Exercices d'oraux : thermodynamique

Questions de cours

- Premier principe de la thermodynamique
- Deuxième principe de la thermodynamique
- Machines thermiques : principe du moteur ditherme, théorème de Carnot (ou machine frigorifique ou pompe à chaleur).
- Changements d'état du corps pur ; description à l'aide diagrammes
- Les différents types de transfert thermique
- Gaz parfaits et réels
- Détentes de Joule Gay-Lussac et de Joule Kelvin

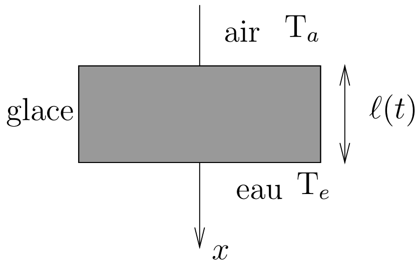
Thermodynamique 1 *(Centrale)*

L'eau liquide d'un lac est à la température de congélation $\mathrm{T}_e = 273$ K. L'air au dessus du lac est à température constante $\mathrm{T}_a = 263$ K. Sans glace à $t = 0$, le lac se couvre progressivement d'une couche d'épaisseur $\ell(t)$. La glace possède une masse volumique μ, une conductibilité thermique K, une chaleur latente de fusion massique L et une capacité thermique négligeable.

La puissance thermique échangée à l'interface air-glace est

$$\mathrm{P}_{th} = \alpha(\mathrm{T}_0(t) - \mathrm{T}_a)\mathrm{S}$$

où $\mathrm{T}_0(t)$ est la température de la glace au voisinage de l'air.



1. Déterminer le flux thermique traversant la couche en fonction de $\ell(t)$, $\mathrm{T}_0(t)$ et T_e.
2. En déduire l'équation différentielle vérifiée par $\ell(t)$.
3. Déterminer $\ell(t)$ et $\mathrm{T}_0(t)$.

Thermodynamique 2 *(Mines)*

A l'intérieur d'une enceinte thermostatée à $\mathrm{T}_0 = 373$K de volume initiale V_0, on place de la vapeur d'eau à la pression $\mathrm{P}_0 = 0,4$ bar.

1. Exprimer le volume final que l'on doit avoir pour obtenir 50% de l'eau sous forme liquide.
2. Exprimer la variation d'entropie.

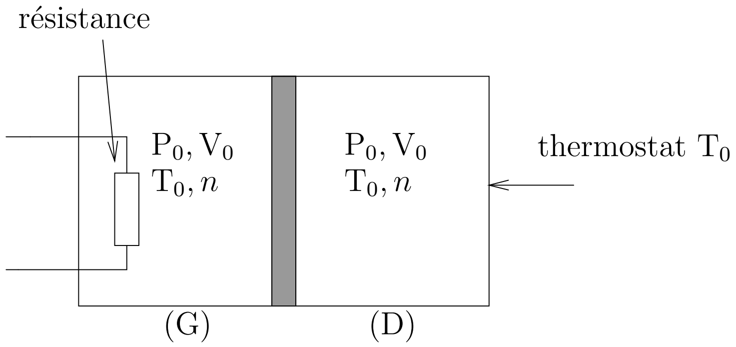
Thermodynamique 3 *(CCP)*

Une résistance de capacité thermique C, placée dans l'air à température T_0 est parcourue par un courant qui apporte par effet Joule une puissance P constante. Pendant le temps dt, la résistance perd une quantité de chaleur $a\mathrm{C}(\mathrm{T} - \mathrm{T}_0)dt$ où a est une constante.

Etablir l'équation différentielle vérifiée par $\mathrm{T}(t)$ et calculer la température finale sachant qu'initialement $\mathrm{T} = \mathrm{T}_0$.

Thermodynamique 4 *(CCP)*

Deux compartiments calorifugés contenant un gaz parfait à l'état initial V_0, T_0, P_0 sont séparés par une paroi coulissante. Celui de gauche comporte une résistance, celui de droite est en contact avec une source de chaleur de température T_0 constante.
On apporte pendant un temps t_1 une chaleur Q par effet Joule au compartiment de gauche, de manière irréversible. L'autre compartiment évolue de manière quasi-statique et on atteint un nouvel état d'équilibre.
Calculer Q pour qu'au nouvel état d'équilibre, le compartiment de droite ait un volume V.



Thermodynamique 5 *(CCP)*

De l'eau sous l'état de vapeur saturante à $T_1 = 373$K et à pression atmosphérique p_0 est enfermée dans un cylindre à parois diathermanes, fermé par un piston pouvant coulisser sans frottement. La pression extérieure est maintenue constante. On place le cylindre dans un thermostat à $T_0 = 290$K.

On donne la chaleur latente de vaporisation à T_1 et la capacité thermique de l'eau liquide C_ℓ.

Calculer l'entropie créée au cours de la transformation.

Thermodynamique 6 *(CCP)*

Une barre de section carrée de côté a est accotée à un mur à la température T_1. Le système est en régime stationnaire et T ne dépend que de x. L'expression du flux échangée de la barre vers l'extérieur à la température T_0 est $\Phi = h(T - T_0)S$ où S est la surface d'échange.

1. Déterminer l'équation différentielle vérifiée par $\theta(x) = T(x) - T_0$.
2. Déterminer et représenter $T(x)$.

Thermodynamique 7 *(Mines)*

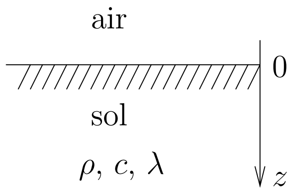
On considère une atmosphère assimilée à un gaz parfait telle que $T(z = 0) = T_0$, $p(z = 0) = p_0$ et $T(z) = T_0 - kz$.

Déterminer $p(z)$. Donner un ordre de grandeur de k.

Thermodynamique 8 *(Mines)*

On impose au sol une température variable donnée par la loi

$$T(0, t) = T_0 + a_0 \cos \omega t$$



Déterminer $T(z, t)$.

Thermodynamique 9 *(Ensam, mines)*

Un fusible est modélisé par un cylindre de longueur L, de rayon R, de conductivités thermique et électrique λ et . σ. Un courant électrique de densité volumique uniforme j le parcourt. Le flux thermique est radial et l'état est stationnaire.

1. Donner la loi de Fourier et interpréter le signe -. Exprimer la puissance thermique transferée en r.
2. Etablir l'expression
$$\frac{\lambda}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial \mathrm{T}}{\partial r}\right)+\frac{j^2}{\sigma}=0$$
3. La température en surface est T_0. Déterminer $\mathrm{T}(r)$. En quel point T est-elle la plus grande ?

Thermodynamique 10 *(Centrale)*

Une enceinte calorifugée contient 1g d'eau vapeur à 150°C sous la pression constante de 1 atm. Quelle masse d'eau à 10°C faut-il introduire pour n'avoir à l'état final que du liquide à 100°C ? On connaît les capacités thermiques de l'eau vapeur assimilée à un gaz parfait et de l'eau liquide ainsi que la chaleur latente de vaporisation ℓ_{V} à 100°C sous 1atm.

Calculer l'entropie créée.

— La capacité thermique massique de l'eau liquide est $c_e = 4,18\mathrm{J}.g^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$
— La chaleur latente de vaporisation de l'eau liquide à 100°C sous 1 bar est $\ell_v = 2230\mathrm{J}.g^{-1}$
— La capacité thermique massique de l'eau vapeur est $c_p(vapeur) = 2,0\mathrm{J}.g^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$

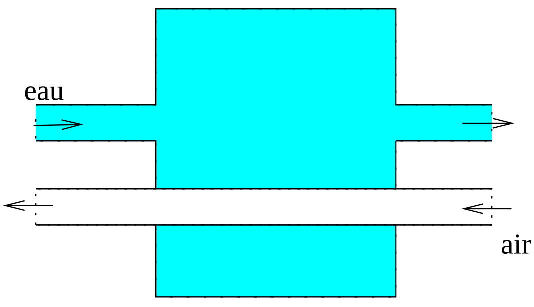
Thermodynamique 11 *(Centrale)*

Un moteur ditherme réversible fonctionne entre une pseudo-source chaude constituée d'eau liquide de capacité thermique $\mathrm{C}=4.10^6\mathrm{J.K}^{-1}$ et de température initiale T_{0c} = 100 °C et une pseudo source froide constituée d'eau liquide de température initiale T_{0f} =10° C.

1. Faire un schéma de principe du moteur en orientant soigneusement les échanges d'énergie.
   Déterminer la température finale des deux pseudo-sources (on utilisera le fait qu'un moteur monotherme n'existe pas).
2. Calculer le travail total fourni par le moteur.
3. Définir et calculer le rendement du moteur. Le comparer au rendement de Carnot.

Thermodynamique 12 *(Centrale)*

De l'air chaud (P_1=6 bars, $\mathrm{T}_1 = 500\mathrm{K}$) est refroidi de façon isobare jusqu'à une température T_0 de 300K dans un échangeur calorifugé. Le fluide réfrigérant est de l'eau de capacité thermique massique c=4,18 $\mathrm{kJ.kg}^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$) qui entre à la température $\theta_e = 12$°C et qui sort à θ_s. Le débit massique de l'eau est $d = 100g.s^{-1}$ et celui de l'air est $\mathrm{D}_m = 6,5g.s^{-1}$. La capacité thermique de l'air supposé être un gaz parfait est $c_{pair} = 1k\mathrm{J}.kg^{-1}.\mathrm{K}^{-1}$.



Echangeur thermique

1. Effectuer un bilan macroscopique enthalpique pour chacun des fluides.
2. Justifier que les puissances thermiques reçues par les deux fluides sont opposées.
3. En déduire la température θ_s.
4. Montrer que le taux de création d'entropie est
$$\frac{\delta \mathrm{S}_c}{dt} = d(\mathrm{S}_2-\mathrm{S}_1)_{\mathrm{eau}} + \mathrm{D}_m(\mathrm{S}_2-\mathrm{S}_1)_{\mathrm{gaz}}$$
5. Calculer numériquement ce taux.

Thermodynamique 13 *(Centrale)*

On plonge un glaçon de 50 g à -10°C dans une piscine à 20°C. Calculer la création d'entropie et estimer le temps nécessaire à la fonte du glaçon.

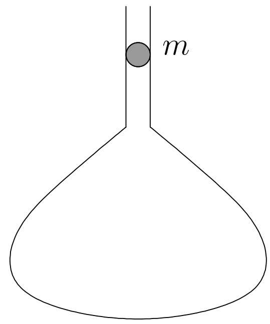
On donne C_{eau}, C_{glace}, L_f et h le coefficent de transfert thermique par convection. On rappelle que $P_{\text{échangée}} = hS(T_{ext} - T_{int})$.

Données numériques :

$$h = 50 \text{ J.m}^{-2}.\text{s}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad C_{eau} = C_{glace} = 4 \text{ kJ.K}^{-1}.\text{kg}^{-1} \quad \text{et} \quad L_f = 300 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Thermodynamique 14 *(Centrale)*

Un gaz parfait est enfermé dans un ballon dont le col est un tube de section S dans lequel se trouve une bille de masse m. On note P_0, V_0 et T_0 les caractéristiques du gaz à l'équilibre et on suppose la transformation lente et adiabatique. γ le coefficient isentropique est supposé indépendant de T.
Etudier les oscillations de la bille dans le col.



Thermodynamique 15 *(Mines)*

Un matériau compris entre les plans $x = 0$ et $x = \ell$ possède une conductivité thermique K, une capacité thermique massique C et une masse volumique ρ.

A $t = 0$, la température du milieu est donnée par :

$$T(x,t) = T_0 + \theta_0 \sin\left(\frac{\pi x}{\ell}\right)$$

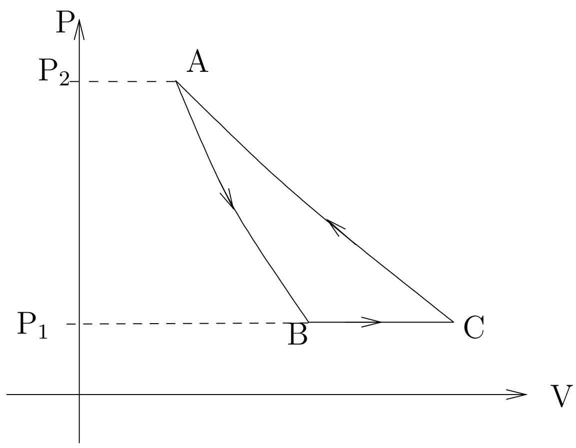
On le plonge à cet instant dans un thermostat de température T_0.

Déterminer $T(x,t)$.

Thermodynamique 16 *(CCP)*

Le cycle représenté est constitué de trois transformations réversibles : une adiabatique, une isotherme et une isobare.
Le fluide est un gaz parfait de coefficient γ constant.

1. Montrer que ce cycle peut être associé à une machine type « pompe à chaleur ».
2. Déterminer son efficacité en fonction des températures T_A et T_B. Effectuer l'application numérique pour T_A = 450 K et T_B=300K.



Thermodynamique 17 *(Centrale)*

Un récipient où l'atmosphère maintient une pression constante $p_0 = 1$ bar contient 1 kg d'eau liquide à une température T_0 inférieure à la température de fusion T_f=273 K à la pression p_0. Dans de telles conditions, l'eau devrait être dans l'état solide ; l'état liquide observé est un état métastable et on dit que l'eau est surfondue. Il suffit alors d'un choc (par exemple le mouvement d'un essuie-glace sur un pare-brise) pour que l'eau passe rapidement à l'état solide. On donne l'enthalpie massique de fusion de l'eau ℓ_f et la capacité thermique massique c supposée indépendante de la température et identique pour l'eau liquide et solide.

1. En supposant l'évolution suffisamment rapide pour être adiabatique, déterminer la température T_1 dans l'état final où toute l'eau est à l'état solide.
2. Exprimer l'entropie créée au cours de cette évolution et en déduire une condition sur T_0.

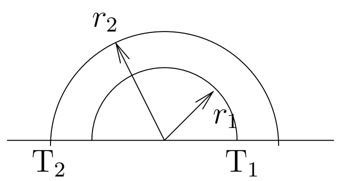
Thermodynamique 18 *(Centrale)*

Deux solides de capacités thermiques C_1 et C_2, de conductibilité thermique infinies, sont reliés par une tige de section S de longueur L de conductivité thermique K et de capacité thermique nulle. Le système est calorifugé et à l'instant initial les températures des solides sont T_{10} et T_{20} avec $T_{10} < T_{20}$.

1. Evaluer la résistance thermique de la tige.
2. Déterminer $T_1(t)$ et $T_2(t)$. On posera
$$T_f = \frac{C_1}{C_1 + C_2} T_{10} + \frac{C_2}{C_1 + C_2} T_{20} \quad \text{et} \quad \Delta T = T_{10} - T_{20}$$
3. Comment évolue l'entropie du système ?

Thermodynamique 19 *(CCP)*

La demi-coquille sphérique représentée ci-contre est constituée d'un matériau homogène de masse volumique μ, de capacité thermique λ et de conductivité thermique λ.



1. Rappeler et commenter la loi de Fourier.
2. Donner l'équation différentielle verifiée par $T(r,t)$ en supposant le problème à symétrie sphérique.
3. Résoudre cette équation en régime stationnaire sachant que $\Delta T = \dfrac{1}{r}\dfrac{d^2(rT)}{dr^2}$
4. Calculer le flux thermique traversant le matériau ainsi que la résistance thermique.

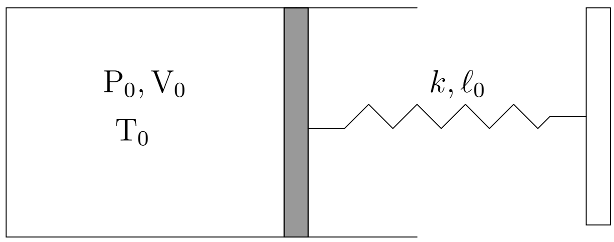
Thermodynamique 20 *(Centrale)*

Une machine thermique alimentée par un moteur de puissance P=20 kW refroidit de manière réversible une patinoire de volume $V_1 = 20$ m^3 et accessoirement réchauffe une piscine de volume $V_2 = 250$ m^3. Initialement, patinoire et piscine sont à 20°C. On veut que la température finale soit de -5°C pour la patinoire. L'eau a une capacité thermique massique de $4k$J.K$^{-1}kg^{-1}$.

1. Faire un schéma de principe de la machine en orientant soigneusement les échanges d'énergie.
2. Faire un bilan d'entropie et en déduire la température finale de la piscine.
3. Calculer Q_1 et Q_2, les transferts thermiques reçus par la piscine.
4. Faire un bilan d'énergie et en déduire la durée de fonctionnement de la machine.
5. Définir et calculer le rendement de la machine.

Thermodynamique 21 *(Mines)*

L'enceinte adiabatique ci-contre contient un gaz parfait (P_0, V_0, T_0). Le piston est muni d'un ressort de longueur à vide ℓ_0 et de raideur k. γ le coefficient isentropique est supposé indépendant de T.
Donner l'équation du mouvement si on néglige les frottements.



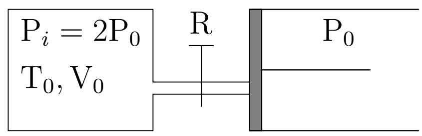
Thermodynamique 22 *(Centrale)*

Quatre comparses partent en expédition au pôle nord et décident de construire un igloo. Ils veulent une température de 0° dans l'igloo alors qu'il fait -10°C dehors. Chacun dégage une puissance de 60 W. On donne la conductivité thermique de la glace.

1. Auront-il intérêt à construire un igloo de petit ou de grand rayon intérieur pour minimiser l'épaisseur de glace ?
2. On donne h_1 et h_2 les coefficents conducto-convectifs air/glace. Lequel est le plus grand en présence de vent ? On donne le rayon extérieur, comment calculer le rayon intérieur ?
3. Le régime stationnaire est-il suffisant pour avoir conservation du flux ?

Thermodynamique 23 *(Mines)*

On considère le système ci-contre dans l'état initial. Le compartiment de gauche contient un gaz parfait et est séparé du compartiment de droite par un robinet.
A droite du piston se trouve l'atmosphère à la pression constante P_0. L'enceinte est calorifugée et à $t = 0$, on ouvre le robinet R.



1. Déterminer l'état final : pression, température et volume finaux.
2. Calculer l'entropie créée. La transformation est-elle irréversible ?

Thermodynamique 24 *(Centrale)*

On considère un jet de photons sur une surface S parfaitement réfléchissante. n est la densité particulaire de photons incidents. Ces photons ont une énergie $h\nu$ et une quantité de mouvement $\frac{h\nu}{c}$.

1. Quelle est la quantité dtaue mouvement qu'un photon cède à la plaque ?
2. En déduire une relation entre la pression exercée sur la plaque et l'énergie volumique incidente moyenne.
3. On dispose d'une plaque d'aluminium d'épaisseur e et de masse volumique donnée. Quelle est l'intensité minimale du laser pour soulever la plaque.
4. Dans la plaque la température est uniforme. La plaque absorbe 0,1% de l'intensité incidente. Elle cède une puissance surfacique $h(T - T_{air})$ à l'atmosphère ambiante. On donne la capacité thermique massique de l'aluminium. Déterminer $T(t)$.

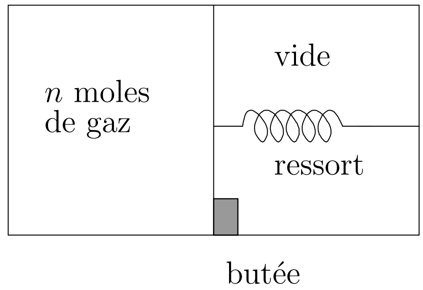
Thermodynamique 25 *(Centrale)*

On considère une coquille sphérique (rayon intérieur R_1, rayon extérieur R_2) de conductivité thermique λ. L'intérieur de la cavité est à T_1 et contient un mélange d'eau liquide et de glace (1 g de glace). L'air est à l'extérieur à T_2. On a des transferts thermiques conducto-convectifs au niveau de R_1 (h_1) et au niveau de R_2 (h_2).

Au bout de combien de temps la glace fond-elle ?

Thermodynamique 26 *(Mines)*

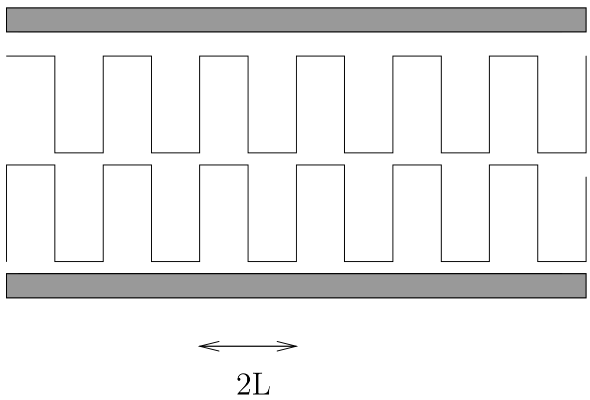
On considère le système ci-contre : le piston est calorifugé, mobile dans le cylindre calorifugé, de section S= 500 cm^2. Il sépare le cylindre en un compartiment de gauche contenant 0,01 mole d'un gaz parfait diatomique et un compartiment de droite où règne un vide poussé. Le piston est relié à un ressort de raideur $k = 10^4$ N.m^{-1}.



1. Initialement, le piston est coincé par une butée B, le ressort n'est pas tendu, la pression du gaz vaut $P_0 = 0,241$ bar et sa température vaut T_0 =290K. Calculer le volume initial V_0 occupé par le gaz.
2. On supprime la butée B. Le système évolue vers un nouvel état d'équilibre. Déterminer l'allongement x_F, le volume V_f, la pression p_f ainsi que la température T_f.

Thermodynamique 27 *(Centrale)*

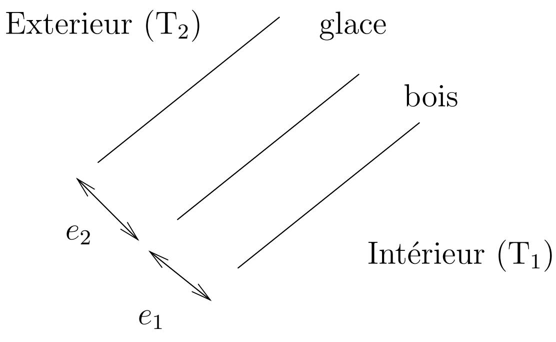
1. Retrouver l'équation de la chaleur 1D. On cherche des solutions à variables séparables.
2. On considère deux peignes parfaitement identiques de période 2L que l'on imbrique l'un dans l'autre.



   Initialement l'un est à T_1 et l'autre à T_2. Déterminer $T(x, t)$.
3. Donner un ordre de grandeur d'évolution de la durée d'évolution du système.

Thermodynamique 28 *(Centrale)*

On considère le toit d'une maison recouvert de neige

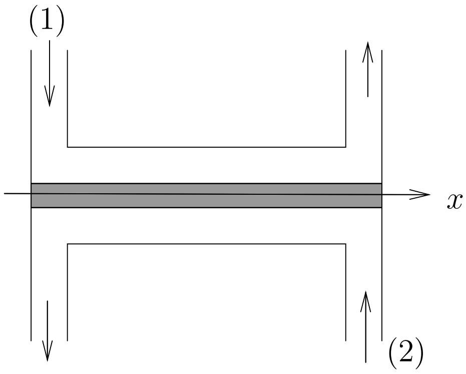


On donne les conductivités thermiques de la neige du bois et les coefficients conducto convectifs.

1. Déterminer la résistance thermique de l'interface air/glace, de l'intreface air/bois , de la glace et du bois.
2. Condition sur T_1 pour que la glace ne fonde pas.

Thermodynamique 29 *(Mines)*

Deux liquides (1) et (2) se propagent en sens contraire dans deux tuyaux en contact



La puissance transférée entre les deux fluides de températures T_1 et T_2 entre x et $x + dx$ est $dP_{th} = G(T_1 - T_2)dx$.

Les liquides sont caractérisés par leur capacité thermique massique c_1 et c_2 ainsi que par les débits massiques D_1 et D_2.

1. Ecrire les équations différentielles couplées vérifiées par $T_1(x)$ et $T_2(x)$.
2. Résoudre lorsque $c_1D_1 = c_2D_2 = cD$.

Thermodynamique 30 *(Mines)*

On considère une barre de longueur L et de section carrée de côté a.

1. Les parois latérales sont calorifugées et les extrémités sont en contact avec des thermostats à la même température T_0. La barre a une masse volumique ρ, une capacité thermique c, une conductivité thermique λ, une conductivité électrique γ. Elle est parcourue par un courant d'intensité I. Déterminer $T(x)$ en régime permanent.
2. A $t = 0$, on calorifuge les extrémités et on impose I=0. La barre évolue jusqu'à une température uniforme T_f. Déterminer T_f.
3. Temps caractéristique de l'évolution ?

Thermodynamique 31 *(Centrale)*

On considère un filament cylindrique de tungstène de longueur L, rayon a, conductivité γ.

On suppose que les seuls échanges thermiques du filament avec l'extérieur se font par rayonnement, avec une puissance surfacique $\varepsilon\sigma T^4$. On suppose que la température est uniforme dans le filament. On applique une différence de potentiel U entre les deux extrémités du filament.

1. Déterminer la température en régime permanent lorsque la tension U=220V est constante ?
2. On applique une tension sinusoïdale de valeur efficace U_{eff} et de pulsation ω. Quelle est l'équation différentielle vérifiée par T ?