THERMODYNAMIQUE

EXERCICES

T1 Maximalisation d'une température

On dispose de 3 solides identiques, de même capacité C, de températures initiales :

$T_{10} = 100$ K, $T_{20} = 300$ K et $T_{30} = 300$ K

En utilisant des machines thermiques, mais sans apport d'énergie extérieure, comment porter l'un des 3 solides à une température maximale ? Quelle est cette température ?

T2 Cycle de travail nul

Une mole de GP décrit un cycle réversible constitué de deux transformations isothermes, une isentropique et une isochore. Construire le cycle pour que le travail total soit nul. Le représenter en diagrammes (P, V) et (T, S). Les températures des isothermes sont T_1 et αT_1, et on note τ le rapport $\dfrac{V_{isochore}}{V_{min\,i}}$.

Déterminer τ en fonction de α et du rapport γ du gaz.

T3 Fuite dans un récipient sous pression

L'atmosphère est supposée à pression P_0 et température T_0 constantes. Un récipient à parois adiabatiques contient un GP dans les conditions xP_0, V_0, T_0, où x est supérieur à 1. Le gaz peut se détendre dans l'atmosphère par l'intermédiaire d'un robinet provoquant une fuite légère dans le récipient.

Déterminer la température finale du gaz dans le récipient en fin de détente. Quelle est la variation d'entropie de l'univers ?

T4 Climatiseur

Un local de capacité thermique $C = 4.10^3$ kJ.K^{-1} est initialement à la température de l'air extérieur $T_0 = 305$ K. Un climatiseur cyclique réversible ramène la température à 20°C en 1h.

Quelle puissance électrique le climatiseur consomme-t-il ?

T5 Bilan entropique d'un mélange eau-glace

Dans un calorimètre, on mélange 1kg d'eau à 20°C et 500 g de glace à 0°C.
Déterminer l'état final du système, la variation d'entropie correspondante et commenter.
On donne : chaleur de fusion de la glace $L_v = 336$ kJ kg^{-1}

T6 Liquéfaction par détente

Un récipient parfaitement calorifugé, muni d'un robinet, contient initialement de l'Hélium, à la pression $p_0 = 80$ bars, à la température T_0.(p_0 est supérieure à la pression critique p_C).
Par ouverture du robinet, on provoque une fuite lente de l'Hélium jusqu'à atteindre la pression d'équilibre $p_1 = 1$ bar.
Entre quelles valeurs T_0 devait-elle être comprise pour obtenir à l'intérieur du récipient un mélange He liquide - He gaz à l'équilibre ? Représenter les évolutions correspondantes en diagramme (p,v).
On donne :

- température d'équilibre He liq <-> He gaz sous $p_1 = 1$ bar : $T_1 = 4{,}22$ K
- chaleur de vaporisation de He à T_1 : $L_v = 20{,}8$ J g^{-1}

T7 Evolution isochore d'un mélange liquide-vapeur

Un cylindre, de hauteur H = 1 m, de section s, contient un mélange eau liquide, vapeur d'eau en équilibre à 100°C, avec une hauteur d'eau liquide dans le cylindre égale à h = 10 cm.

On porte le cylindre à 200°C. En admettant que la vapeur se comporte comme un gaz parfait et que la pression de vapeur saturante de l'eau varie en fonction de T suivant la loi empirique de Duperray :

$$p_s = \left[\frac{t}{100}\right]^4 \quad t \text{ en °C et } p_s \text{ en bars}$$

Déterminer la hauteur dont a varié le niveau de l'eau liquide dans le cylindre.

Reprendre le problème avec une hauteur initiale h = 5 mm. Calculer alors la pression finale et la température à laquelle disparaît la dernière goutte d'eau liquide.

T8 Vaporisation dans le vide

La pression maximale de vapeur d'eau en bars entre 0° et 130°C est exprimée par la formule empirique de Rankine :

$$\ln p = A - \frac{5120}{T}$$

La chaleur de vaporisation de l'eau, en kJ.kg^{-1}, est, elle, donnée par la formule de Regnault :

$$L = 3335 - 2{,}91\ T$$

Calculer le volume massique de la vapeur saturante à 100°C sous la pression atmosphérique. Comparer le résultat obtenu à celui qu'on obtiendrait en assimilant cette vapeur à un gaz parfait.
On introduit 1g d'eau dans un récipient de 1l initialement vide. Quelles sont les proportions respectives de vapeur et de liquide à 50°C ?

T9 Cycle de Rankine

L'eau d'une centrale thermique décrit le cycle de Rankine dans une installation comprenant :

- une pompe d'alimentation, où elle est comprimée de P_1 à P_2
- une bouilloire où elle se vaporise à T_2
- un détendeur qui la ramène à T_1, dans le domaine L-V.
- un condenseur, où elle se liquéfie à T_1

Dans la pompe, l'évolution est isentropique et l'élévation de température négligeable.
Dans la bouilloire, l'eau liquide passe à l'état de vapeur
La détente est supposée isentropique.
Dans le condenseur, l'eau passe de l'état de mélange L-V (titre vapeur x) à l'état de liquide saturant (x = 0).
Représenter ce cycle en diagramme (P,v).
Connaissant la chaleur massique de l'eau liquide c et les chaleurs latentes massiques de vaporisation L_1 et L_2 à T_1 et T_2, calculer le rendement de ce cycle.
Reprendre ces questions pour le cycle de Hirn, variante du cycle de Rankine, où la vapeur d'eau est surchauffée dans la bouilloire jusqu'à T_3, de sorte que le détendeur la ramène à l'état de vapeur saturée (x = 1). Quel peut être l'intérêt de ce cycle par rapport au précédent ?

T10 Flux thermiques dans une barre conductrice

On considère une barre de conductivité thermique λ, de masse volumique ρ, de chaleur massique c et de longueur L, dont les extrémités sont maintenues aux températures T_1 et T_2.

1) La barre est supposée parfaitement calorifugée sur son pourtour. Rappeler, en, régime permanent, la répartition de température dans la barre supposée unidimensionnelle. Quelle est l'entropie créée par unité de temps ?

2) La barre n'est plus calorifugée : une surface dS du pourtour échange avec l'extérieur de température constante T_0, une puissance thermique élémentaire :

$$dP = h\,(T-T_0)dS$$

où T est la température de l'abscisse considérée de la barre et h un coefficient dont on donnera l'unité. Déterminer la nouvelle répartition de température dans la barre .

3) On se place à nouveau dans les condition de la question 1). A partir de l'état de régime permanent on retire les sources de températures T_1 et T_2 et on calorifuge parfaitement les extrémités de la barre . Déterminer la température finale et l'entropie crée.

T11 Diffusion thermique dans un fil électrique

Un fil cylindrique, de rayon a, est parcouru par un courant électrique uniforme d'intensité I, en régime permanent. Il est entouré d'une gaine isolante d'épaisseur b, la température extérieure étant constamment égale à T_0. On néglige tout effet de bord et on note respectivement γ, λ et k les conductivités électrique du fil et thermiques du fil et de la gaine.

Déterminer la répartition de température dans le fil et la gaine.
Où cette température est -elle maximale ?

T12 Egalisation de deux températures

Deux solides, de même capacité thermique C, initialement aux températures T_{10} et T_{20}, sont reliés à $t = 0$ par un conducteur thermique de résistance R_{th} et de capacité négligeable. L'ensemble est supposé thermiquement isolé de l'extérieur et l'évolution suffisamment lente pour qu'on puisse se placer à chaque instant dans les conditions d'un régime permanent.

Déterminer la loi de variation des températures $T_1(t)$ et $T_2(t)$ des deux solides.

Etablir une analogie électrique du problème.

T13 Diffusion de neutrons

On étudie la diffusion de neutrons dans un milieu fissible, de constante D. Le problème est unidimensionnel, la densité volumique de neutrons étant notée n(x, t). A l'abscisse x et au temps t, le milieu absorbe $\frac{n(x,t)}{\tau}$ neutrons par unité de temps et de volume. Pour chaque neutron absorbé, K neutrons ($K > 1$) sont produits.

1° Déterminer l'équation différentielle à laquelle obéit n(x, t)

2°) Le milieu est limité par les plans $x = - a$ et $x = + a$ pour lesquels on doit avoir $n = 0$, avec de plus $n = n_0$ en $x = 0$.

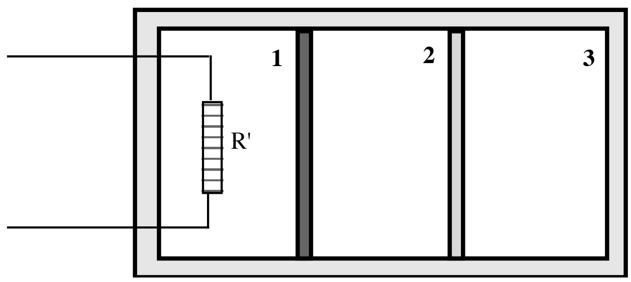
- montrer qu'il existe un régime stationnaire possible pour une valeur particulière K_s de K.
- si K est différent de K_s, on cherche un régime de la forme $n(x, t) = f(x)\ e^{-\frac{t}{\tau'}}$. Discuter de la validité de ce modèle suivant les valeurs de K.

T14 Evolutions de gaz parfaits

Un cylindre à parois adiabatiques est divisé en trois compartiments contenant chacun 1 mole de GP diatomique et séparés par des pistons mobiles et sans frottement. Le piston 1/2 est diatherme alors que le piston 2/3 est adiabatique.

Dans l'état initial, $T_1 = T_2 = T_3 = T_0 = 300$ K et $P_1 = P_2 = P_3 = P_0 = 1$ bar.

Dans la résistance chauffante R', de valeur constante et de capacité thermique négligeable, on fait passer un courant constant i_0 suffisamment faible pour que le système évolue très lentement.



On arrête le chauffage quand $T_3 = T_f = 360$ K.

Déterminer :

- l'état final du gaz dans chaque compartiment
- la variation d'entropie du gaz dans chaque compartiment.
- l'énergie fournie par le générateur imposant le courant

Représenter les évolutions du gaz dans chaque compartiment en diagramme (P,V)

T15 Détente fractionnée d'un G.P.

Une mole de gaz parfait monoatomique est dant l'état initial T_0 = 1000 K et $P_0 = 10^6$ Pa. On étudie divers modes de détente jusqu'à la pression $P_1 = 10^5$ Pa :

- détente adiabatique réversible
- détente adiabatique irréversible à pression extérieure constante P_1
- détente adiabatique irréversible fractionnée en plusieurs étapes.

Proposer une réalisation pratique exacte ou approchée de ces diverses détentes.

Dans les deux premiers cas, établir une relation entre les rapports $\frac{T_f}{T_0}$ et $\frac{P_1}{P_0}$. Déterminer la température finale T_f du gaz dans le récipient en fin de détente, le travail mécanique W fourni par le gaz et sa variation d'entropie ΔS.

On fractionne la détente irréversible en deux étapes. Comment choisir la pression intermédiaire P' de sorte que les taux de détente soient identiques à chaque étape ? Recalculer dans ce cas T_f, W et ΔS. Représenter les états initial et final du gaz dans un diagramme (LnT, LnP) pour chacun des 3 modes de détente. Reprendre la question précédente avec un fractionnement en N étapes de taux de compression identiques. Examiner le cas où N tend vers l'infini.

T16 Climatiseur

Un climatiseur fait passer la température d'une pièce de la valeur initiale T_0 (température de l'extérieur) à la valeur $T_1 < T_0$ en un temps τ.

Ce climatiseur reçoit d'un moteur la puissance constante P_m . En déduire la capacité thermique de la pièce.

T17 Moteur et pseudo-sources

Soit un moteur thermique réversible fonctionnant entre deux sources de même capacité thermique $C = 4.10^5$ JK^{-1}, dont les températures initiales respectives sont θ_2 = 10 °C et θ_1 = 100 °C .

- Donner le schéma de principe de ce moteur en indiquant par des flèches le sens des transferts thermiques et du travail (on désignera par T la température de la source chaude et par T' celle de la source froide).

- Quelle est la température T_f des deux sources quand le moteur s'arrête de fonctionner ?

- Calculer le travail fourni par ce moteur jusqu'à son arrêt.

- Calculer le rendement global. Comparer avec le rendement théorique maximal que l'on pourrait obtenir si les températures initiales des deux sources restaient constantes.

T18 Dépression. Entropie de mélange.

Soit un récipient de volume V_0, de température T_0, contenant de l'air assimilable à un gaz parfait à la pression $P_0(1 - x)$ avec $0 < x < 1$.

Par un petit robinet, de l'air pénètre dans le récipient. L'atmosphère est à la pression P_0, et à la température T_0 constantes.

- Exprimer le travail et le transfert thermique échangés dans cette opération, en fonction de P_0, V_0 et x.
- Effectuer un bilan entropique de l'opération

- Reprendre cette question dans les cas où le récipient contient un autre gaz que de l'air.

T19 Vaporisation dans le vide

Dans une enceinte vide de volume V = 10 L, thermostatée à la température θ = 50 °C, on injecte une masse variable m d'eau liquide à l'aide d'une seringue. Déterminer l'évolution de la pression dans l'enceinte en fonction de la masse m introduite.

Pression de vapeur saturante de l'eau à 50 °C : P_0 = 90 mm Hg.

T20 Détente d'air humide

Une enceinte de volume V = 10 L, thermostatée à la température θ = 50 °C, contient de l'air humide, en présence d'une masse m_0 = 1g d'eau liquide. La pression initiale mesurée dans l'enceinte est P_0 = 1 bar.

On détend réversiblement cet air jusqu'à ce que le volume de l'enceinte triple.

Déterminer l'état final du système, les échanges énergétiques associés à la détente et la variation d'entropie correspondante.

Pression de vapeur saturante de l'eau à 50 °C : P_0 = 0,12 bar.
Chaleur latente de vaporisation de l'eau à 50° C : l_v = 2380 kJ.kg^{-1}

T21 Vaporisation par pompage

Un récipient parfaitement adiabatique contient une masse d'eau liquide m_0 = 20 g, initialement à T_0 = 345 K, en équilibre avec sa vapeur. On pourra constamment négliger la masse d'eau vaporisée présente dans le récipient par rapport à la masse liquide.

Le récipient comporte une soupape reliée à une pompe qui aspire lentement et continûment la vapeur du récipient.

En admettant que la chaleur de vaporisation de l'eau est de la forme L = A - BT, établir la relation liant la masse d'eau liquide à tout instant m(t) à sa température T(t).

A.N. L = 3310 - 2,9 T kJ.kg^{-1} . Quelle a été la fraction d'eau vaporisée quand on atteint 0°C ?

Que se passe-t-il ensuite si on continue à pomper ?

Quelle est la masse de glace obtenue quand toute l'eau liquide a disparu ?

On donne L_f = 335 kJ.kg^{-1} chaleur de fusion de la glace à 0°C.

T22 Cycle d'un fluide réfrigérant

Dans un liquéfacteur, 1kg de fluide réfrigérant subit le cycle suivant :

- Transformation isotherme amenant d'un point de la courbe de rosée, à P_1 et T_1, à l'autre extrémité du palier de saturation.
- Refroidissement isobare du liquide obtenu jusqu'à T'_1.
- Détente isenthalpique jusqu'à T_2, où coexistent liquide et vapeur.
- Evaporation partielle à T_2 et P_2 constantes.
- Compression isentropique ramenant à l'état de départ.

Représenter ce cycle en diagramme (P,v). Calculer la chaleur retirée à la source froide à chaque cycle.
Données :
- chaleurs latentes de vaporisation : $L_1 = 314$ kcal. kg^{-1} à T_1 et $L_2 = 318$ kcal. kg^{-1} à T_2.
- $t_1 = 10°C$, $t'_1 = 7{,}22°C$ et $t_2 = -5°C$.
- chaleur massique du liquide $c_l = 0{,}164$ kcal. kg^{-1}.K^{-1}

T23 Moteur thermique

Un moteur thermique utilise de l'eau qui décrit le cycle suivant :

- Vaporisation totale de l'eau de l'état de liquide saturant à l'état de vapeur saturante dans une chaudière, à la pression $P_1 = 40$ bar et la température $\theta_1 = 250°$ C.
- Détente dans le cylindre moteur calorifugé, où on récupère le travail w, et qui amène l'eau à l'état de mélange L-V, à $P_2 = 0{,}5$ bar et $\theta_2 = 45$ ° C.
- Liquéfaction partielle de l'eau dans le condenseur à P_2 et θ_2.
- Compression isentropique qui ramène l'eau à l'entrée de la chaudière .

Déterminer w et le rendement du moteur.

Données :

θ	$Ps(\theta)$	h_l	h_v	s_l	s_v
45°C	0,5 bar	188		0,627	8,15
250°C	40 bar	1083	2796	2,8	

Les enthalpies sont exprimées en kJ.kg^{-1} et les entropies en kJ.kg^{-1}.K^{-1}

T24 Double vitrage

Une vitre, de largeur L, de hauteur H et d'épaisseur e, isole une pièce, maintenue à la température T_i de l'extérieur, de température T_e. Quelle est la puissance thermique perdue par la pièce ?

On remplace la vitre par un double vitrage formé de deux vitres identiques à la précédente, séparées par une couche d'air d'épaisseur d.

A.N. L = 1,2 m H = 1,5 m e = 5 mm d = 7mm $T_i = 20$ °C $T_e = 5$ °C
λair = 24.10^{-3} W.K^{-1}.m^{-1} λverre = 1,2 W.K^{-1}.m^{-1}

T25 Maintien de la température d'un mammifère

On modélise un petit mammifère par une sphère de rayon R = 30 cm. Pour maintenir sa température de surface à T_s = 30°C, dans un milieu extérieur de conductivité thermique λ, de température T_0 = 20°C loin du mammifère, il développe une puissance volumique p constante et uniforme.

Quelle doit être la valeur de p quand le milieu extérieur est :
- l'air $\lambda = 24.10^{-3}$ W.K^{-1}.m^{-1}
- l'eau $\lambda = 0{,}6$ W.K^{-1}.m^{-1}

T26 Bouffée de chaleur

Un milieu unidimensionnel, de masse volumique ρ, de chaleur massique c, de conductivité thermique λ est le siège de fluctuations de température autour d'une température moyenne T_0 : dans ce milieu, la température est de la forme $T(x, t) = T_0 + \theta(x, t)$.

On admettra (ou on pourra vérifier) que la fonction $\theta(x, t) = \dfrac{A}{\sqrt{4\pi D t}} \exp\left(-\dfrac{x^2}{4Dt}\right)$ où $D = \dfrac{\lambda}{\rho c}$, est solution de l'équation de diffusion de la chaleur.

Le milieu est une barre cylindrique de section S parfaitement calorifugée, de très grande longueur, initialement à la température T_0. On apporte, à t = 0, une énergie thermique Q au milieu de la barre.

Déterminer les fluctuations θ(x, t) dans la barre. Donner l'allure des fonctions $\theta(x_0, t)$ et $\theta(x, t_0)$. Commenter.

A.N. $D = 4{,}5.10^{-4}$ m^2.s^{-1} (métal) ou 5.10^{-7} m^2.s^{-1} (bois). A quelle date la température passe-t-elle par un maximum à 10 cm et à 1 m de l'extrémité de la barre ?

On donne : $\displaystyle\int_{-\infty}^{+\infty} e^{-y^2} dy = \sqrt{\pi}$

T27 Evaporation de l'éther dans un tube

De l'éther est placé dans un tube. Initialement l'éther occupe une hauteur H = 15 cm et est surmonté d'une colonne d'air de hauteur h_0 = 5 cm. L'éther s'évapore lentement et diffuse dans l'air qui le surmonte. On fait les hypothèses suivantes :

- au niveau de l'interface éther liquide- air, la pression partielle d'éther est la pression de vapeur saturante P_s.
- au niveau du haut du tube, la pression partielle d'éther est négligeable.
- la température de l'expérience est constante T_0 = 293 K

Déterminer le temps nécessaire à l'évaporation complète de l'éther.

Données :
- Ether : masse molaire M = 74,1 g. mol^{-1} , masse volumique ρ = 626 kg.m^{-3}
- Pression de vapeur saturante à la température de l'expérience P_s = 0, 583 bar
- Diffusivité de l'éther dans l'air $D = 1{,}5.\ 10^{-5}$ m^2.s^{-1}

T28 Efficacité d'un congélateur

Sur la fiche technique d'un congélateur, on relève les données suivantes :

Volume utile : 230 l   dimensions H*L*P : 130*60*60 (en cm)
Température intérieure t_i = - 18°C
Consommation électrique : 0,70 kWh par jour pour une température extérieure t_e = + 20°C
Conductivité thermique des parois : λ = 0,04 SI

1°) On suppose le congélateur parallélépipédique. A l'aide des données, évaluer l'épaisseur des parois notée e et supposée faible devant H, L et P.

2°) Quelle est l'unité de λ ? Est-ce un bon isolant ?

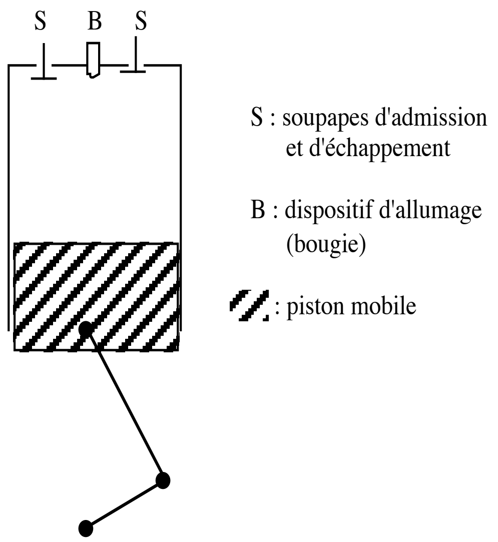
3°) Evaluer la puissance thermique des fuites.

4°) Calculer la puissance moyenne consommée par le congélateur.

5°) En supposant que l'intégralité de l'énergie électrique est convertie en énergie mécanique, évaluer l'efficacité du congélateur.

(extrait ENS Cachan-X PSI 2004)

T29 Moteur à explosion. Cycle Beau de Rochas



Le moteur est composé d'un ou plusieurs cylindres. Chaque cylindre contient un piston mobile, lié à une bielle, elle-même liée à un vilebrequin, dans le but de transformer le mouvement alternatif de translation du piston en mouvement de rotation du vilebrequin.

Le cylindre délimité par le piston est le lieu d'une combustion d'un mélange gazeux, introduit par un orifice fermable par une soupape dite d'admission, et le mélange issu de la combustion est évacué du cylindre par un orifice fermable par une soupape dite d'échappement.

Dans ce moteur à explosion, un fluide supposé parfait décrit le cycle Beau de Rochas (appelé aussi cycle d'Otto) qui s'effectue en 4 temps :

1er temps : admission : A –> B on aspire à P_B = 1 bar et T_B = 20°C un mélange {air + essence} gazeux, considéré comme un gaz parfait et dans les conditions stœchiométriques de la combustion.

2ème temps : compression : B –> C compression adiabatique réversible du mélange.

3ème temps : combustion : C –> D combustion apportant à volume constant le transfert thermique Q_V. D –> E détente adiabatique réversible des gaz de combustion.

4ème temps : échappement: E –> B la pression chute du fait de l'ouverture du cylindre vers l'extérieur (soupape d'échappement ouverte). B –> A on refoule le gaz vers l'extérieur.

On admettra que le cycle BCDE se fait avec un nombre de moles de gaz n constant introduit lors de l'admission, gaz assimilé à un gaz parfait γ = constante.

On appellera V_{min} le volume minimal occupé par le gaz lorsque le piston est au point maximal haut (PMH), et V_{max} lorsqu'il est au PMB. $V_{max} - V_{min}$ = C cylindrée du moteur. On posera également $\tau = \frac{V_{max}}{V_{min}}$ (taux de compression).

1°) Représenter le cycle de transformation B, C, D, E dans un diagramme de Watt.(P, $V_{cylindre}$)
2°) Quel est le travail total fourni au piston pendant un cycle de son fonctionnement ?
3°) Calculer le rendement théorique de ce cycle. A. N. : prendre $\tau = 8$ puis $\tau = 10$, $\gamma = 1{,}34$.
4°) En fait le mélange air-essence s'enflamme spontanément à 330°C, ce que l'on souhaite éviter. Calculer le taux de compression maximal permettant d'éviter cet "auto-allumage". Calculer le rendement maximal du cycle dans ces conditions.

T30 Fonctionnement d’un compresseur

Un compresseur permet de comprimer de l’air, considéré comme un gaz parfait (dont la constante d’état massique est $r = 287\ J.kg^{-1}.K^{-1}$), des conditions ambiantes (P_1 = 1 bar, T_1 = 293 K) jusqu’à la pression P_2 = 10 bar.

On suppose son fonctionnement idéalement réversible, le piston du compresseur se déplaçant alternativement, de sorte que le volume d’air dans le cylindre varie entre un volume nul et un volume maximal $V_1 = 0{,}02\ m^3$.

L’air est d’abord admis à pression constante P_1 en passant par une soupape d’admission, le volume passant de 0 à V_1. Il est ensuite comprimé jusqu’à la pression P_2, le volume passant à V_2, puis refoulé à cette pression, par une deuxième soupape dans un réservoir d’air comprimé, le volume de cylindre passant alors de V_2 à 0.

La compression est tout d’abord supposée isotherme, grâce à un circuit de refroidissement assuré par un fluide extérieur.

1°) Représenter le fonctionnement du système pour un cycle du piston, en diagramme de Watt.
2°) Calculer le travail des forces de pression s’exerçant sur le piston à chacune des phases de son fonctionnement.
3°) En déduire le travail total reçu par l’unité de masse d’air comprimée.
4°) Montrer que ce travail représente également l’aire du « cycle » associé au déplacement du piston. En déduire qu’il s’exprime théoriquement par l’intégrale :

$$w = \oint_{cycle} v\,dP$$

5°) Retrouver ce dernier résultat en utilisant le principe de conservation de l’énergie appliqué aux systèmes en écoulement. Quel est le transfert thermique massique entre l’air et le fluide de refroidissement ?
6°) On suppose à présent que, le refroidissement n’étant pas suffisamment efficace, la compression proprement dite est polytropique, de sorte que pression et volume sont liés par la relation :

$$pV^n = \text{cste où n est un coefficient expérimental } n = 1{,}3$$

7)° Représenter à nouveau l’évolution en diagramme de Watt et recalculer le travail massique total de compression par deux méthodes différentes.

8°) Le vilebrequin associé au déplacement du piston tourne à 600 tours par minute. Quelle est la puissance de fonctionnement théorique du compresseur ?