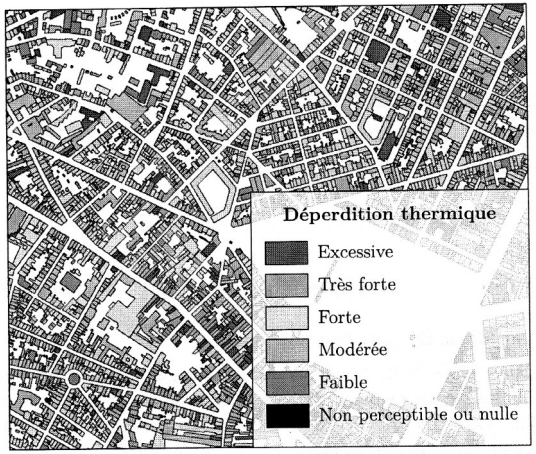
Transferts thermiques – Exercices – Devoirs

Exercice 1 corrigé disponible

Un chauffe-eau solaire est un système permettant de convertir le rayonnement solaire en énergie thermique transférée à l'eau du chauffe-eau. À cet effet, des panneaux sont installés sur le toit du logement.
Le nombre du panneaux à installer dépend de l'ensoleillement et des besoins en eau chaude des habitants. L'énergie reçue et la température de l'eau froide entrant dans le ballon dépendent de la saison.

Mois	Janvier	Juillet
Énergie surfacique moyenne reçue par jour (en $MJ.m^{-2}$)	5,08	19,37
Température de l'eau froide (en °C)	9	16

Selon l'ADEME (Agence De l'Environnement et de la Maitrise de l'Énergie), 25 à 30% des pertes thermiques d'un bâtiment se font par le toit. Aussi, de nombreuses communautés de communes ont lancé des campagnes de thermographie aérienne dans le but de sensibiliser le grand public à ces pertes. Une caméra thermique préalablement étalonnée survole la région à étudier. Sur la carte thermographique, une couleur est attribuée à chaque toit en fonction du flux mesuré. En tenant compte de la nature du matériau et de la température extérieure, il est de plus possible de calculer la température du toit.



Données :

- Le flux thermique φ, en watt, traversant une paroi plane de surface S et de résistance thermique R_{th} est donné par la relation :

$$\varphi = \frac{|T_{ext} - T_{int}|}{R_{th}}$$

4. Dans le quartier du jardin botanique de Bordeaux, les mesures thermographiques (voir carte ci-dessus) ont été réalisées une nuit de février 2009.
   Pourquoi les toits mal isolés sont-ils plus chauds que les autres ?
5. On mesure pour un toit en tuiles d'épaisseur $e = 10$ mm et de surface $S = 100$ m², un flux thermique de $\varphi = 170$ kW.
   Calculer la résistance thermique $R_{th}(toit)$ de ce toit en tuiles pour une température intérieure $\vartheta_{int} = 16$ °C et une température extérieure $\vartheta_{est} = -1$ °C.
6. On désire réduire ce flux d'un facteur 200 en posant une couche isolante de laine de verre.
   6.1. Quelle est la résistance thermique du système {laine de verre + tuile} ainsi constitué ?
   6.2. Déterminer l'épaisseur de laine de verre, notée $e(laine)$, à poser pour isoler ce toit sachant que la résistance d'une paroi d'épaisseur e et de conductivité thermique λ est donnée par la relation suivante :

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

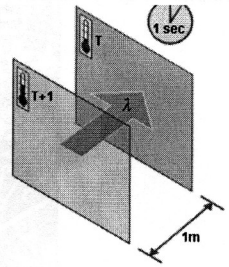
Exercice 2 corrigé disponible

Document 1 : Quelques conductivités thermiques

La conductivité thermique λ est une caractéristique propre à chaque matériau. Elle indique la chaleur Q qui est échangée lors d'un transfert thermique par conduction :

- en 1 s ;
- à travers un matériau de surface 1 m² ;
- lorsque la différence de température entre les deux faces est de 1 K par mètre.

Corps	Conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)
Air	0,02
Eau	0,58
Graisse animale, huile	0,18



Document 2 : L'isolation de certains animaux

En cas de séjour prolongé dans l'eau, il convient de se protéger avec des combinaisons adaptées. Les animaux résolvent ce problème de deux façons. Les phoques et les ours, par exemple, sont totalement mouillés en immersion. Cependant, grâce à leur fourrure, une couche d'eau presque immobile de quelques millimètres à un centimètre d'épaisseur se maintient autour de leur corps. La convection est donc éliminée, mais comme l'eau conduit bien la chaleur, l'isolation thermique est plutôt assurée par une couche de graisse sous la peau.
Pour les oiseaux, en revanche, le plumage non mouillant empêche l'eau de venir au contact de l'épiderme et piège une fine couche d'air. L'isolation requiert alors moins de graisse.

D'après J.-M. Courty et É. Kierlik, La physique buissonière, Pour la science, 2010

Document 3 : Les combinaisons de plongée

Dans la combinaison dite humide, une mince pellicule d'eau remplit l'interstice entre la peau et la combinaison. Le matériau utilisé est le néoprène assez épais (deux à huit millimètres), au sein duquel existe une multitude de très petites bulles d'air. La combinaison dite sèche, quant à elle, est complètement étanche et maintient le corps au sec, en injectant du gaz de la bouteille dans la combinaison.

D'après J.-M. Courty et É. Kierlik, La physique buissonière, Pour la science, 2010

1. Déterminer ce qui atténue la convection et la conduction thermique :
   1.1. dans le cas des phoques et des ours ; 1.2. dans le cas des oiseaux.
2. Déterminer ce qui atténue la convection et la conduction thermique :
   2.1. dans le cas de la combinaison dite humide ? 2.2. dans le cas de la combinaison dite sèche ?
3. Proposer une analogie entre les constituants de la surface des phoques ou des oiseaux et ceux présents dans le cas :
   3.1. de la combinaison dite humide ; 3.2. de la combinaison dite sèche.
4. Dans les deux types de combinaison précédents, quelle(s) sorte(s) de transferts thermiques sont :
   4.1. rendus impossibles ou du moins atténués ? 4.2. permis ?

Exercice 3 corrigé disponible

Dans tout l'exercice on se place en régime permanent.

1. Calculer la résistance thermique d'une vitre de 3,5 mm d'épaisseur et de surface 1,0 m^2.
2. Calculer le flux thermique traversant cette vitre sachant que la température de la face interne de la vitre est égale à 20 °C, celle de la face externe est égale à 5°C.
3. Calculer la résistance thermique d'un mur de brique de 26 cm d'épaisseur de 3,5 et de surface 1,0 m^2.
4. Calculer le flux thermique traversant ce mur de brique sachant que la température de la face interne de la brique est égale à 20 °C, celle de la face externe étant égale à 5 °C.
5. Quelle conclusion peut-on en tirer concernant les pertes thermiques dans une habitation ?

   Données : conductivité thermique du verre, $\lambda_{verre} = 0,7\ W.m^{-1}.K^{-1}$; conductivité thermique de la brique, $\lambda_{brique} = 0,52\ W.m^{-1}.K^{-1}$.

Exercice 4 corrigé disponible

Bilan énergétique d'une habitation (4,75 points)

I/ Calcul de la résistance thermique totale des parois

On souhaite construire un chalet de vacances en haute montagne. Pour cela, l'architecte consulté propose deux solutions à des prix différents selon les matériaux employés. On examine les deux possibilités ci-dessous.

Première possibilité : une maison à ossature en bois dont les cloisons sont constituées (en partant de l'extérieur vers l'intérieur de la cloison) de :
- 8 cm de pin maritime ;
- 10 cm de polystyrène expansé ;
- 4 cm de panneaux de particules de bois extrudé.

Deuxième possibilité : une construction traditionnelle dont les cloisons sont constituées (en partant de l'extérieur vers l'intérieur de la paroi) de :
- 2 cm de mortier d'enduit ;
- 20 cm de parpaing ;
- 4 cm de polystyrène expansé ;
- 5 cm de carreaux de plâtre.

Données :

Conductivité thermique utile λ (en $W . m^{-1} . K^{-1}$) pour les divers matériaux envisagés :

0,15	0,042	0,16	1,15	1,15	0,7
Pin maritime	Polystyrène expansé	Panneaux de particules de bois extrudé	Mortier d'enduit	Parpaing ou béton caverneux	Carreaux de plâtre

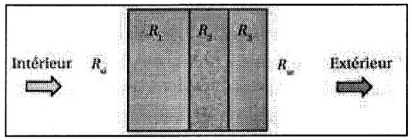
Résistances thermiques superficielles :
R_{si} est la résistance thermique d'échange d'une surface intérieure (entre la surface de la paroi et l'intérieur). R_{si} est aussi appelée résistance thermique interne, ici $R_{si} = 0,11\ K.W^{-1}$.
R_{se} est la résistance thermique d'une surface extérieure (entre surface de la paroi extérieure et l'extérieur). R_{se} est aussi appelée résistance thermique externe. Ici $R_{se} = 0,06\ K.W^{-1}$.

Information : La résistance thermique d'une paroi, en supposant que les pertes thermiques sont seulement dues à la conduction, est donnée par la relation $R_{th} = \frac{L}{\lambda \times S}$ avec L, épaisseur de la paroi en mètre, S surface de la paroi en m^2 et λ conductivité thermique de la paroi en $W.m^{-1}.K^{-1}$.

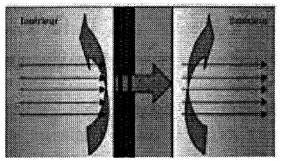
On supposera par la suite que la surface des parois considérées est telle que S =1,0 m ².

La résistance thermique totale d'une paroi est égale à la somme des résistances de chaque épaisseur de matériaux et des résistances superficielles.

Document 1



Document 2



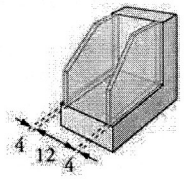
1/ Légender le document 2 en précisant les différents modes de transfert thermique mis en jeu.
2/ Calculer les résistances thermiques R_1 et R_2 des cloisons dans chacune des deux possibilités (présenter les calculs sous forme de tableau).

3/ Quelle est la paroi la plus isolante ? Expliquer brièvement.

4/ La température ambiante extérieure est de –10°C et celle de l'intérieur est maintenue à +20°C. À partir de la valeur de résistance thermique calculée dans la question 2, calculer le flux thermique surfacique φ à travers la paroi pour la maison à ossature bois.

II/ Quel vitrage pour le chalet ?

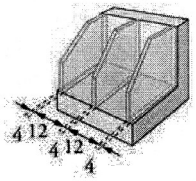
Dans une fenêtre double vitrage 4-12-4 le gaz séparant les deux vitres peut être soit de l'air soit de l'argon.



1/ Calculer la résistance thermique de chaque vitrage.

Données : conductivités thermiques

λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$	0,025	0,018	0,81
	Air	Argon	Verre



2/ Quelle est l'utilité de remplacer l'air par de l'argon ?

3/ Il est possible d'installer des fenêtres triples vitrage 4-12-4-12-4 avec de l'air entre les vitres.
Calculer la résistance thermique de ce type de fenêtre.

4/ Lequel de ces trois vitrages est le plus performant en terme d'isolation thermique ? Justifier.

5/ Augmenter l'épaisseur du verre aurait-il une grande influence sur les performances thermiques d'un vitrage ?

Exercice 5 corrigé disponible

La pratique du sauna est une tradition finlandaise vieille de plus de deux mille ans. À l'origine, il s'agissait de s'installer dans une petite cabane en bois dont on chauffait l'atmosphère avec des pierres brûlantes. De nos jours, la pratique du sauna peut avoir lieu dans une pièce équipée d'un poêle électrique (figure 1) dans laquelle on prend un bain de vapeur sèche. Parmi ses nombreuses vertus, on peut citer la stimulation de la circulation sanguine et l'élimination de la fatigue.

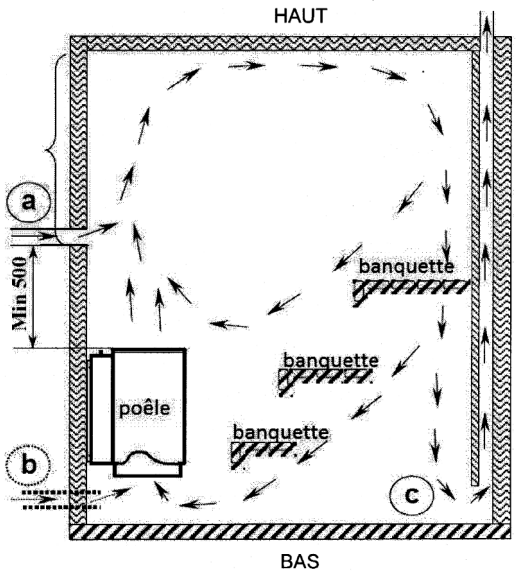
Un particulier souhaite installer un sauna* chez lui. Il achète un poêle électrique spécifique et s'intéresse au matériau nécessaire à la construction de la pièce de dimensions 2,0 m x 2,0 m x 3,0 m. Le poêle est constitué d'une résistance chauffante. Des pierres sont posées sur l'appareil : elles ont pour but de générer de la vapeur lorsqu'on y verse de l'eau.

**le terme « sauna » qualifie également la pièce dans laquelle est pratiquée cette tradition ancestrale.*

Extraits de la notice du poêle électrique fournie par le constructeur (traduits du suédois) :

L'aération du sauna :
L'air frais est dirigé directement de l'extérieur par un tuyau d'environ 100 mm de diamètre placé 500 mm au dessus du poêle (a) vers le sauna. L'air frais peut aussi être envoyé sous le poêle près du sol (b). Dans l'alimentation en air frais, il est essentiel de veiller à ce que celui-ci se mélange le plus efficacement possible à l'air chaud et à la vapeur du sauna. L'air évacué est dirigé vers l'extérieur par une trappe située sous les banquettes (c), le plus loin possible de l'arrivée d'air frais.

Durée du préchauffage du sauna :
La durée de préchauffage du sauna est le laps de temps nécessaire pour chauffer le sauna à la température souhaitée pour la séance. Ce temps dépend notamment de la température voulue (la position de réglage de la température), de la quantité de pierre, du volume du sauna, et des matériaux constituant les parois du sauna. Moins on utilise de pierre, plus le sauna chauffe vite. Cependant, une plus petite quantité de pierre ne donne pas autant de vapeur. La durée de préchauffage varie en général entre 40 et 70 minutes.



Vue en coupe verticale du sauna

Caractéristiques techniques du poêle :

Poêle modèle SUPER 10	Poêle puissance kW	Volume du sauna		Poids sans pierre kg	Quantité de pierres (max) kg	Dimensions du poêle		
		min m^3	max m^3			largeur mm	profondeur mm	hauteur mm
DI 10	10,00	8,0	15,0	16	22	Ø370	450	590

Capacité thermique massique *c*, conductivité thermique λ et masse volumique ρ de quelques matériaux :

Matériau	*c* en $J.kg^{-1}.K^{-1}$	λ en $W.m^{-1}.K^{-1}$	ρ en $kg.m^{-3}$
Béton	1008	1,75	2200
Sapin	2400	0,15	450
Plâtre	1008	0,43	800
Verre	800	1,15	2530
Stéatite	980	6,4	2980

La **résistance thermique** R_{th} (en $K.W^{-1}$) d'une paroi a pour expression

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda . S}$$

λ : conductivité thermique en $W.m^{-1}.K^{-1}$
e : épaisseur de la paroi en m
S : surface de la paroi en m^2

Le **flux thermique** Φ (en W) correspond à une énergie thermique transférée à travers une paroi par unité de temps. Si ΔT est l'écart de température de part et d'autre de la paroi, le flux thermique à travers cette paroi est exprimé par :

$$\Phi = \frac{\Delta T}{R_{th}}$$

1. Les transferts thermiques mis en jeu lors du chauffage

1.1. Caractériser chacun des types de transferts thermiques principaux mis en jeu lors du chauffage par le poêle de l'air ambiant ou des pierres. Pour cela, recopier et compléter le tableau suivant :

	Chauffage par le poêle de l'air de la pièce	Chauffage par le poêle des pierres
Mode de transfert thermique principal		
Avec ou sans déplacement de matière		

1.2. Que symbolisent les flèches représentées sur la figure 1 de la notice du constructeur ?
1.3. Donner une raison justifiant le choix de l'emplacement de l'entrée de l'air. Même question pour le choix de l'emplacement de la sortie de l'air.
1.4. En s'appuyant sur les caractéristiques du poêle choisi, montrer que ce choix est adapté aux besoins du particulier.

2. Les matériaux pour la construction de la pièce

Le particulier hésite entre le bois de sapin et le béton pour les parois de son sauna.

2.1. Comparer le flux thermique traversant une paroi de bois de sapin et une paroi de béton sans effectuer de calcul numérique. Formuler un conseil au particulier.
2.2. Quelle serait l'épaisseur d'une paroi en béton pour que, en termes d'isolation thermique, elle soit équivalente à une paroi en sapin de 5,0 cm d'épaisseur ?

3. Les pierres posées sur le poêle

Les pierres utilisées sont souvent d'origine volcanique car elles n'éclatent pas sous les chocs thermiques. C'est le cas de la stéatite.

3.1. On fait l'hypothèse que lors du préchauffage, la puissance du poêle est intégralement utilisée pour le chauffage des pierres d'origine volcanique. À l'aide des caractéristiques électriques du poêle, déterminer la durée Δt nécessaire pour porter une masse m = 20 kg de pierre, de la température de 25°C à la température de 250°C atteinte par les pierres à l'issue du préchauffage.
3.2. D'après la notice, l'hypothèse précédente est-elle vérifiée ? Proposer une explication.

Exercice 6 corrigé disponible

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 maitriser au mieux la dépense énergétique, plusieurs points de vigilance sont à considérer : l'isolation, la ventilation, la qualité des ouvertures et la maitrise des ponts thermiques (endroits du bâtiment où la chaleur s'échappe plus vite).

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 (m²)	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	

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.ekopédia.org

Résistance thermique d'une paroi d'isolation

La résistance thermique R_{th} d'une paroi plane a pour expression : $R_{th} = \frac{e}{\lambda . S}$ où e est l'épaisseur du matériau (m), λ la conductivité thermique caractérisant le matériau (W.m^{-1}.K^{-1}) et S la surface de la paroi (m²).

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.

Flux thermique

Le flux thermique Φ exprimé en watt (W), est l'énergie transférée à travers une paroi par unité de temps.

Son expression est : $\Phi = \frac{Q}{\Delta t}$ où Q est l'énergie thermique (J) et Δt le temps (s).

Lorsque les températures extérieure T_e et intérieure T_i sont constantes au cours du temps, avec $T_i > T_e$, le flux thermique peut s'exprimer aussi par : $\Phi = \frac{T_i - T_e}{R_{th}}$ où R_{th} est la résistance thermique de la paroi considérée.

1.1. Déterminer, par analyse dimensionnelle, l'unité d'une résistance thermique.

1.2. 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.

1.3. Calculer la résistance thermique des murs extérieurs R_m, en précisant l'unité.

1.4. Pour obtenir une résistance thermique identique à celle des combles, quelle devrait être la valeur de l'épaisseur d'une couche de laine de verre de conductivité thermique λ_{lv} = 0,038 W.m^{-1}.K^{-1} ?
On suppose que l'on utilise uniquement ce matériau.

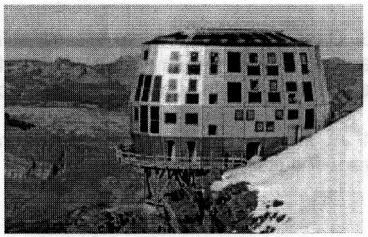
1.5. Dans la région où est prévue la construction de la maison, la température extérieure moyenne du sol en hiver est d'environ 10°C et celle de l'air extérieur, 4°C.
Un poêle à bois maintient la température intérieure de la maison constante à T_i = 19°C.
Pendant une journée, les valeurs des transferts thermiques sont alors :
- pour les murs extérieurs : Q_m = 56 MJ ;
- pour les vitres : Q_v ;
- pour le sol : Q_S = 37 MJ ;
- pour les combles : Q_C = 24 MJ.

1.5.1. Préciser le sens dans lequel s'effectuent les transferts thermiques.
1.5.2. Calculer Q_V ; en déduire la valeur de la chaleur fournie par un poêle à bois pendant une journée.

1.6. Dans ces conditions, si, par an, la période de chauffage dure 100 jours, peut-on considérer la maison comme passive ?

Exercice 7 corrigé disponible

Le refuge du Goûter, situé à proximité du Mont Blanc à 3835 m d'altitude, est l'un des plus hauts refuges de montagne d'Europe. Sa construction répond à des normes Haute Qualité Environnementale (H.Q.E).
Cet exercice porte sur les performances énergétiques du bâtiment et sur les choix des matériaux par les concepteurs du projet afin de rendre cet habitat « passif ».



Le refuge du Goûter, un des plus hauts chantiers d'Europe

D'architecture ovoïde, conçu pour s'intégrer sur le plan technique et esthétique aux contraintes d'un environnement difficile, le refuge du Goûter préfigure une nouvelle génération de bâtiments. Ce chantier est un véritable défi architectural et technique puisqu'il s'agit de construire un bâtiment avec une structure en bois, sur quatre étages, avec un revêtement extérieur en inox et d'utiliser efficacement les technologies innovantes.
Mais c'est aussi un défi humain pour les ouvriers qui travaillent sur ce chantier hors norme, situé à 3835 m avec des contraintes climatiques. Les rafales de vent peuvent dépasser 250 km.h^{-1}. Les températures peuvent chuter à - 35°C en hiver et -10°C en plein été.
Tout a été mis en œuvre pour faire de ce chantier un projet bas carbone, « pilote » sur le plan environnemental :

- structure en bois local des Alpes françaises (épicéa, sapin blanc et mélèze), majoritairement issu des forêts de Saint- Gervais (vallée proche du site) :
- modules bois fabriqués dans la vallée et transportés par hélicoptère. Toute la structure a été pensée comme un « jeu de construction » géant pouvant être assemblé rapidement sur site. La masse maximale des éléments héliportés sur site est de 550 kg. La fabrication en atelier est prévue pour réduire les temps de pose et faciliter la tâche aux ouvriers montant la structure ;
- recours aux énergies renouvelables (solaire, photovoltaïque, biomasse) et mise en place de technologies innovantes (gestion de l'électricité à distance, cogénération, fondoir à neige, traitement des eaux usées…).

Extrait du dossier de presse du site «le refuge du Goûter» juillet – Août 2012

1. Un modèle de fenêtre développé spécifiquement pour le refuge du Goûter

Pour répondre aux conditions climatiques extrêmes liées à cette altitude, un modèle de fenêtre très performant a été réalisé. Elle est constituée d'un triple vitrage et d'un survitrage spécifique. Pour l'isolation entre chaque vitre, l'argon a été choisi comme gaz plutôt que l'air, augmentant ainsi la résistance thermique de la fenêtre.

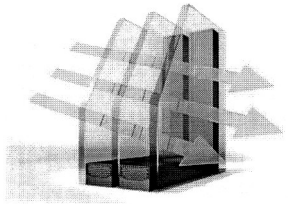
1.1. Les échanges thermiques s'effectuent selon trois modes. Associer, à chacune des définitions données ci-dessous, le nom du mode de transfert thermique correspondant :
- définition 1 : transfert d'énergie par ondes électromagnétiques, ne nécessitant pas de milieu matériel ;
- définition 2 : transfert d'énergie dans un milieu matériel, sans déplacement de matière, sous l'influence d'une différence de température ;
- définition 3 : transfert d'énergie associé à des mouvements de matière, généralement au sein d'un gaz ou d'un liquide.

1.2. Calculer, pour une surface de 1,0 m^2, la résistance thermique totale R_{th1} du triple vitrage d'une fenêtre du refuge, sachant que la résistance thermique totale du triple vitrage est la somme des résistances thermiques de chaque matériau constituant le triple vitrage.

1.3. Dans le cas d'un triple vitrage utilisant l'air, et pour une même surface de 1,0 m^2, la résistance thermique de la fenêtre vaut R_{th2} = 1,1 K.W^{-1}. Évaluer alors la variation relative de la résistance thermique suite à la substitution de l'air par l'argon.

1.4. Augmenter l'épaisseur du verre aurait-t-il une grande influence sur les performances thermiques du vitrage ? Justifier votre réponse.

Informations sur les fenêtres du refuge



Fenêtre à triple vitrage
Photo site Internet :
http://www.cpassif
menuiserie.fr/contact/

Données :

Matériau	Conductivité thermique λ (W.m^{-1}.K^{-1})
air	0,026
argon	0,017
verre de vitre	1,2

Composition du triple vitrage :
- 2 lames d'argon de 14 mm d'épaisseur chacune ;
- 3 vitres de 4 mm d'épaisseur chacune.

Apport théorique
La résistance thermique R_{th} (en K.W^{-1}) d'une paroi a pour expression :

$$R_{th} = \frac{e}{\lambda . S}$$

λ conductivité thermique en W.m^{-1}.K^{-1} ;
e : épaisseur de la paroi en m ;
S : surface de la paroi en m².

Caractéristiques de quelques matériaux

Matériau	Conductivité thermique λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	Masse volumique ρ ($x10^3\ kg.m^{-3}$)
acier inoxydable	26	7,8
béton plein	1,8	2,3
brique	0,84	2,1
pierre	3,5	2,7
sapin/épicéa	0,13	0,45
polystyrène	0,036	0,034
laine de verre	0,032	0,025
fibre de bois	0,038	0,2

Exercice 8 corrigé disponible

Une canette de Soda de 33cl, assimilée à un cylindre de 66mm de diamètre et 115 mm de hauteur, sortant du réfrigérateur à la température $\theta_i = 6\,°C$ se retrouve à l'air libre l'été à la température $\theta_f = 32\,°C$.

Données : masse volumique du soda : $\rho_{soda} = 1036\,g\,.\,L^{-1}$

capacité calorifique du Soda : $c_{Soda} = 4180\,J\,.\,kg^{-1.}\,°C^{-1}$

coefficient de Newton : $h_{air} = 12\,W\,.\,m^{-2.}\,K^{-1}$

1. Calculer la surface latérale de la canette de Soda ainsi que la masse de soda
2. En réalisant un bilan thermique, établir l'équation différentielle vérifier par la température en fonction du temps sous forme canonique. Déterminer la valeur de la constante de temps caractéristique.
3. Résoudre l'équation différentielle de la question 2. et représenter graphiquement l'allure de la courbe d'évolution de la température en fonction du temps. Indiquer les régimes transitoire et permanent.
4. Au bout de combien de temps la température de la canette vaudra 20°C ?

Exercice 9 corrigé disponible

Cochez la (ou les) bonne(s) réponse(s).

❒ l'atmosphère absorbe 50 % de la puissance solaire incidente.

❒ l'atmosphère réfléchit et absorbe une partie de la puissance solaire incidente.

❒ la puissance solaire absorbée par le sol est environ la moitié de la puissance solaire incidente en haut de l'atmosphère.

❒ le rayonnement solaire incident est un rayonnement infrarouge.

Exercice 10 corrigé disponible

L'effet de serre terrestre est défini comme :

❒ l'absorption par l'atmosphère du rayonnement infrarouge émis par la surface terrestre.

❒ l'absorption par l'atmosphère du rayonnement solaire.

❒ l'absorption par la surface terrestre du rayonnement solaire.

❒ la réflexion par la surface terrestre du rayonnement solaire.

Exercice 11 corrigé disponible

1. Pour la Terre, le rayonnement solaire se répartit sur une sphère imaginaire de rayon correspondant à la distance Terre-soleil (150 millions de km)

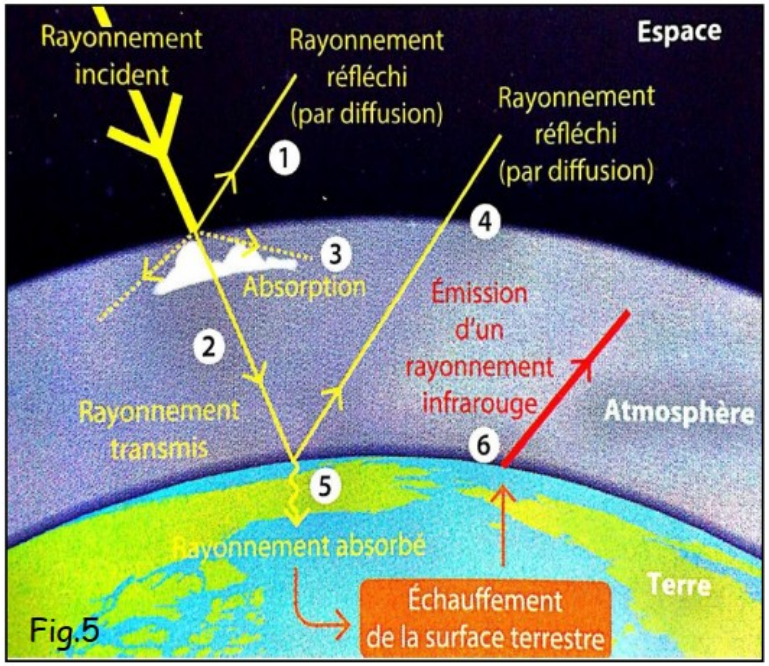
La **puissance surfacique Ps** reçue par chaque point de la sphère imaginaire est donc donnée par la formule suivante :

$$Ps = \frac{P\ totale\ soleil}{S\ sphère\ imaginaire}\ (\text{en W/m}^2)$$

avec : $P_{totale\ soleil} = 3{,}87.10^{26}$ (en W).

$S_{sphère\ imaginaire\ solaire} = 4.\pi.\ Rayon^2$ (en m^2)

$R = distance_{(Terre\text{-}Soleil)} = 1{,}5x10^{11}$ m



2. La **puissance du rayonnement solaire reçu par la Terre** se note P_{Terre}, elle est proportionnelle à la surface du disque solaire et calculable avec

$P_{Terre} = P_s \times S_{disque} = P_s \times \pi.R^2T$.

Or la Terre est une sphère et sa surface est : $S_{Terre} = 4.\pi.R^2T$

La puissance du rayonnement solaire va donc être reçue par une **surface sphérique** ainsi, la fraction du rayonnement interceptée par la Terre s'exprime comme un quotient de 2 surfaces donc chaque m^2 de la Terre reçoit 1/4 de l'énergie interceptée par le disque : on parle de **rayonnement incident.**

- Calculer (simplement) la puissance solaire par unité de surface reçue par la Terre (sphérique)
- Compléter le schéma afin de mentionner la puissance (W) apporté par le rayonnement incident.

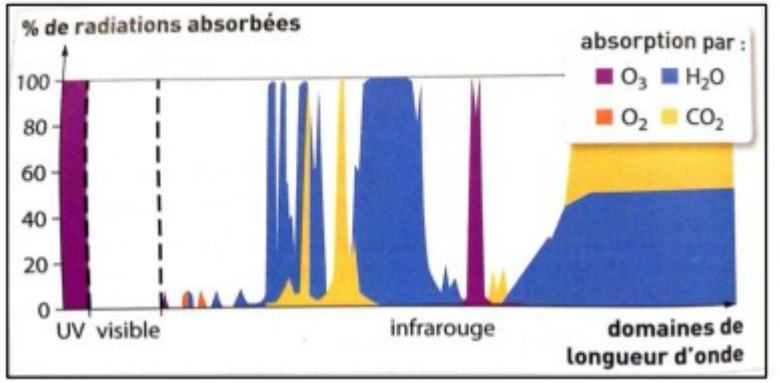
Faire le calcul de la puissance solaire par unité de surface (Ps) reçue par la Terre

- Le **rayonnement incident** (342 W/m^2) arrive.
- L'atmosphère **réfléchit** une partie du rayonnement vers l'espace (30%) ❶ ou ❷ vers le sol.
- L'atmosphère **absorbe** une partie du rayonnement❸
- La part du rayonnement qui a été diffusé vers le sol est soit **absorbé** par le sol❺ soit **diffusé** vers l'espace❹

- Calculer (en W) la puissance réfléchie et la puissance transmise dans l'atmosphère
- Reporter ces valeurs sur le schéma.

4. Les gaz atmosphériques absorbent le rayonnement incident dans certaines gammes de longueurs d'ondes. Ainsi on peut voir que les UV et les infrarouges sont très absorbés par l'atmosphère. On estime que cette absorption atmosphérique du rayonnement est de 20 %

- A partir du résultat précédent, calculer combien d'énergie est absorbée par l'atmosphère et reporter cette valeur sur le schéma. ❸
- Calculer combien d'énergie arrive au sol et reporter cette valeur sur le schéma ❷



On estime que l'albédo terrestre moyen est de 0,3 Par conséquent 30% de l'énergie reçue va être diffusée vers l'espace par l'atmosphère, les continents, les océans.
Sur le schéma : repérer l'albédo ❶ et❹ *et le définir*

5. La Terre et la Lune reçoivent une puissance équivalente par m2 mais leurs températures moyennes de surface diffèrent (-23°C sur la Lune et +15°C sur la Terre) donc le rayonnement solaire absorbé n'est pas la seule source de chaleur que reçoit la surface de la Terre.
Calculer la puissance surfacique émise par le sol terrestre (température +15°C)

6. Une grande partie de ce rayonnement infrarouge IR est absorbée au niveau de l'atmosphère terrestre par les gaz à effet de serre (GES)
Lorsque ces molécules absorbent le rayonnement infrarouge, elles entrent en état d'excitation et réemettent alors le rayonnement IR dans toutes les directions de l'espace : une partie est renvoyée vers le sol, une partie est renvoyée vers l'espace.
Le rayonnement IR réémis vers la surface est absorbé par la surface puis, réémis vers l'atmosphère, à nouveau absorbé par les GES, réémis vers la surface et vers l'espace ...
C'est ce qu'on appelle l'effet de serre

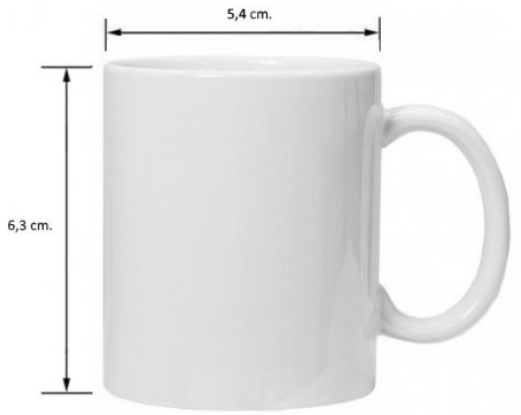
	H_2O	CO_2	O_3	CH_4
Concentration (%)	0,5 à 5	0,04	0,0007	Traces
Contribution à l'effet de serre (%)	48,4	21,1	6,4	4,8

* sur le schéma : Schématiser les molécules de GES
- Indiquer les 2 gaz principalement responsables de l'effet de serre

7. Réaliser le bilan radiatif terrestre ; quels sont les 2 facteurs l'influençant ?

Exercice 12

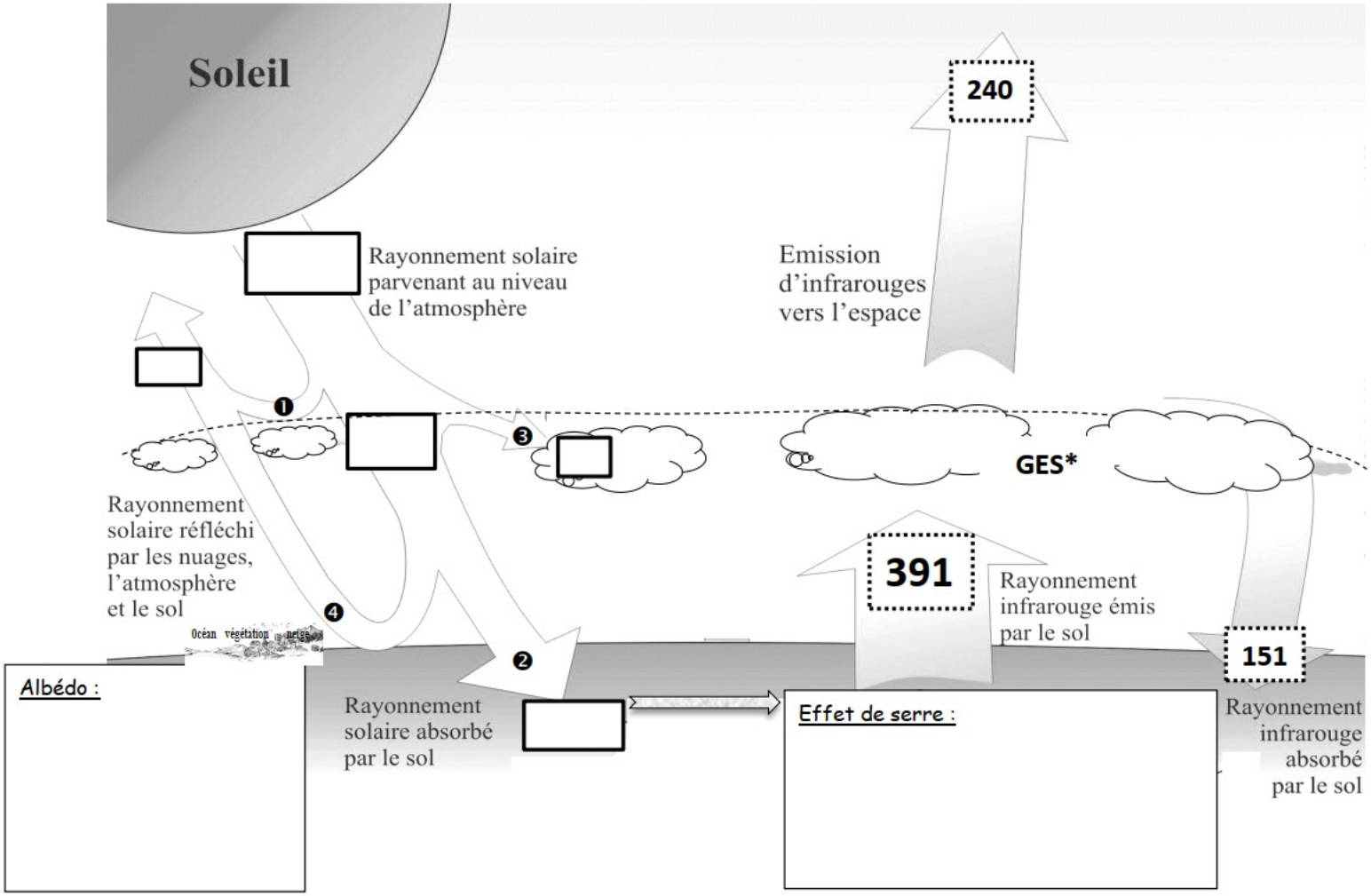
Un mini mug, dont les dimensions sont indiquées ci-dessous est placé dans une pièce à température $\theta_f = 24\,°C$. Le mug est rempli de café sortant d'une bouilloire à la température $\theta_i = 100\,°C$



Données : masse volumique du café : $\rho_{café} = 1230\,g\,.\,L^{-1}$
capacité calorifique du café : $c_{café} = 200\,J\,.\,kg^{-1.}\,°C^{-1}$
coefficient de Newton : $h_{air} = 12\,W\,.\,m^{-2.}\,K^{-1}$

1. Pourquoi la température du café ne peut pas être supérieure à 100°C ?
2. Calculer la surface d'échange de la tasse de café avec la pièce ainsi que la masse de café contenu dans le mug.
3. En réalisant un bilan thermique, établir l'équation différentielle vérifier par la température en fonction du temps sous forme canonique. Déterminer la valeur de la constante de temps caractéristique.
4. Résoudre l'équation différentielle de la question 3. et représenter graphiquement l'allure de la courbe d'évolution de la température en fonction du temps. Indiquer les régimes transitoire et permanent.
5. Au bout de combien de temps la température du café vaudra 38°C ?

LE BILAN RADIATIF DE LA TERRE



Bilan de surface : + **158** W/m² (➡ Température = -18°C) mais Effet de serre : + **151** W/m² ➡ Température : **15°C en moyenne**

BILAN RADIATIF : La puissance du rayonnement émis (240 W/m²) compense la puissance du rayonnement reçu (240 W/m²), donc la température de surface est constante