EXERCICES **Chapitre 16 – Transferts d'énergie**

Exercice 1 **Isolants et conducteurs thermiques**

Matériau	Conductivité thermique ($W.m^{-1}.K^{-1}$)	masse volumique ($kg.m^{-3}$)
air au repos	0.024	1.3
liège expansé	0.04	120
fer	80.2	7870
cuivre	386	8960
diamant	1000	3520
béton	~ 1	2500
calcaire	1.3	2200
granite	3	2600
bois sec (selon espèce et humidité)	0.04 à 0.2	450 à 1300
neige sèche	0.11	20 à 300
dioxygène au repos	0.024	1.3
polystyrène expansé	0.033	30
verre	1	2500
argon au repos	0.0177	1.8
laine de bois	0.040	130
laine de roche	0.042	40
laine de verre	0.038	20
paille (sens des fibres perpendiculaire)	0.040	80
eau	0.6	1000
glace	2	917

(1) En utilisant le diagramme dit « log-log » dont vous regarderez bien comment évoluent les échelles, reporter, quand c'est possible, les matériaux à leur place.

(2) Sur ce graphique, entourer la zone des roches et la légender. Faire de même pour la zone des métaux et des gaz au repos.

(3) Décrire qualitativement le lien entre masse volumique et agitation thermique. En déduire le lien entre transfert thermique conductif et masse volumique. Retrouvez-vous ce lien dans le graphique ?

(4) Dans quelle zone du graphique trouve-t-on les conducteurs thermiques ? les isolants thermiques ?

(5) Est-ce qu'une maison avec des murs en pierre épais de 80 cm est bien isolée ?

(6) Quel est le meilleur isolant thermique sur ce graphique ? le meilleur qui est le plus courant ?

(7) Quel est le meilleur conducteur thermique donné ?

(8) Quel est le point commun entre les isolants que sont la laine de roche/verre/bois, la paille et le polystyrène expansé ?

(9) Une cathédrale a une bonne inertie thermique. Vrai ou faux ? Justifier.

(10) Une cathédrale est bien isolée thermiquement. Vrai ou faux ? Justifier.

(11) Les 3 petits cochons ont construit une maison en paille. Est-ce justifier d'un point de vue thermique ?

(12) Quand la neige tombe, elle ne se tasse que très peu. Puis, au fil des jours, elle va se tasser : comment évolue sa conductivité thermique ?

(13) Les normes européennes considèrent qu'un matériau est isolant si sa conductivité thermique est inférieure à 0.065 $W.m^{-1}.K^{-1}$. Est-ce le cas de la neige ? Que fait une bonne couche de neige sur le sol l'hiver, d'un point de vue thermique ?

Exercice 2 **Equation différentielle**

On considère une gourde en aluminium anodisé de masse $m_1 = 172$ g. Elle est remplie, à l'instant $t = 0$, d'une masse $m_2 = 750$ g d'une boisson chaude à la température $T = 65°C$. L'air extérieur est considéré comme un thermostat à la température $T_e = 5°C$.

Le système {boisson + gourde} est incompressible, de température intérieure uniforme et de surface $S = 4.0 \times 10^{-2}$ m^2. On néglige la capacité thermique de la gourde : cela signifie que la température extérieure de la gourde est identique à la température intérieure sans transfert thermique.

(1) Appliquer le premier principe de la thermodynamique au système.
(2) Exprimer le flux thermique sortant à l'aide de la loi de Newton.
(3) En déduire l'équation différentielle vérifiée par la température T du système.
(4) Déterminer la solution de cette équation différentielle.
(5) Quelle est la température au bout de 2h de randonnée ?
(6) Certaines gourdes isothermes actuelles sont constituées d'une double paroi métallique entre lesquelles un vide assez poussé est fait. En quoi cela est-il pertinent ?

Données

— coefficient h de la loi de Newton : $h = 10$ W.m^{-2}.K^{-1}
— capacité thermique du système étudié $c = 3.6 \times 10^3$ J.kg^{-1}.K^{-1}

Exercice 3 **Calcul d'albédo**

On considère une zone de la surface terrestre où la puissance solaire moyenne incidente au niveau du sol est de 344 W.m^{-2}. La puissance moyenne absorbée par le sol est de 214 W.m^{-2}.

(1) Calculer l'albédo A du système.
(2) Calculer la puissance solaire absorbée par le Sahara. De même pour la banquise.

Données

— Albédo du sable : $A = 0.32$
— Albédo de la neige : $A = 0.90$

Exercice 4 **Résistance thermique d'une paroi**

On note λ la conductivité thermique d'un matériau en W.m^{-1}.K^{-1}, e son épaisseur et S sa surface. Dans le cas d'une paroi isolante où largeur et hauteur sont grandes devant son épaisseur, la résistance thermique de la paroi R_{th} est donnée par la formule

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

(1) Comment a été définie la résistance thermique R_{th} dans le cours ? En déduire les unités de R_{th}.
(2) Dans quelles unités faut-il écrire e et S pour que R_{th} ait les mêmes unités qu'à la question précédente ?
(3) Dans un énoncé d'exercice, on trouve que la résistance thermique d'un pare-brise est $R_{th} = 3.0 \times 10^{-3}$ K.W^{-1}. En supposant que le pare-brise a une épaisseur de 5.0 mm et une hauteur de 1.0 m, en déduire sa largeur. On le supposera rectangulaire. Déterminer aussi le flux thermique lorsque la température extérieure est de 45°C et la température intérieure de 18°C. λ(verre)= 1.0 W.m^{-1}.K^{-1}
(4) Comment évolue la résistance thermique en fonction de l'épaisseur de la paroi ?
(5) Comment évolue la résistance thermique en fonction de la conductivité thermique du matériau ?

Exercice 5 **Equation différentielle : quelle tarte !**

On sort une tarte d'un four où elle vient de cuire à 180°C. Avec son moule, on la laisse à la température ambiante de $T_e = 20$°C. L'équation différentielle vérifiée par la température T de l'ensemble {tarte + moule} est donnée par la relation

$$\frac{dT}{dt} = -a(T - T_e) \qquad \text{avec} \qquad a = 3.8 \times 10^{-4}\ \text{s}^{-1}$$

(1) Résoudre cette équation différentielle.
(2) Quelle est la température de la tarte au bout d'une heure ?
(3) Au bout de combien de temps, la température de la tarte sera de $T_f = 25$°C ? Parce qu'elle a l'air bonne ! On rappelle que la fonction réciproque de l'exponentielle est la fonction logarythme népérien ln : $\ln e^x = x, \ \forall x \in \mathbb{R}$.

Exercice 6 Température d'équilibre radiatif de la Terre

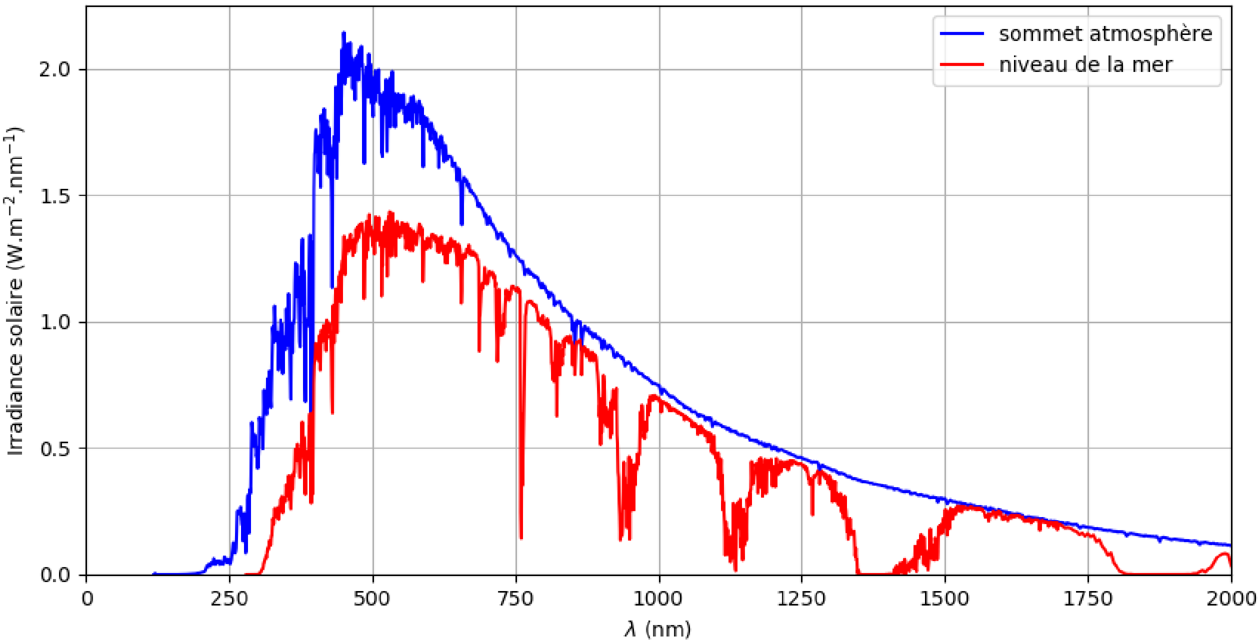


Fig (a) : Spectre solaire

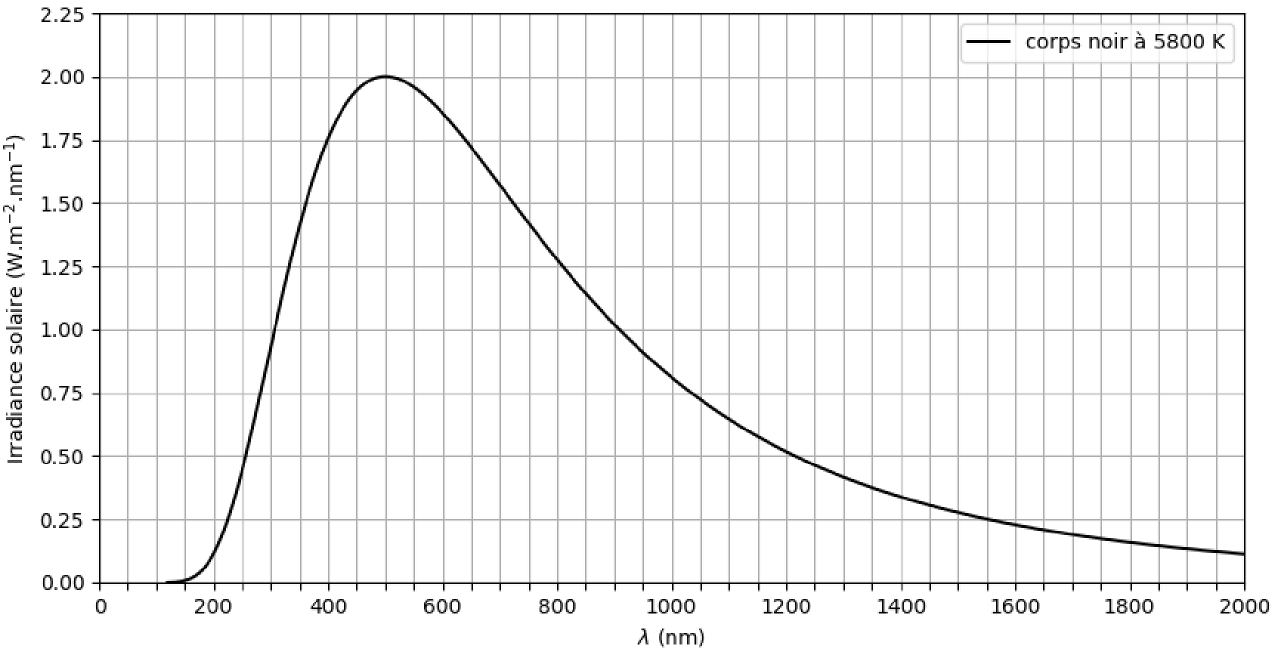


Fig (b) : Spectre d'un corps noir à 5800 K

(1) Par quel mécanisme, l'énergie produite par le Soleil est-elle transportée jusqu'aux planètes ?

(2) Repérer la longueur d'onde du maximum d'émission du Soleil notée λ_{max}.

(3) On rappelle que la loi de Wien, vue en seconde, est $\lambda_{\text{max}} \times T = 2898$ μm.K. En déduire la température T_S de la surface du Soleil si $\lambda_{\text{max}} = 500$ nm.

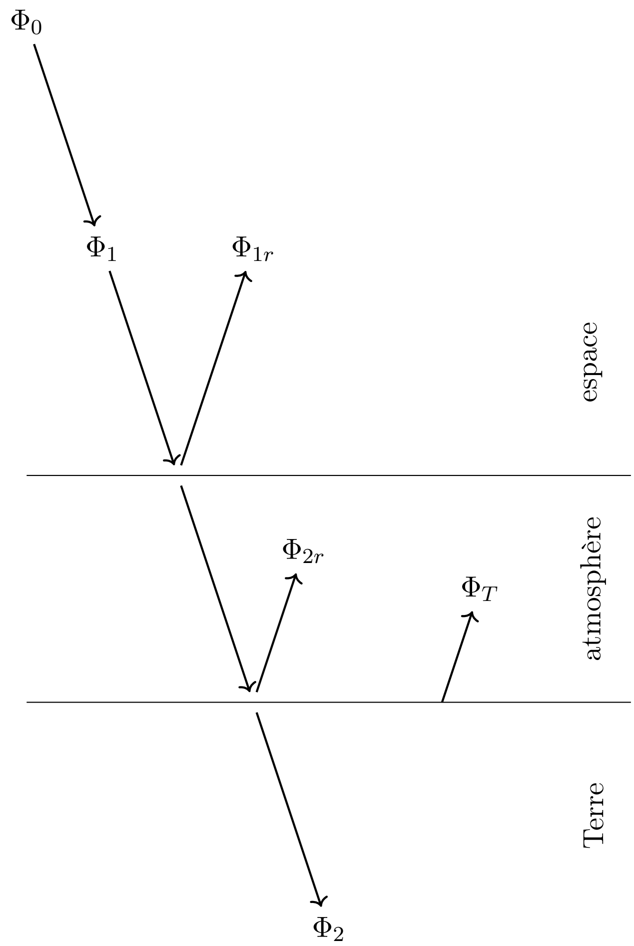
(4) On suppose que le Soleil se comporte exactement comme un corps noir (le spectre solaire au sommet de l'atmosphère correspond plutôt bien à la courbe de la figure (b)). La constante solaire correspond à la surface contenue sous la courbe du corps noir. Cette figure vous est donnée sur votre entête de chapitre. Déterminer l'aire représentée par un petit carreau. En comptant les petits carreaux, estimer l'énergie solaire reçue au sommet de l'atmosphère terrestre par une surface de 1 m^2 perpendiculaire au rayonnement lumineux (notée Φ_0).

(5) Délimiter sur la figure (a) le domaine visible, UV (ultraviolet) et IR (infrarouge).

(6) Déterminer la puissance émise par le Soleil P_0 à sa surface en vous aidant de la loi de Stefan.

On considèrera que le Soleil est une sphère de rayon $R_\odot$. Cette puissance est émise en totalité dans toutes les directions de manière uniforme.

(7) Déterminer le flux reçu au sommet de l'atmosphère terrestre. N'avez pas déjà rencontré cette valeur ? En donner l'expression en fonction de $R_\odot$, D, T_S et la constante de Stefan σ.



(8) Le flux d'énergie Φ_0 est un flux déterminé pour une surface perpendiculaire aux rayons lumineux. Expliquer pourquoi il est nécessaire de prendre en compte un facteur dit géométrique tel que $\Phi_1 = \Phi_0/4$.

(9) A l'aide de la notion d'albédo, déterminer l'expression de Φ_{1r}, puis de Φ_{2r}.

(10) Exprimer Φ_2 en fonction des données de l'énoncé.

(11) Pourquoi peut-on considérer que la Terre émet un rayonnement par sa surface ? Comment appelle-t-on un tel rayonnement ?

(12) Déterminer Φ_T à l'aide de la loi de Stefan. On notera T_T la température de la Terre.

(13) Quelle relation entre Φ_2 et Φ_T existe-t-il si on suppose que l'équilibre radiatif de la Terre est vérifié ?

(14) A l'aide des données, montrer que

$$T_T^4 = \frac{(1-A)}{4} T_S^4 \left(\frac{R_\odot}{D}\right)^2$$

(15) Faire l'application numérique dans le cas où $T_S = 5800$ K. On exprimera T_T en °C.

(16) Quelle hypothèse implicite avons-nous fait ? Comment s'appelle cet effet ?

(17) En quoi la figure (a) apporte une preuve de cet effet ?

(18) Schématiser cet effet sur le schéma ci-contre.

Données :
- une sphère de rayon r a une surface $S = 4\pi r^2$ et un volume $\frac{4}{3}\pi r^3$
- distance Terre-Soleil $D = 1.5 \times 10^{11}$ m
- constante de Stéfan $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W.m^{-2}.K^{-4}
- albédo A_{atm} lié à la réflexion et à la diffusion sur l'atmosphère
- albédo A_{surf} lié à la réflexion et à la diffusion sur la surface de la Terre
- albédo $A = A_{\text{atm}} + A_{\text{surf}} = 0.3$ global de la Terre
- on estimera que $A_{\text{atm}} \times A_{\text{surf}}$ est négligeable devant A_{atm} ou A_{surf}

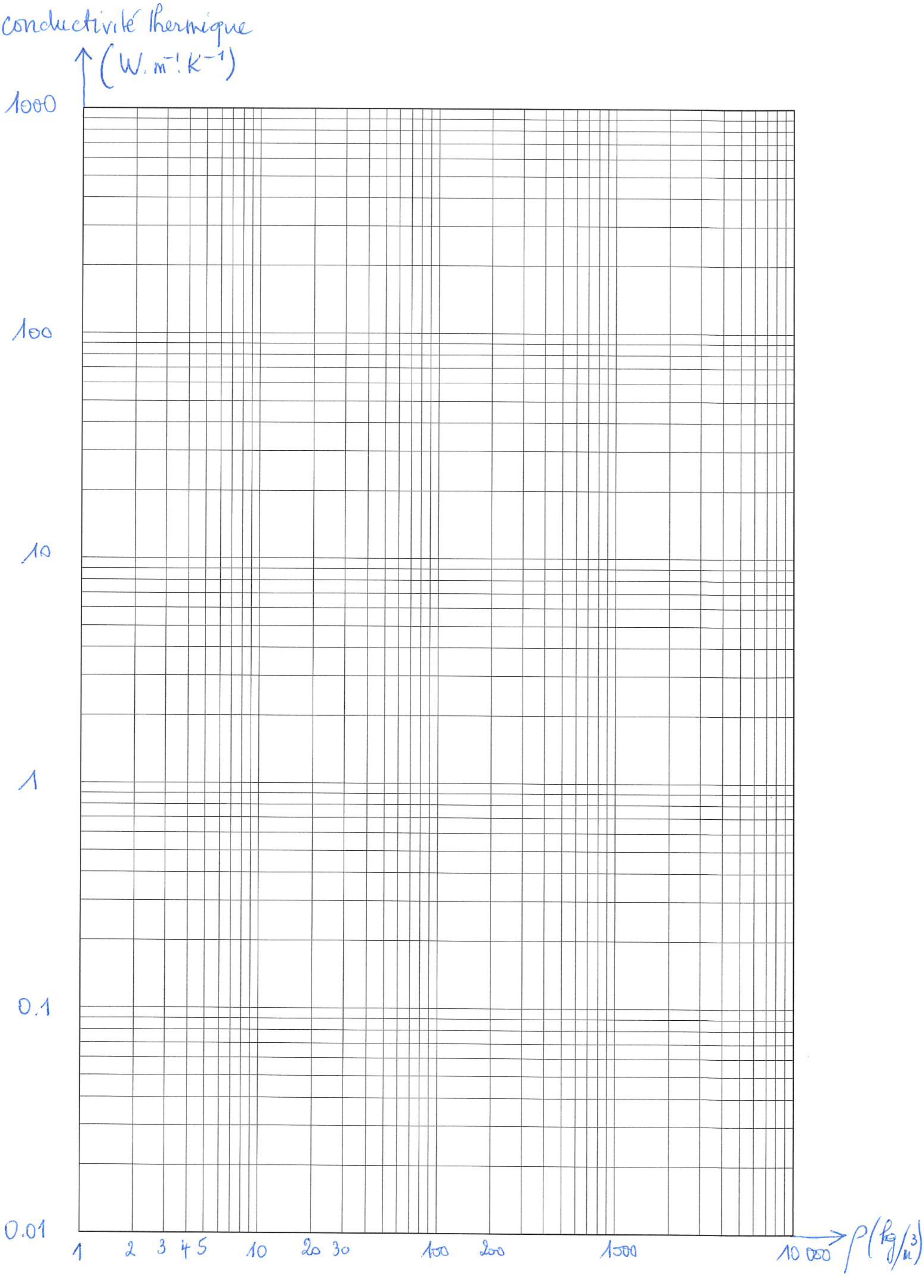
Exercice 7 Trempe d'un métal

Pour améliorer la dureté des métaux, on leur fait subir une trempe : le métal est plongé encore très chaud dans un liquide. A partir du moment où le métal quitte la forge (qui est à $T_0 = 400$°C),
- il est en contact avec l'air (dont on suppose qu'il est un thermostat à 20°C) jusqu'à ce qu'il atteigne la température $T_1 = 380$°C (coefficient $h_1 = 10$ W.m^{-2}.K^{-1}) pendant une durée Δt_1
- puis le métal entre en contact avec de l'eau à 15°C (que l'on suppose aussi être un thermostat) pendant une durée Δt_2 (coefficient $h_2 = 600$ W.m^{-2}.K^{-1}). En fin de tempe, la température du métal est $T_2 = 42$°C.

(1) A quoi correspondent les coefficients h_1 et h_2 ?

(2) Etablir l'équation différentielle vérifiée par la température T de la bille.
(3) Donner l'expression de cette température lors de la première phase.
(4) En déduire la durée Δt_1 de cette première phase.
(5) Donner l'expression de cette température lors de la seconde phase.
(6) En déduire la durée Δt_2.
(7) Quel fluide assure le refroidissement le plus rapide ?

Données :
- masse volumique de la bille : 2800 kg.m^{-3}
- sphère de rayon r de surface $S = 4\pi r^2$ et de volume $\frac{4}{3}\pi r^3$
- capacité thermique massique de la bille : $c = 480$ J.kg^{-1}.K^{-1}
- diamètre de la bille : 30 mm


conductivité thermique
(W.m-1.K-1)
1000
100
10
1
0.1
0.01
1
2
3
4
5
10
20
30
100
200
1000
10 000
ρ (kg/m3)