma de votre calorimètre (document 1), indiquer quel type de transfert thermique est minimisé par :

- la couche d'air entre la paroi métallique et le verre aluminé ;
- le verre aluminé.

(e) U_{tot} désigne l'énergie interne totale du système {calorimètre + contenu}. Si on suppose le calorimètre idéal, que vaut la variation ΔU_{tot} de l'énergie interne du système ? Justifier à l'aide des documents.

(f) Pour étudier la transformation, on décompose le système en 3 sous-systèmes : le calorimètre, l'eau chaude et l'eau froide. L'énergie interne du système peut donc s'écrire :

$$U_{tot} = U_{calo} + U_{EC} + U_{EF}$$

Et la variation de son énergie interne peut s'écrire :

$$\Delta U_{tot} = \Delta U_{calo} + \Delta U_{EC} + \Delta U_{EF}$$

- En utilisant les mesures effectuées dans la première partie, calculer les valeurs expérimentales de ΔU_{calo} , ΔU_{EC} et ΔU_{EF} . En déduire celle de ΔU_{tot} .
- Comparer la valeur expérimentale de ΔU_{tot} à celle prévue en (e) et commenter l'éventuelle différence entre ces deux valeurs.
- Étudier le signe de ΔU_{tot} : dans quel sens le transfert thermique entre l'ensemble {calorimètre + contenu} et l'extérieur a-t-il lieu ?
- Pour savoir si les fuites thermiques du calorimètre sont « importantes », on peut calculer les quotients :

$$\frac{\Delta U_{tot}}{\Delta U_{calo}} \quad \frac{\Delta U_{tot}}{\Delta U_{EF}} \quad \frac{\Delta U_{tot}}{\Delta U_{EC}}$$

- Montrer finalement que ces calculs suggèrent que les échanges thermiques entre le calorimètre et l'extérieur sont « faibles » (on prendra bien soin de préciser le sens, ici, du mot « faible »).

Activité 6 : quel métal pour faire des confitures ?

Classement de différents métaux selon leur conductivité thermique

► Objectif :

- Proposer une expérience permettant de comparer les conductivités thermiques de quatre métaux et exploiter les résultats pour résoudre un problème concret.

Le matériel disponible est le suivant :

- Quatre plaques métalliques (aluminium, cuivre, fer, zinc) de même forme (épaisseur, largeur, longueur identiques)
- Un grand béccher (au moins 250 mL)
- Une bouilloire électrique (pour 2 ou 3 groupes)
- Une bougie, des allumettes

Les élèves doivent disposer une goutte de cire sur chacune des plaques (à une extrémité), attendre qu'elle durcisse bien, puis disposer verticalement au même instant les quatre autres extrémités dans de l'eau très chaude. L'ordre de fonte de la cire indique l'ordre de conductivité décroissante. Les élèves peuvent évidemment tâtonner et n'arrivent pas immédiatement à ce protocole. Le matériel peut évidemment être adapté. On pourra par exemple proposer des pinces pour tenir verticalement les plaques. Un nombre important d'élèves pensent que la bougie va constituer la source de chaleur. Le professeur pourra indiquer à ces élèves que ce n'est pas ici son rôle. Spontanément les élèves pensent utiliser leur main pour estimer la température. Une discussion pourra s'engager : il s'agit alors de faire comprendre que la main n'est pas un bon thermomètre puisque que la perception rend compte d'un transfert thermique (voir activité suivante).

Les conductivités à 20°C en $W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$ sont les suivantes : aluminium 237, cuivre 390, fer 80 (acier 46), zinc 116. La photo du récipient est évidemment donnée en noir et blanc mais le professeur aura intérêt à la projeter en fin d'activité en guise de validation des réponses.

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.

Avec le matériel dont vous disposez (et seulement avec ce matériel), proposer une expérience permettant de comparer la capacité des quatre métaux disponibles (aluminium, cuivre, fer, zinc) à assurer le transfert thermique par conduction, sans faire appel à votre perception par le toucher.

Après validation par le professeur, réaliser l'expérience et noter précisément 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 7 : comprendre quelques situations courantes

Mise en œuvre des concepts de résistance thermique, conductivité thermique, capacité thermique

Pour cette activité, vous disposez du § C3 du modèle ainsi que des deux documents ci-dessous.

DOCUMENT 1 : Notion de résistivité thermique

La résistance thermique 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

DOCUMENT 2 : quelques données

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
bois	1200-2700	0,11-0,35

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. Quelques questions intermédiaires sont éventuellement posées afin de guider l'argumentation

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.	

