

FICHE 1

Fiche à destination des enseignants

TS 21 Chauffer – Isoler

<i>Type d'activité</i>	<p><i>Démarche expérimentale</i></p> <p><i>Analyse de documents</i></p>	
	<p>Notions et contenus du programme de Terminale S</p> <p>Transferts thermiques : conduction, convection, rayonnement. Flux thermique. Résistance thermique.</p>	<p>Compétences exigibles du programme de Terminale S</p> <p>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.</p>
	<p>Compétences du préambule du cycle terminal</p> <p>Démarche scientifique Rechercher, extraire et organiser l'information utile Maîtriser les compétences langagières (français, LE)</p> <p>Approche expérimentale Proposer un protocole comprenant des expériences Analyser des mesures Faire preuve d'autonomie</p>	
	<p>Compétences relatives à « Extraire et exploiter des informations »</p> <p>Extraire Supports d'information Constructions graphiques</p> <p>Exploiter Exploitation qualitative Comparaison d'ordres de grandeur</p>	
<i>Commentaires sur l'exercice proposé</i>	<p>Cette activité illustre le thème « COMPRENDRE » Energie, matière, rayonnement et le sous thème Transfert d'énergie entre systèmes macroscopiques en classe de terminale S.</p>	
<i>Conditions de mise en œuvre</i>	<p>Durée : Performance thermique d'une enceinte, 2h en effectif allégé. Performance du dispositif de chauffage, 2h en classe entière.</p>	
<i>Pré requis</i>	<p>Première S :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Variation de température <i>et transformation physique</i> d'un système par transfert thermique. - Principe de conservation de l'énergie. - Puissance et énergie - Loi d'Ohm et effet Joule - Chaîne énergétique. - Puissance électrique - Couleur des corps chauffés (émission de rayonnement) - Interaction lumière / matière <p>Terminale S :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Système et énergie interne 	

Remarques

Performance thermique d'une enceinte

Page 2 : Fiche 2 à destination des élèves
Page 3 : Fiche 3 à destination du professeur

Performance du dispositif de chauffage

Page 6 : Fiche 4 à destination des élèves
Page 9 : Fiche 5 à destination du professeur

FICHE 2

Texte à distribuer aux élèves

TS 21 Chauffer – Isoler

Performance thermique d'une enceinte

Une habitation peut être considérée comme un système appartenant à une chaîne énergétique : le système reçoit de l'énergie par le biais d'un dispositif de chauffage et cède de l'énergie à l'extérieur par transfert thermique au travers des parois (murs, fenêtres, etc.)

Question 1

Sur un document qui sera intitulé « Performance thermique d'une enceinte », schématiser la chaîne énergétique citée ci-dessus.

Outre le système de chauffage, la performance énergétique d'une habitation dépend de son isolation : il faut minimiser les transferts thermiques vers l'extérieur.

La résistance thermique R_{th} d'une enceinte est une grandeur liée à son isolation : plus R_{th} est grande, meilleure est l'isolation. R_{th} s'exprime en fonction de la puissance thermique fournie par le système au milieu extérieur $P_{fournie}$, et de la différence de température entre l'intérieur et l'extérieur ($T - T_{ext}$).

Question 2

Parmi les deux définitions suivantes de la résistance thermique, une seule est correcte. Laquelle ? Justifier la réponse.

$$(1) R_{th} = \frac{T - T_{ext}}{P_{fournie}} \quad (2) R_{th} = \frac{P_{fournie}}{T - T_{ext}}$$

Donner l'unité de R_{th} dans le système international.

Aide : Comparer qualitativement les deux expressions pour une valeur fixée de $T - T_{ext}$.

L'habitation est modélisée par une boîte. Le système de chauffage est modélisé par un conducteur ohmique relié à un générateur de tension continue.

Question 3

Proposer une modélisation expérimentale permettant un suivi temporel de la température intérieure T ainsi qu'une mesure de la puissance reçue par le système $P_{reçue}$, provenant du dispositif de chauffage. Faire valider le protocole proposé par le professeur.

Question 4

Mettre en œuvre le protocole validé par le professeur. Sur le document « Performance thermique d'une enceinte » rédiger un bref compte rendu de l'expérience et présenter le graphe représentant les variations de la température T en fonction du temps t . Commenter le graphe obtenu.

Aide : Le graphe révèle un régime transitoire pour lequel la température du système varie, puis un régime permanent pour lequel la température ne varie plus.

Compléter le graphe en délimitant les zones correspondantes.

Question 5

Comment l'énergie interne U du système évolue-t-elle en régime transitoire, puis en régime permanent ? Indiquer cette évolution sur le graphe.

Question 6

En appliquant le principe de conservation de l'énergie **au système** étudiée, comparer, pour chaque régime, la **puissance reçue** $P_{\text{reçue}}$ de la part du dispositif de chauffage à la **puissance fournie** P_{fournie} au milieu extérieur. Porter le résultat de cette comparaison sur le graphe, pour chaque zone délimitée.

Question 7

Exploiter les résultats expérimentaux pour calculer R_{th} .

Question 8

De même que pour une habitation qu'on rénove, les performances thermiques de la boîte peuvent être améliorées. Proposer une manière d'améliorer les performances de la boîte. Réaliser l'expérience en appliquant ces modifications et compléter le document en consignnant les résultats obtenus.

Complément : (ajouté au compte rendu)

*Il n'y a pratiquement pas d'échange d'air entre l'intérieur de la boîte et l'extérieur. Le transfert thermique se fait donc au travers de la paroi, dans la matière. Ce mode de transfert est appelé : « **conduction** ».*

Transfert thermique par conduction

Lors d'un transfert thermique par conduction, l'agitation des constituants microscopiques de la matière se transmet de proche en proche, des zones chaudes vers les zones froides.

FICHE 3 :

à destination du professeur

TS 21 Chauffer – Isoler

Complément, commentaires et compte rendu attendu

Complément : Expériences sur la conduction

A l'extrémité d'une plaque de cuivre, on dépose l'extrémité inflammable d'une allumette sur un peu de soufre en poudre. On chauffe au bec bunsen l'autre extrémité de la plaque. Au bout de quelques minutes, le dépôt s'enflamme.

On peut montrer l'expérience avec une plaque de fer (de mêmes dimensions) et observer qu'il faut davantage de temps pour que le dépôt s'enflamme.

On peut également montrer que l'air est très mauvais conducteur relativement aux métaux en constatant qu'une fine lame d'air entre la plaque chauffée et une deuxième plaque sur laquelle se trouve le dépôt suffit à empêcher ce dernier de s'enflammer.

Cette dernière idée peut être étayée en observant la constitution d'un calorimètre : l'isolant thermique utilisé c'est... l'air.

On peut enfin comparer les conductivités thermiques de différents matériaux et envisager une discussion sur l'isolation thermique de l'habitat.

Commentaires

Choix du conducteur ohmique et de la tension du générateur

Il faut que la durée nécessaire à l'installation du régime permanent soit compatible avec l'horaire alloué. Cette durée dépend de la nature et des dimensions de l'enceinte, ainsi que de la puissance électrique transférée. Avec la boîte utilisée ici, une résistance d'environ 2Ω et une tension de 6 V permettent d'atteindre le régime permanent en une heure environ.

Mesures de températures

Il faut fixer la position du thermomètre à l'intérieur de la boîte car la forte convection génère des écarts de température selon le lieu. La température extérieure doit être mesurée au voisinage immédiat de la surface.

Compte rendu attendu

Performance thermique d'une enceinte



La définition de la résistance thermique de l'enceinte est : $R_{th} = \frac{T - T_{ext}}{P_{fournie}}$ en $K \cdot \Omega \cdot J^{-1}$

L'isolation est en effet performante lorsque le transfert thermique vers l'extérieur est limité, c'est-à-dire, lorsque $P_{fournie}$ est faible. Pour un écart de température donné, la résistance thermique est d'autant plus grande que la puissance fournie est faible.

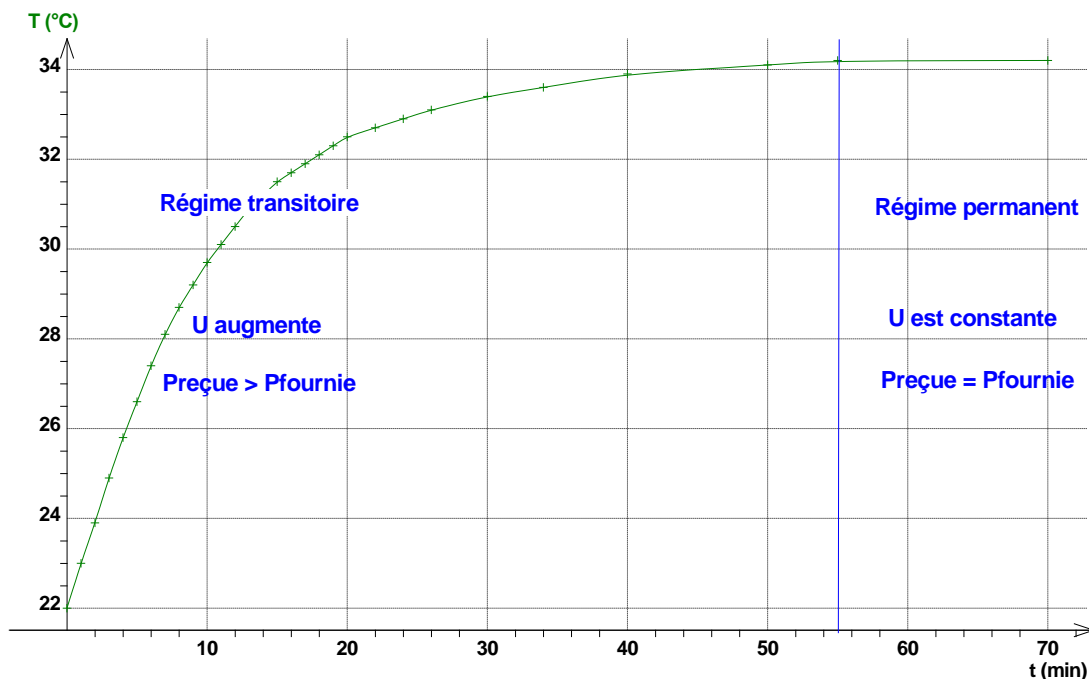
Dispositif expérimental



La puissance reçue par le système provient du générateur. Il faut, à l'aide de multimètres, mesurer la puissance électrique $U \times I$ où U est la tension (stabilisée) aux bornes du générateur et I , l'intensité du courant qu'il débite.

La résistance étant de l'ordre de 2Ω , on choisit une tension $U = 6V$. L'ampèremètre mesure une intensité quasi stable $I = 2,65A$. Ainsi, $P_{reçue} = 15,9W$

Suivi temporel de la température du système



L'énergie interne U d'un système dans un état donné ne dépend que de sa température. Ainsi, U augmente en régime transitoire et demeure constante en régime permanent.

D'après le principe de conservation de l'énergie, si l'énergie interne U augmente au cours du temps, c'est que la puissance reçue est supérieure à la puissance fournie. Selon ce même principe, en régime permanent, ces deux grandeurs sont égales.



En régime permanent $P_{\text{reçue}} = P_{\text{fournie}}$ soit

$$P_{\text{reçue}} = 15,9W$$

La température intérieur est stable $T = 34,2^{\circ}C$

La température extérieur mesurée : $T_{\text{ext}} = 27^{\circ}C$

On calcule ainsi : $R_{\text{th}} = \frac{34,2 - 27}{15,9}$ soit

$$R_{\text{th}} = 0,45K. S. J^{-1}$$



Une expérience réalisée dans les mêmes conditions avec une boîte identique recouverte de polystyrène expansé conduit aux résultats suivants :

- Le régime permanent est plus long à atteindre.
- Pour une puissance fournie identique, l'écart de température est nettement supérieur.
- On mesure une résistance thermique plus de trois fois supérieure.

FICHE 4 :

Texte à destination des élèves

TS 21 Chauffer – Isoler

Performance du dispositif de chauffage

Lire les paragraphes I et II en annexe et observer les expériences correspondantes présentées par le professeur.

Lire attentivement le paragraphe III en annexe puis répondre aux questions suivantes.

Question 1

Remplacer l'expression « échanger des calories » par une l'expression correcte reprenant le vocabulaire de la physique.

Le « refroidissement » des personnes dont il est question dans le document 1 résulte d'un transfert d'énergie du corps vers les parois froides.

Question 2

Réaliser un schéma de la chaîne énergétique qui implique le corps et les parois froides. Préciser la nature (conduction, convection ou rayonnement) du transfert thermique en jeu.

Question 3

Selon les informations du document 1, sélectionner, dans la liste du document 2, le(s) système(s) de chauffage qui vous semble(nt) le(s) plus performant(s). Justifier la réponse en argumentant.

Convecteurs

Lire attentivement la partie I. en annexe et répondre aux questions suivantes.

Question 4

A l'aide du texte et de l'expérience présentée par le professeur, proposer une définition du transfert thermique par convection.

*Les « convecteurs réchauffent **indirectement** les personnes et les objets ».*

Question 5

Schématiser la chaîne énergétique en se limitant aux éléments suivants : *réseau électrique de l'habitation ; « résistance électrique » ; air ; personnes*. Préciser la nature (conduction, convection ou rayonnement) des transferts thermiques en jeu.

Radiateurs

Lire attentivement la partie II. en annexe et répondre aux questions suivantes.

Question 6

A l'aide du texte et de l'expérience présentée par le professeur, proposer une définition du transfert thermique par rayonnement.

Question 7

Schématiser la chaîne énergétique en se limitant aux éléments suivants : *réseau électrique de l'habitation* ; « *radiateur* » ; *personnes*. Préciser la nature (conduction, convection ou rayonnement) des transferts thermiques en jeu.

Question 8

Quel est la nature du transfert thermique entre le Soleil et la Terre ? Justifier la réponse.

Question 8

Certaines terrasses de cafés sont chauffées en hiver. Est-il préférable d'utiliser pour cela des radiateurs ou des convecteurs ? Justifier la réponse.

I. LES CONVECTEURS

Les systèmes de chauffage appelés "convecteur" utilisent **la convection de l'air** comme vecteur de chaleur. Le procédé consiste à chauffer l'air ambiant dans une cheminée métallique au moyen d'une résistance électrique, souvent un simple fil métallique porté à très haute température. Les convecteurs chauffent et brassent d'importantes masses d'air, et indirectement, réchauffent les personnes et les objets. Le rayonnement infrarouge d'un convecteur représente moins de 10% de la chaleur transférée.

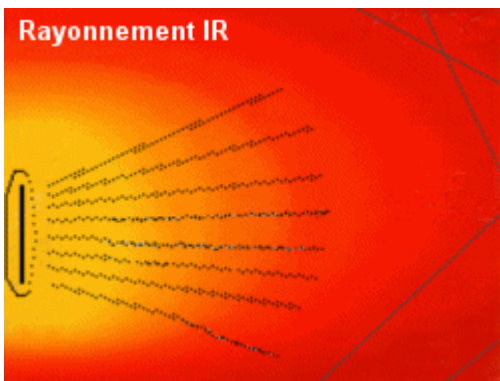
Les inconvénients du chauffage convectif

- Mauvaise répartition de la chaleur,
- Stratification : l'air chaud va au plafond obligeant à chauffer davantage à hauteur humaine,
- Le mouvement de convection participe au déplacement des poussières allergènes,
- Dessèche l'air ambiant,
- Les parois et les objets ne sont pas réchauffés,
- Sensations de chaud et de froid, sensations de pieds froids.

Les avantages des convecteurs

- Monte rapidement en température du fait de l'absence totale d'inertie,
- Petit prix, de 30 à 200 euros.

II. LES RADIATEURS



Le rayonnement électromagnétique se présente sous la forme d'ondes infrarouges qui se propagent de l'élément le plus chaud vers l'élément le plus froid. Le rayonnement met en vibration les constituants microscopiques des différents corps qui l'absorbent ce qui élève leur température. Le mot "radiateur" définit les dispositifs de chauffage qui produisent de la chaleur par rayonnement en réchauffant les surfaces (parois, objets et personnes) et non les volumes comme les convecteurs qui produisent de l'air chaud. Le réchauffement de l'air intervient dans un second temps par micro convection au niveau des surfaces réchauffées. La radiation est la forme de chauffage la plus naturelle et la plus confortable car elle réchauffe directement les corps comme le soleil le fait.

III. CONFORT THERMIQUE

Document 1

Le corps peut **échanger des calories**¹ avec son environnement selon trois modes fondamentaux de transferts de la chaleur : le rayonnement, la conduction et l'évaporation. Dans un logement, les échanges de calories s'opèrent principalement par rayonnement avec les surfaces (parois, objets, baies vitrées, radiateur, foyer de cheminée, soleil à travers une fenêtre...) et par conduction avec les volumes (l'air) mais dans une moindre mesure.

L'Université de Technologie du Massachusset a réalisé une expérience intéressante. On a fait entrer un groupe de personnes dans une pièce chauffée avec de l'air à 40° C, et des parois refroidies à 10° C. La première impression de chaleur a rapidement laissé place à un sentiment d'inconfort et de **refroidissement**². Les mêmes personnes sont entrées dans une pièce maintenue à 10 °C par un air froid mais avec des parois chauffées à 40° C. Les occupants ont très rapidement eu chaud. Une paroi froide absorbe la chaleur rayonnée par le corps et produit un refroidissement même avec une température ambiante élevée, tandis que les murs chauds rayonnent leur énergie et réchauffent les corps.

Il est admis qu'il faut au minimum 30% d'émission de chaleur par rayonnement pour équilibrer les émissions rayonnantes négatives des parois froides et obtenir un confort thermique satisfaisant, ce qui est impossible avec un chauffage fortement convectif. L'absence de rayonnement oblige à sur-chauffer l'air entre 25°C et 30°C (en fonction de la température des parois) pour obtenir une température ressentie de 20°C

Le confort thermique ne peut être obtenu si les volumes d'air et les surfaces d'une pièce ne sont pas à la même température. Il faut donc limiter au maximum la stratification de l'air, éviter les surfaces trop froides et les émetteurs de chaleur trop chauds, harmoniser la température des parois, du sol et du plafond.

Document 2

Proportion de rayonnement des émetteurs de chauffage électrique

Le transfert de chaleur global est l'addition du transfert radiant et du transfert convectif.

Type d'émetteur	Température de surface	Part de rayonnement
Convecteur	...	5% à 10%
Panneau radiant haute température	environ 300°C	15% à 25%
Radiateur basse température	moins de 70°C	35% à 40%
Plancher chauffant basse température	maxi 28 °C	50%
Mur chauffant	environ 40 °C	60%
Plafond chauffant basse température	environ 40°C	70% à 80%
Panneau en verre à résistance pelliculaire, miroir radiant	moins de 70°C	jusqu'à 70%

FICHE 5 :

à destination du professeur

Expériences de cours et réponses attendues

TS 21 Chauffer – Isoler

Expériences de cours : trois modes de transfert thermique

- **La conduction** a été montrée lors de l'activité précédente
- **Convection** : Expériences qui accompagnent la lecture du paragraphe I en annexe.

A l'aide d'un projecteur de diapositive par exemple, on projette l'ombre d'une bougie sur un écran blanc. Un thermomètre est maintenu au dessus de la bougie, un autre est maintenu latéralement, à égale distance de la mèche.

On allume la bougie et on observe sur l'écran, au dessus de l'ombre de la bougie, des « ombres ondulantes » qui révèlent les mouvements ascendants de l'air chaud. On constate que la température augmente bien plus dans le courant d'air chaud (près de 100°C) qu'en dehors (température de la pièce).



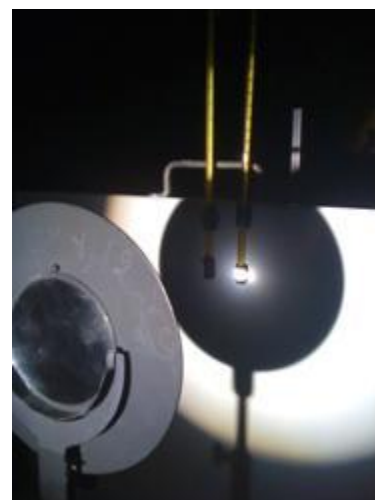
Une fiole (1L) d'eau remplie environ aux trois quart est maintenue au dessus d'un bec bunsen. Un tout petit bloc de permanganate de potassium est délicatement lâché et se dépose au fond de la fiole. On allume rapidement le bec bunsen.

On observe l'installation d'un courant ascendant de solution colorée par le permanganate de potassium. Arrivé à la surface, ce courant s'étale et redescend le long du verre. Peu à peu, toute l'eau se colore.

- **Rayonnement** : Expérience qui accompagne la lecture du paragraphe II en annexe.

A l'aide d'un projecteur de diapositives et d'une lentille convergente, on éclaire un écran sur lequel ont été déposés deux petits blocs de pâte à modeler. Un seul des deux blocs reçoit la lumière. Deux thermomètres mesurent les températures des blocs.

On constate que la température du bloc éclairé augmente alors que celle de l'autre bloc reste constante. L'écart de température peut approcher les 10°C.



Réponses attendues

1. « échanger des calories » signifie : échanger de l'énergie par transfert thermique
- 2.



3. Les planchers, murs ou plafonds chauffants semblent efficaces dans la mesure où :
 - leurs températures sont basses et limitent le phénomène de convection.
 - la part du rayonnement est élevée.
4. Transfert thermique par convection : Transfert thermique qui résulte d'un mouvement de matière à grande échelle du fait des variations de densité. Le fluide localement chauffé se dilate et s'élève, créant ainsi un courant.
- 5.



Il y a également un transfert thermique par rayonnement de la « résistance électrique » vers son environnement. Il a été négligé dans la chaîne (du fait de sa faible part).

6. Transfert thermique par rayonnement : Le rayonnement électromagnétique émis par un corps chaud peut être absorbé (totalement, **partiellement** ou pas du tout) par un corps froid. L'émission contribue à abaisser la température du corps chaud et l'absorption contribue à élever la température du corps froid. Ce transfert thermique peut avoir lieu entre deux corps séparés par un espace vide.
- 7.



8. Le transfert thermique entre le Soleil et la Terre est un transfert par rayonnement. L'espace vide entre ces deux astres interdit la conduction et la convection.
9. On utilise préférentiellement des radiateurs pour les terrasses de cafés. Il serait en effet inefficace de chauffer les masses d'air en extérieur...