



Chapitre F3. Transferts et bilans thermiques



Se positionner

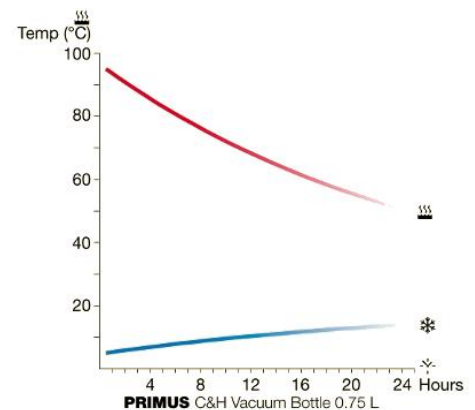
- Si on veut limiter les risques de brûlures lorsqu'on touche l'extrémité de la poignée d'une casserole, on a intérêt à choisir pour le matériau la constituant :
 - le métal constituant la casserole
 - du bois
 - du plastique résistant aux fortes températures
 - peu importe
- Pour refroidir une bouteille d'eau (fermée) avec un sac de glaçons, on a intérêt à mettre le sac :
 - en haut de la bouteille
 - en bas de la bouteille
 - sur le côté de la bouteille
 - peu importe
- Quand on dit qu'un pull est chaud (il faut donc le porter quand il fait froid), cela signifie :
 - qu'il donne de l'énergie à la personne qui le porte
 - qu'il réfléchit bien l'énergie dégagée par le corps humain
 - qu'il diminue le transfert d'énergie vers l'extérieur
- Pour ralentir la fonte d'un glaçon qu'on sort du congélateur, quelle action parmi les trois suivantes sera la plus efficace ?
 - l'envelopper de papier aluminium
 - l'envelopper de laine
 - le mettre dans de l'eau à température ambiante

Activité 1 : Zoom sur différents modes de transferts thermiques

- Pourquoi deux volumes d'eau de températures différentes se mélangent-ils plus vite que si on faisait 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 (photo de la coupe ci-contre à gauche) finisse tout de même par refroidir (courbe du haut sur la figure ci-contre à droite).



Lire les § A1 et A2 du modèle

- Dans chacune des situations suivantes, indiquer par quel mode (conduction, convection, rayonnement) l'énergie est majoritairement transférée à l'aliment cité. S'il n'est pas indiqué, préciser la nature du milieu.

Situation	Milieu assurant le transfert thermique	Mode de transfert principal
① En Sicile, les tomates sont placées en plein Soleil pour être cuites et séchées.		
② Les résistances chauffantes d'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.		
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.		

- Dans un self, pourquoi est-il absurde, énergétiquement, de poser les canettes initialement à température ambiante sur une plaque réfrigérée pour les refroidir ?

**Activité 2 : Qui fond en premier ?**

Cette scène se déroule alors qu'il fait nuit et que la température vaut -5°C depuis plusieurs heures.



1. Quelle est la température approximative des deux bonhommes de neige ?
2. Pourquoi le bonhomme de gauche a-t-il quand même raison d'être jaloux pour la suite ? La réponse doit contenir l'expression « transfert thermique ».

Le jour s'est levé, la température extérieure vaut désormais $+5^{\circ}\text{C}$. Voilà la suite de leur conversation :



3. Si la température se maintient à $+5^{\circ}\text{C}$: que va-t-il arriver à chacun de ces deux bonhommes de neige ?
4. Les deux bonhommes de neige semblent tous les deux optimistes à propos de leur avenir... mais lequel a raison ? Lequel fondra le premier ? Justifier en citant le transfert thermique pertinent et en précisant son sens.
5. Dans le langage courant, on dit souvent qu'un bon manteau est un vêtement qui « tient chaud ». Reformuler cette affirmation en respectant les lois de la physique.

Lire le § B1 du modèle

6. On note Δt_G la durée mise par le bonhomme de gauche pour fondre et Δt_D celle mise par le bonhomme de droite. De la même façon on note Q_G et Q_D les transferts thermiques que chacun des bonhommes reçoit, puis ϕ_G et ϕ_D les flux thermiques reçus pendant ces durées.
Comparer Q_G et Q_D , puis ϕ_G et ϕ_D .



Activité 3 : Transferts thermiques et situations courantes : comment utiliser les concepts de résistance thermique, conductivité thermique, capacité thermique ?

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

Document ① : Notion de résistivité thermique

La résistance thermique définie au paragraphe B2 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 : Pour différents matériaux

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
eau douce	4180	0,61
eau salée	3929	0,60

1. Donner l'unité de la résistance thermique.

2. 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 en gras).

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 en gras devront être reformulées.

1	Avec une même gazinière et une même casserole, on met plus longtemps pour porter à 80°C de l'eau douce que de l'eau salée.	
2	Une vitre assure une isolation thermique d'autant plus efficace que la vitre est épaisse.	
3	Un double vitrage assure une meilleure isolation qu'une vitre épaisse (dont l'épaisseur est la même que l'épaisseur des 2 vitres collées du double vitrage).	
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.	

**Activité 4 : Dans un igloo, qui est le radiateur ?**

.....
 Pour cette activité, vous avez besoin du document de l'activité précédente donnant l'expression de la résistance thermique.

Un igloo est un abri construit en blocs de neige. Pourtant, on peut y passer une nuit assez confortable (avec un bon duvet) car la température peut être voisine de 0°C malgré une température extérieure très négative. On modélise un igloo par une demi-sphère de neige (en fait de la neige compacte qui ressemble à de la glace) d'épaisseur $e = 30$ cm, et de surface totale extérieure $S = 14$ m².

Dans l'igloo, on considère une personne transfert chaque heure vers l'air intérieur une énergie $Q = 0,50$ MJ (à condition de manger de temps en temps...).

On suppose que la température extérieure vaut $T_{ext} = -10^{\circ}\text{C}$ et que la température intérieure est constante, notée T_{int} .

1. Comme la température intérieure est constante, l'énergie interne de l'air intérieur ne varie pas. En conséquence, indiquer la relation qu'on peut écrire en appliquant le premier principe de la thermodynamique à l'air intérieur, en notant Q_{ext} l'énergie reçue de l'extérieur en une heure.
2. Exprimer Q_{ext} en fonction du flux thermique ϕ à travers le dôme puis en fonction de la résistance thermique R_{th} , de la différence de température ΔT entre l'intérieur et l'extérieur, et de la durée considérée ($\Delta t = 1$ h).
3. En déduire l'expression de ΔT .
4. Calculer la résistance thermique du dôme (conductivité de la neige compacte $\lambda = 0,25$ W.m⁻¹.K⁻¹).
5. En déduire la valeur de ΔT puis de T_{int} .
6. Indiquer la propriété de la neige compacte mise en évidence dans cette activité.

Activité 5 : ça refroidit, mais à quelle « vitesse » ?

.....
 On cherche ici à décrire l'évolution de la température d'un système mis au contact d'un environnement considéré comme à température constante (on nomme un tel système un **thermostat**).

A l'issue des mesures, on teste la validité d'une loi dite « phénoménologique » (basée sur des observations mais faisant appel à des grandeurs théoriques) pour décrire l'évolution constatée.

1^{ère} partie : Suivi temporel du refroidissement de l'eau**Acquisition des données**

Attention tous les groupes ne réalisent pas exactement la même expérience : vous réalisez soit l'expérience A soit l'expérience B selon ce que qui est indiqué sur votre paillasse. Vous comparerez vos résultats à l'issue des mesures.

– Préparer la sonde thermométrique de façon à ce qu'elle mesure la température de l'eau qui sera versée dans un erlenmeyer (voir schéma ci-contre).

- Connecter le thermomètre à la console d'acquisition, ouvrir *Atelier scientifique* (mode « généraliste »).

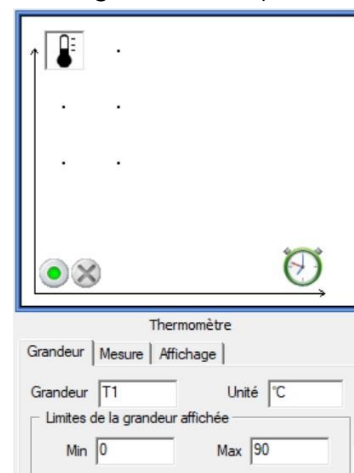
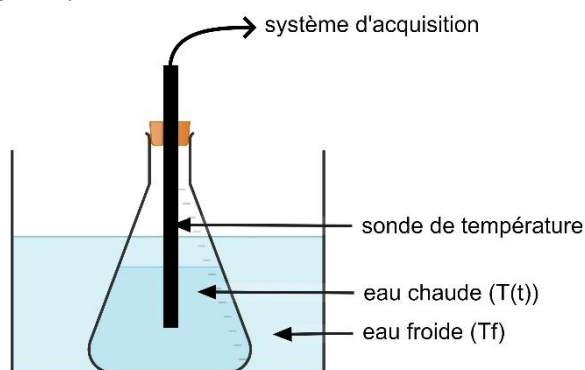
- Choisir pour l'ordonnée et pour l'abscisse.
- Régler les paramètres d'acquisition de la température comme ci-contre.
- Régler les paramètres d'acquisition temporels :

Durée totale : 1500 s ; nombre de points : 301 points.

- Préparer un cristalliseur contenant de l'eau et des glaçons.
- Verser environ 200 mL d'eau très chaude dans l'erlenmeyer (on se servira des graduations) et fermer avec le bouchon muni de la sonde thermométrique (l'objectif est de limiter au maximum l'évaporation).

Si vous réalisez l'**expérience B**, vous devez entourer l'erlenmeyer de papier aluminium avant de le mettre dans l'eau.

– Attendre que la température affichée par le thermomètre atteigne 80°C pour placer l'erlenmeyer dans le bain d'eau glacée et pour déclencher l'acquisition.



----- Pendant les 25 minutes de mesures, répondre aux questions suivantes-----

**Activité 5 (suite) - Exploitation**

1. Sans souci d'échelle, représenter ci-contre l'allure de l'évolution de la température de l'eau.
2. Compléter la phrase suivante :
la température décroît d'abord puis sa variation est de plus en plus
3. Ajouter sur le graphe ci-dessus, en légendant, l'allure de la courbe obtenue par un binôme qui n'a pas fait la même expérience que la vôtre
4. Indiquer si la différence entre les deux courbes peut s'expliquer par une modification de la conduction thermique due à l'aluminium. On exploitera les valeurs des résistivités ci-dessous pour répondre.
Résistivités thermiques : $r_{th(eau)} \approx 2 \text{ K}\cdot\text{m}\cdot\text{W}^{-1}$; $r_{th(verre)} \approx 0,8 \text{ K}\cdot\text{m}\cdot\text{W}^{-1}$; $r_{th}(Al) \approx 5 \times 10^{-9} \text{ K}\cdot\text{m}\cdot\text{W}^{-1}$
5. Indiquer le mode de transfert thermique nettement limité par la présence de l'aluminium.

**Lorsque l'acquisition est terminée :**

- Faire « Enregistrer sous » et choisir un format texte. Localiser le fichier et l'ouvrir avec *Regressi*.
- Afficher l'évolution de T en fonction du temps (on choisira des points seulement, pas de ligne).

Activité 5 - 2^e partie : Test d'un modèle**La loi phénoménologique de Newton**

Lorsque le transfert thermique a lieu principalement par convection, un système de température T en contact avec un thermostat de température T_f constante reçoit un flux thermique de valeur :

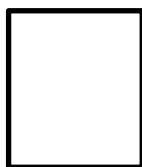
$$\phi(t) = hS[T_f - T(t)]$$

S est la surface d'échange entre le système et le thermostat et h le coefficient d'échange.

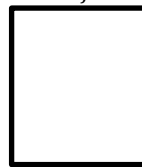
Expression théorique de la température fournie par le modèle

Le système étudié est l'eau chaude contenue dans l'erenmeyer. On note m sa masse et c la capacité thermique massique de l'eau.

1. Compléter le schéma ci-dessous en indiquant les températures T_f et $T(t)$, ainsi que le flux $\phi(t)$.



Eau dans
l'erenmeyer



Eau + glaçons

2. Indiquer ce qui joue dans l'expérience réalisée le rôle du thermostat. En déduire la valeur d'une des grandeurs figurant dans la loi ci-dessus.

On considère une durée infinitésimale (entre deux dates infiniment proches) notée dt . La variation d'énergie interne au cours de cette durée est notée dU , la variation de température dT et le transfert thermique δQ .

3. En écrivant le premier principe de la thermodynamique à l'eau contenu dans l'erenmeyer et l'expression de la variation d'énergie interne d'un système dont la température varie de dT , établir la relation entre δQ et dT .
4. Exploiter la définition du flux ϕ (§B1 du modèle) pour exprimer le flux en fonction de δQ et dt .
5. En utilisant la loi phénoménologique de Newton, en déduire que la température vérifie l'équation différentielle suivante : $\frac{dT}{dt} + \frac{T}{\tau} = \frac{T_f}{\tau}$ où τ est une constante dont on donnera l'expression.
6. Vérifier que l'expression $T(t) = (T_i - T_f)e^{-\frac{t}{\tau}} + T_f$ est solution de cette équation différentielle et vérifie la condition initiale $T(0) = T_i$. Vérifier aussi que T tend T_f vers lorsque t est très grand.

Rappel sur la fonction exponentielle

Si la fonction f est définie par $f(t) = Ae^{at}$, alors sa fonction dérivée est telle que $\frac{df}{dt} = aAe^{at}$.

Traitement des données

7. À l'aide de *Regressi*, modéliser les données obtenues dans la partie 1.
8. La loi phénoménologique de Newton vous paraît-elle adaptée pour décrire l'évolution de la température ?
9. En déduire une estimation de τ pour les deux expériences.



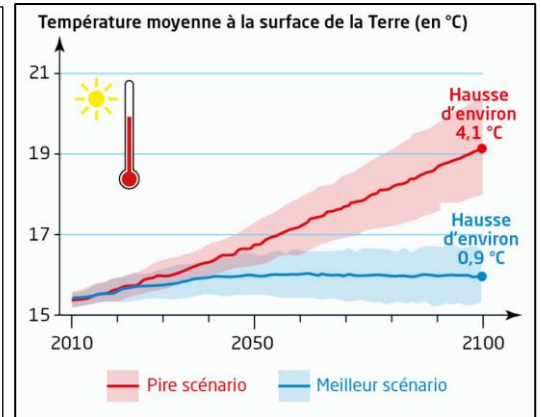
Activité 6 : Pourquoi il nous faut agir : différents modèles pour différentes températures à la surface de la Terre...

Dans cette activité on teste deux modèles décrivant les transferts thermiques fournis et reçus par le système {Terre + atmosphère}. Le test consiste à comparer la température terrestre prévue par chaque modèle et la température moyenne constatée à la surface de la terre. On considère que, en moyenne sur une durée assez longue, la température de la Terre est constante. Son énergie interne est, en moyenne, elle aussi constante : $\Delta U = 0$. Cette relation traduit le fait que le flux thermique reçu est égal au flux thermique émis : on dit que le système {Terre ; atmosphère} est **en équilibre radiatif**.

DONNÉES et relations utiles

- Un « corps noir » est un objet idéal qui absorbe intégralement le rayonnement électromagnétique qu'il reçoit. Sous l'effet de l'agitation thermique, ce corps émet alors à son tour un rayonnement qui ne dépend que de sa température. La loi de Stefan-Boltzmann permet d'exprimer le flux thermique surfacique rayonné en fonction de la température du corps noir :

$$|\varphi_{\text{rayonné}}| = \sigma T^4$$
 où $\sigma = 5,67 \times 10^{-8} \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-4}$ est la constante de Stefan-Boltzmann.
- On appelle flux surfacique un flux thermique par unité de surface sur laquelle il est réparti : $\varphi = \frac{\Phi}{S}$
 où φ est le flux en W , S est la surface en m^2 .
- Flux surfacique transféré du Soleil à la Terre : $\varphi_{\text{Soleil}} = 1360 \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$

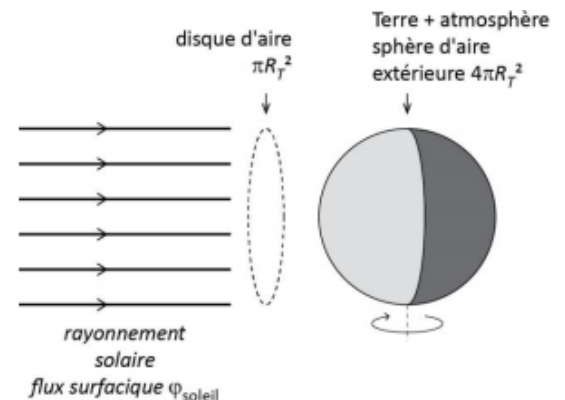


Prévisions du GIEC d'ici 2100

Premier modèle testé : la Terre comme un corps noir

Les astronomes utilisent ce modèle pour calculer la température des planètes dépourvues d'atmosphère. Ce modèle suppose que la planète réémet toute l'énergie absorbée par rayonnement, selon la loi de Stefan-Boltzmann. Comme la Terre tourne sur elle-même, le flux thermique qui traverse le disque de rayon R_T se répartit sur toute la surface du globe terrestre.

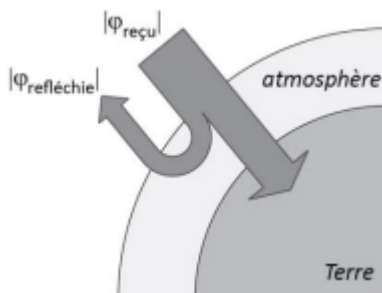
- En appliquant le premier principe au système {Terre + atmosphère}, montrer que : $4\sigma T^4 = \varphi_{\text{Soleil}}$
- Exprimer, puis calculer la température T à la surface de la Terre prévue par ce modèle. Convertir cette valeur en °C et discuter la validité du modèle utilisé.



Deuxième modèle testé : Prise en compte de l'albédo

L'**albédo** est un phénomène de réflexion par l'atmosphère : une fraction A du flux surfacique incident est réfléchi. On donne ci-dessous les albédos de différentes surfaces.

$$|\varphi_{\text{réfléchi}}| = A|\varphi_{\text{reçu}}|$$



Type de surface	Albédo
Mer	0,1
Forêt	0,1
Nuage	0,5 à 0,8
Glace	0,5 à 0,7
Neige fraîche	0,8

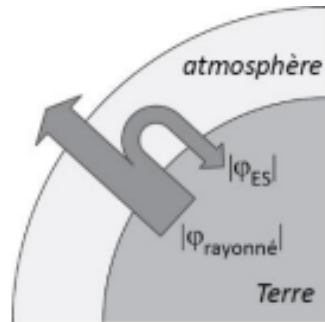
L'albédo moyen du système {Terre ; atmosphère} est de l'ordre de 0,3.

- Reprendre le bilan effectué pour le premier modèle et donner l'expression de la température à la surface de la Terre prévue par ce modèle n°2.
- Calculer cette température, notée T_2 .

**Troisième modèle testé : prise en compte de l'effet de serre**

L'**effet de serre** est le second phénomène à prendre en compte : la vapeur d'eau de l'atmosphère, l'ozone, le dioxyde de carbone, le méthane, etc. en sont responsables (gaz à *effet de serre*). Ces gaz absorbent une fraction A_{ES} de l'énergie rayonnée par la Terre et la réémettent dans sa direction (figure ci-dessous).

$$|\varphi_{ES}| = A_{ES} |\varphi_{rayonné}|$$



Actuellement, $A_{ES} \approx 42\%$.

3. En considérant toujours que le système est en équilibre radiatif ($\Delta U = 0$), réécrire l'expression du premier principe de la thermodynamique en tenant compte, cette fois, de l'albédo et de l'effet de serre, en fonction des flux surfaciques mis en jeu.
4. Montrer qu'on obtient l'expression suivante de la température moyenne de la surface terrestre :

$$T_3 = \left(\frac{\varphi_{Soleil}(1 - A)}{4\sigma(1 - A_{ES})} \right)^{1/4}$$

5. Calculer numériquement la température prévue par ce 3^e modèle et discuter sa validité par rapport au modèle précédent.

Pour aller plus loin...

Dans le cadre du 3^e modèle, le plus fiable, calculer la température qu'aurait la Terre si le coefficient d'effet de serre augmentait de 10% par rapport à la valeur actuelle. Commenter les valeurs obtenues.