

■ CONSEILS A SUIVRE ; ERREURS A EVITER

1. Comme en mécanique, il est impératif de commencer tout problème de thermodynamique par la définition du système étudié.

2. L'unité de température S.I. est le Kelvin K (et non le degré Kelvin °K).

Le lien avec l'échelle Celsius est $T(K) = \theta(^{\circ}C) + 273,15$, donc les variations de température sont identiques dans les 2 échelles : $\theta_2 - \theta_1 = T_2 - T_1$. Dans tous les autres cas (sauf précision contraire), il est impératif d'utiliser les Kelvin (notamment dans les équations d'état, dont celle du G.P., les calculs d'entropie et ceux concernant les machines thermiques).

 3. **Attention aux unités** des grandeurs physiques employées dans l'équation d'état des gaz parfaits ! Il faudra veiller à utiliser les unités S.I. : pression en Pa, volume en m^3 , quantité de matière en mol, température en K, $R = 8,314 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Attention ! l'unité S.I. des masses molaires est le $\text{kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ et non le $\text{g}\cdot\text{mol}^{-1}$!!

4. On utilise fréquemment les grammes et les litres plutôt que les unités S.I. (kg et m^3). On retiendra : $1 \text{ m}^3 = 1\,000 \text{ L}$; $1 \text{ dm}^3 = 1 \text{ L}$; $1 \text{ cm}^3 = 1 \text{ mL}$ (cf. taille d'une brique de lait d'1 L : environ cube d'1 dm = 10 cm de côté, plutôt qu'1 m, ou 1 cm !)

Conversions usuelles des unités dérivées :

Masse volumique : $1 \text{ kg}\cdot\text{L}^{-1} = 10^3 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3} = 10^3 \text{ g}\cdot\text{dm}^{-3}$; Volume massique : $1 \text{ L}\cdot\text{kg}^{-1} = 10^{-3} \text{ m}^3\cdot\text{kg}^{-1}$

Masse molaire : $1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 10^{-3} \text{ kg}\cdot\text{mol}^{-1}$ Volume molaire : $1 \text{ L}\cdot\text{mol}^{-1} = 10^{-3} \text{ m}^3\cdot\text{mol}^{-1}$

5. Attention !!! A température et pression constantes, il peut y avoir des **variations d'énergie interne** en présence de **transitions de phase**.

6. Ne pas confondre grandeur extensive, la grandeur molaire associée, la grandeur massique associée. Les notations et les unités sont différentes. Exemple : U , U_m et u respectivement en J, $\text{J}\cdot\text{mol}^{-1}$ et $\text{J}\cdot\text{kg}^{-1}$.

7. Distinguer grandeurs intensives et extensives : la température obtenue en mélangeant deux verres d'eau n'est pas la somme des températures des deux verres, par exemple.

8. Ne pas confondre la vitesse microscopique d'une particule (liée à son agitation thermique) et une éventuelle vitesse macroscopique liée au déplacement du système entier. Les ordres de grandeur sont d'ailleurs fort différents : $v_{\text{micro}} \gg v_{\text{macro}}$.

9. Il est impératif de penser à exploiter la notion d'équilibre, or tout état final d'un système suite à une transformation thermodynamique est un état d'équilibre. En pratique, cela revient en général à répondre aux questions suivantes :

- Comment se traduit l'équilibre mécanique ?
- Comment se traduit l'équilibre thermique ?

10. **ATTENTION !** Travail des forces de pression : $\delta W = - P_{\text{ext}} dV$, avec **a priori** $P_{\text{ext}} \neq P$ du système !

11. Il faut être précis dans le vocabulaire utilisé : transfert thermique plutôt que chaleur, une transformation est adiabatique mais une paroi est athermane ou calorifugée ou thermiquement isolée.

12. Ne pas confondre monobare et isobare. Une transformation monobare quasistatique est nécessairement isobare. Idem avec monotherme et isotherme.

13. Les transferts d'énergie W et Q sont algébriques, effectivement reçus par le système s'ils sont positifs, effectivement fournis à l'extérieur qu'ils sont négatifs. Il faut toujours vérifier que le signe obtenu par le calcul est en adéquation avec celui donné par le sens physique de la transformation effectuée.

14. Attention !!! Une transformation adiabatique ne SIGNIFIE PAS que la température est constante !!!! et une transformation isotherme ne signifie PAS que $Q = 0$!!

15. Il faut impérativement vérifier que les **conditions d'application des lois de Laplace sont vérifiées** avant de les exploiter.

16. Il est essentiel d'utiliser les différentes notations rigoureusement : on note ΔU et ΔH pour une variation d'énergie interne ou d'enthalpie entre deux états pour une transformation finie, ou dU et dH pour une transformation élémentaire (ce sont des notations réservées aux variations des fonctions d'état, dont la variation entre deux états ne dépend que de ces états et non du chemin suivi, soit de la nature de la transformation) ; on note δQ et δW pour des quantités élémentaires, W et Q pour des quantités finies : ce sont des grandeurs dépendant du chemin suivi (de la transformation effectuée), et non des fonctions d'état ! Comme l'indique le programme officiel, « **les notations ~~ΔW et ΔQ ou dW et dQ sont proscrites~~** » !

17. On travaille presque toujours avec des échanges énergétiques algébriques, comptés comme étant reçus par le système. Attention de bien lire l'énoncé qui peut parfois demander ce que vaut un travail ou un transfert thermique fourni par le système.

18. Toujours soigner les justifications, qui doivent être parfaitement ajustées à la situation.



19. Il faut bien analyser la nature de la transformation étudiée et bien vérifier les conditions de validité de tel ou tel résultat ; par exemple, ne pas considérer la température du système constante pour une adiabatique, ou la pression du système constante pour une monobare brutale, ou utiliser le travail des forces de pression d'une isotherme pour un gaz parfait alors qu'il s'agit d'une phase condensée, etc.

20. La relation de Mayer, liant C_p et C_n n'est valable que pour un gaz parfait.

21. Les différentes grandeurs (énergie interne, enthalpie, capacités massiques...) peuvent être totales, massiques ou molaires : bien lire l'énoncé et bien vérifier l'homogénéité de ce qui est écrit ! De plus, les notations peuvent fluctuer. En particulier, la relation de Mayer $C_p - C_v = nR$ concerne les capacités totales !

22. On peut calculer directement le transfert thermique reçu au cours d'une transformation isobare mécaniquement réversible, on peut aussi le calculer par application du premier principe.

23. Il est impératif de se souvenir que la vapeur saturante n'est pas un gaz parfait ordinaire, étant donné que le nombre de moles de gaz est susceptible de varier en raison des changements d'état.

24. Ne pas confondre la liquéfaction (transition gaz \rightarrow liquide) et la fusion (transition solide \rightarrow liquide).

25. La température d'un changement d'état dépend de la pression (l'eau ne bout pas toujours à 100°C), la température du point triple est fixe.

26. Attention !! il ne faut pas utiliser les relations vues pour les systèmes monophasiques en cas de transition de phase ou de réaction chimique !

27. L'enthalpie de transition de phase correspond à la variation d'enthalpie au cours d'une transition de phase isobare (donc isotherme), si la transformation étudiée est différente, il faut la décomposer de manière à faire apparaître une étape de transition de phase isobare isotherme. Idem pour les réactions chimiques.

28. Il faut parfaitement savoir exprimer la variation d'enthalpie massique au cours de toute transition de phase isotherme et isobare en fonction des enthalpies de transition de phase et des éventuels titres mis en jeu.

29. Lorsqu'un diagramme réel est fourni, il ne faut pas utiliser le modèle des gaz parfaits, mais lire les grandeurs nécessaires sur le diagramme. Même si la lecture peut sembler parfois peu précise, ne pas oublier que le modèle des gaz parfaits n'est pas plus rigoureux ! malgré des calculs « exacts », le résultat reste peu précis en raison d'un modèle parfois un peu grossier ou inadapté.

30. Attention ! Une entropie créée ne PEUT être négative !!! en revanche, une variation d'entropie ΔS peut très bien l'être...

31. On ne sait pas calculer l'entropie échangée avec un système de température variable ! il faut redéfinir le système étudié de manière à considérer un système en contact avec une ou des sources thermiques, ou évoluant de manière adiabatique.
32. L'efficacité de Carnot correspond à l'efficacité maximale : se souvenir qu'elle est obtenue pour un cycle réversible, qu'elle est inférieure à 1 pour un moteur et en général supérieure à 1 pour un récepteur.
33. Il ne faut pas travailler avec des valeurs absolues, ne pas oublier que les échanges d'énergie sont définis de manière algébrique, et bien connaître leurs signes pour les différentes machines, ainsi que les grandeurs de coût et les grandeurs utiles associées.
34. Dans l'étude thermodynamique d'une machine thermique, il ne faut pas oublier que le système étudié est le fluide caloporteur, auquel on ne s'intéresse pas dans l'usage courant des machines thermiques. Ainsi, l'intérieur d'un frigo ne correspond pas au système étudié mais à la source froide.
35. De manière générale, et notamment pour les expressions des rendements et coefficients de performance, il ne faut pas travailler avec des valeurs absolues, ne pas oublier que les échanges d'énergie sont définis de manière algébrique, et bien connaître leurs signes pour les différentes machines, ainsi que les grandeurs de coût et les grandeurs utiles associées.
36. Le rendement d'un moteur est TOUJOURS inférieur à 1 ! Si vous obtenez un résultat qui ne respecte pas cette propriété il est nécessairement faux.
37. La définition d'un rendement ou d'un coefficient de performance doit être réfléchi plutôt qu'apprise par cœur : qu'est-ce qui m'intéresse (le but, positif), qu'est-ce qui me coûte (le coût, positif).



Désigne un exercice classique, qu'il est nécessaire de savoir refaire de façon rapide et rigoureuse



Difficulté des techniques et outils mathématiques nécessaires



Difficulté d'analyse, de compréhension, prise d'initiatives

EXERCICES CLASSIQUES

Exercice 1. Equation d'état des gaz parfaits – pneu de voiture 1 | 0

On considère un pneu de voiture monté sur sa jante, modélisé par une enveloppe déformable, parfaitement étanche, qui délimite un volume constant. Le gaz qu'il contient se comporte comme un gaz parfait.

La pression dans ce pneu, mesurée à $\theta_A = 20^\circ\text{C}$, est $p_A = 3,0 \text{ bar}$, $V_A = 35 \text{ L}$.

- 1) Déterminer le nombre de moles de gaz contenues dans le pneu.
- 2) Quelle sera la pression dans le pneu pour une température du gaz à l'intérieur du pneu de $\theta_B = 10^\circ\text{C}$? de $\theta_C = 40^\circ\text{C}$?

Exercice 2. Diagramme de Clapeyron et cycle Diesel 2 | 1

Un système constitué de $n = 1,00 \text{ mol}$ de gaz parfait subit la succession suivante de transformations réversibles :

- | | |
|--|---|
| 1. Etat (1) à état (2) compression adiabatique | 3. Etat (3) à état (4) détente isotherme |
| 2. Etat (2) à état (3) dilatation à pression constante | 4. Etat (4) à état (1) refroidissement isochore |

Chaque état est défini par la pression P_i , la température T_i et le volume V_i (i variant de 1 à 4).

On appelle γ le coefficient de Laplace du gaz parfait étudié. On définit $a = V_1/V_2$ et $b = V_4/V_3$.

- 1) Représenter sommairement le cycle dans le diagramme de Clapeyron.

2) Donner les expressions de la pression, du volume et de la température pour les états (2), (3) et (4), en fonction respectivement de P_1, V_1, T_1 , et de a et/ou b .

3) S'agit-il d'un cycle moteur ou récepteur ?

Données : $\gamma = 1,4$; $P_1 = 1,0 \cdot 10^5$ Pa ; $a = 9$; $T_1 = 300$ K ; $b = 3$;

Exercice 3. Transformations brutale ou quasistatique



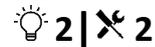
Un gaz parfait est enfermé dans un cylindre à parois diathermes à l'intérieur duquel peut coulisser sans frottements un piston de masse négligeable.

La température est de $T_1 = T_{ext} = 293$ K, la pression $P_1 = P_{atm} = 1$ atm, le volume $V_1 = 5$ L.

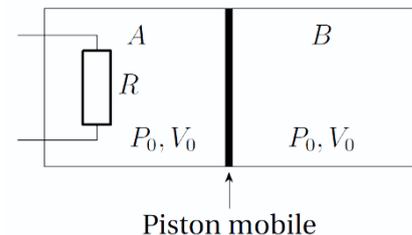
- 1) En appuyant sur le piston, on augmente très lentement la pression jusqu'à $P_2 = 10$ atm. Calculer T_2 , ΔU , Q et V_2 .
- 2) On passe maintenant brutalement de P_1 à P_2 (masse adéquate sur le piston par ex). Calculer les mêmes grandeurs.

Rép. : a) $T_2 = 293$ K, $Q = -1,17$ kJ $V_2 = 0,5$ L b) $V_2 = 0,5$ L $Q = -4,56$ kJ

Exercice 4. Transformations couplées dans 2 compartiments d'un cylindre



Un cylindre horizontal, de volume invariable, est fermé à ses deux extrémités par deux parois fixes. Ce cylindre est séparé en deux compartiments A et B par un piston P mobile sans frottements. Les parois du cylindre et le piston sont calorifugés et de capacités thermiques négligeables.



Dans l'état initial, les deux compartiments A et B contiennent un même nombre de moles d'un gaz parfait ($\gamma = cte$) dans le même état P_0, V_0, T_0 supposé connu. On chauffe lentement le compartiment A à l'aide d'une résistance électrique jusqu'à un état final où la pression dans le compartiment A est $P_1 = 3P_0$.

Exprimer en fonction de P_0, V_0, T_0 et γ :

- 1) P_2, V_2, T_2 pour l'état final du compartiment B ; V_1 et T_1 pour l'état final du compartiment A.
- 2) Le transfert thermique Q fourni par la résistance chauffante au compartiment A en fonction de P_0, V_0 et γ .
- 3) Le travail reçu par le gaz de chacun des deux compartiments.

Exercice 5. Température d'une résistance électrique



Une résistance électrique de capacité thermique C est placée dans une pièce à la température T_0 supposée constante.

Initialement, la résistance est en équilibre thermique avec la pièce à la température à T_0 . À $t = 0$, on fait passer un courant dans la résistance qui dissipe par effet Joule une puissance constante P dans la résistance. Lorsque la température de la résistance est T , il y a pour une durée dt un transfert thermique de la résistance vers le milieu extérieur de la forme $aC(T - T_0)dt$, a étant une constante positive.

- 1) Déterminer l'équation différentielle liant T et t ainsi que la température T_∞ atteinte à l'équilibre.
- 2) En déduire l'évolution de la température $T(t)$ au cours du temps.

Exercice 6. État d'un système déterminé à partir d'un extrait de table



Un ballon d'eau chaude d'un volume de $10,0$ m³ contient 169 kg d'eau sous $10,0$ bar.

Extrait d'une table donnant les grandeurs massiques pour une vapeur d'eau saturante :

Vapeur d'eau saturante

$$P = 10 \text{ bar}$$
$$\theta = 179,86^\circ\text{C}$$

Volume massique		Enthalpie massique	
liquide	vapeur	liquide	vapeur
$v_l \text{ (m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$	$v_v \text{ (m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$	$h_l \text{ (kJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$	$h_v \text{ (kJ} \cdot \text{kg}^{-1}\text{)}$
$1,127 \cdot 10^{-3}$	0,1947	761,2	2772

1. Quel est l'état de l'eau ? On précisera sa pression et sa température, son titre en vapeur et son enthalpie totale.
2. Déterminer l'enthalpie de vaporisation de l'eau à $\theta = 179,86^\circ\text{C}$ ainsi que la quantité de chaleur nécessaire pour obtenir de la vapeur juste sèche dans le ballon en restant à une pression de 10,0 bar.

Rép. : $T = 179,86^\circ\text{C}$; $H = 230,6 \text{ MJ}$; $\Delta_{vap}h = 2010,8 \text{ MJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; $Q = 238 \text{ GJ}$

Exercice 7. Stockage d'eau dans un ballon d'eau chaude – diagramme de Clapeyron 2 | 2

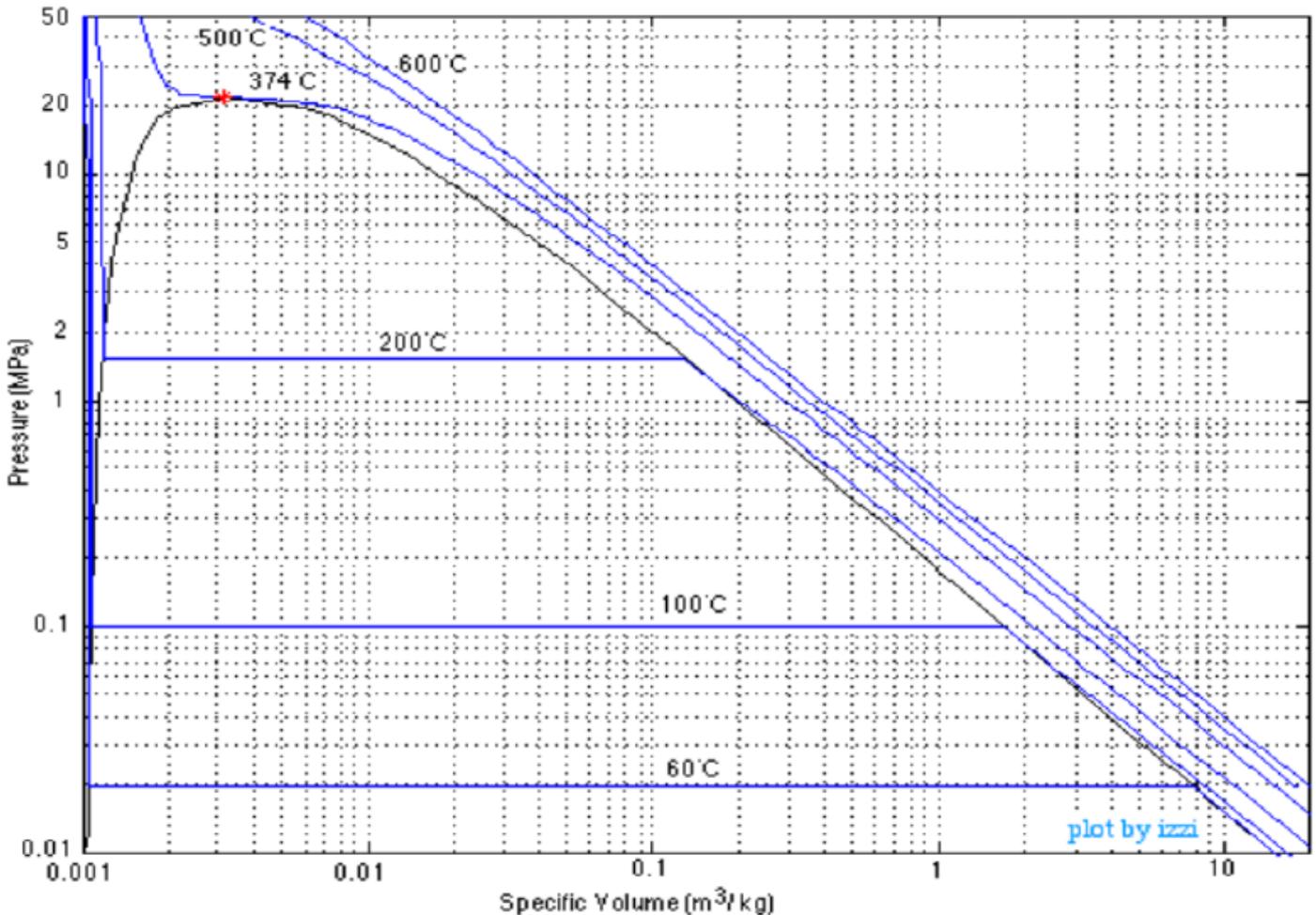


Figure 1 – Diagramme de Clapeyron de l'eau

On souhaite stocker une masse m d'eau dans un ballon d'eau chaude modélisé par une cuve fermée, indéformable et de volume $V_0 = 200\text{L}$. Pour simplifier, on suppose que la quantité d'air initialement présent est négligeable. Suite à un échauffement accidentel, l'eau maintenue à $\theta_0 = 60^\circ\text{C}$ passe à la température $\theta_1 = 380^\circ\text{C}$. La vapeur d'eau sèche est assimilée au gaz parfait de constante $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- 1) Lorsqu'il est rempli, le ballon contient $m = m_1 = 100 \text{ kg}$ d'eau.
 - a) En utilisant le diagramme de Clapeyron fourni fig.1 ci-dessus (en échelle logarithmique), déterminer la composition initiale du mélange liquide-gaz dans le ballon à T_0 .
 - b) Sous quelle forme se trouve l'eau après l'échauffement accidentel ? Déterminer l'ordre de grandeur de la pression P_1 correspondante et commenter.

- 2) Le ballon est maintenant presque vide et contient seulement $m = m_2 = 400 \text{ g}$. Reprendre les questions précédentes et déterminer la pression P_2 à l'issue de l'échauffement.
- 3) Lorsqu'on stocke un fluide, est-il préférable que le volumique massique v soit supérieur ou inférieur au volume massique critique v_c pour éviter une explosion ?

Rép. : 1) $x_{v1} \approx 0,012 \%$ $P_1 \approx 300 \text{ bar}$ 2) $x_{v2} \approx 6,24 \%$ et $P_2 \approx 6,9 \text{ bar}$

Exercice 8. Calculs pour un sommelier  |  2 ou 3 |  1 ou 2

Un sommelier veut rafraîchir à 5°C une bouteille de vin blanc de 75 cL initialement à 25°C . Il utilise pour cela un seau à glace (qu'on pourra considérer comme thermiquement isolé) contenant 1 L d'eau à 15°C , dans lequel il ajoute des glaçons à -15°C . Déterminer la masse de glace nécessaire.

Quelques données :

Masse de la bouteille en verre : 400 g

Capacité thermique massique (ou chaleur massique) du verre : $c_v = 0,9 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Capacité thermique massique (ou chaleur massique) du vin : $4,0 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

pour l'eau : $l_{fus} = 330 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$; $c_s = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; $c_e = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\rho = 1 \text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Rép. : $m_g = 285 \text{ g}$

Exercice 9. Production de froid (d'après ATS 2013)  |  1 |  1

A l'état initial, on considère un système de $m = 1 \text{ kg}$ d'ammoniac constitué d'un mélange liquide vapeur, de titre massique en vapeur $x = 11\%$ à la pression $P_A = 2,8 \text{ bar}$ et à la température $T_A = 263 \text{ K}$. Le système subit une vaporisation isobare : l'ammoniac se vaporise totalement sous la pression P_A . On obtient de la vapeur saturante.

Déterminer le transfert thermique Q lié à cette transformation.

Donnée : $\Delta_{vap}h(263 \text{ K}) = 1,3 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

Exercice 10. Mélanges dans un calorimètre – variation d'entropie  |  2 |  2

Considérons une enceinte calorifugée de capacité totale C_{cal} contenant un liquide de capacité thermique totale C_2 constante, initialement à la température T_2 , ainsi qu'un solide de capacité thermique totale C_1 constante, initialement à la température T_1 .

- Déterminer la température finale du système, d'abord en tenant compte de C_{cal} puis en la négligeant.
- On suppose à présent que $C_1 = C_2 = C$. Discuter quantitativement l'irréversibilité de cette transformation.

Exercice 11. Variations d'enthalpie et d'entropie lors d'une transition de phase  |  2 |  1

Une masse $m = 100 \text{ g}$ d'eau passe de l'état solide à -10°C à l'état liquide à $+10^\circ\text{C}$ sous une pression de 1 atm . Calculer pour cette évolution la variation d'entropie de l'eau.

Données :

Chaleur latente de fusion de l'eau : $l_f = 334 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ à 0°C sous 1 atm

Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_l = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_s = 2,1 \text{ kJ} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$

Exercice 12. PAC pour chauffer l'eau d'une piscine (Oral ATS, 2018)  |  2 |  1

On étudie le fonctionnement d'une pompe à chaleur destinée à chauffer l'eau d'une piscine.

Données :

- Température air extérieur : $T_a = 7^\circ C$ Température eau piscine : $T_p = 20^\circ C$
- Volume de la piscine : $V = 30 \text{ m}^3$ Capacité thermique de l'eau : $c = 4,2 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Pour une variation de la température de l'eau de $\Delta T = 1 \text{ K}$, il faut $\Delta t = 1000 \text{ s}$

1. Donner le schéma thermodynamique de la PAC. Signe des échanges d'énergie à justifier.
2. Calculer le coefficient de performance.
3. Calculer la puissance électrique de l'installation.

Exercice 13. Résolution de problème : glace dans un congélateur 3 | 2

Proposer un ordre de grandeur de la masse de glace pouvant être formée dans un réfrigérateur en 24 h (vous proposerez un modèle théorique ainsi que des valeurs numériques pour les différentes grandeurs utiles non proposées qui vous semblent pertinents).

Données et ordres de grandeur utiles : Eau : $L_{fus}(0^\circ C) = 333 \text{ kJ/kg}$

Puissance consommée par un congélateur : consommation annuelle de l'ordre de 200 kWh ; puissance du compresseur : 150 W.

Exercice 14. Couplage moteur – climatiseur 2 | 2

On veut maintenir la température d'un bungalow à $T_2 = 293 \text{ K}$ en utilisant le site où il se trouve : air extérieur chaud à $T_1 = 310 \text{ K}$ et eau froide d'un lac à $T_3 = 285 \text{ K}$.

On utilise à cet effet un moteur ditherme réversible fonctionnant entre l'air extérieur et le lac, fournissant l'énergie nécessaire à un climatiseur réversible fonctionnant entre le bungalow et l'air extérieur.

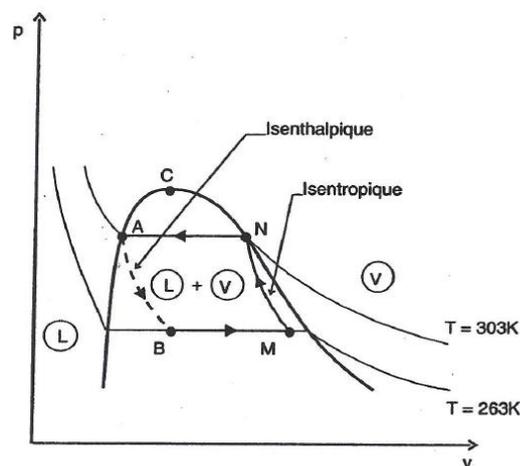
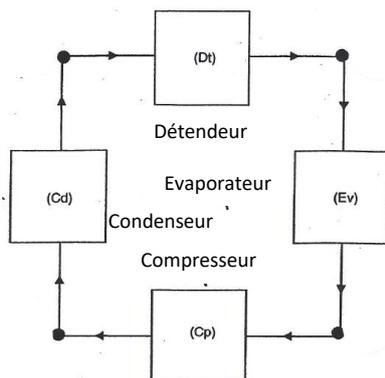
En appelant Q_1 la quantité de chaleur reçue par le moteur de l'air extérieur et Q_2 la quantité de chaleur prélevée au bungalow par le climatiseur, déterminer l'efficacité thermique e d'un tel dispositif : $e = Q_2 / Q_1$.

Rép. : $e = 1,4$

Exercice 15. Etude d'une machine frigorifique IMPORTANT 2 | 1

Considérons une machine frigorifique fonctionnant selon le cycle ci-contre, les différents organes traversés étant indiqués ci-dessous.

- 1) Pour chaque transformation AB, BM, MN et NA, indiquer l'organe dans lequel la transformation a eu lieu.



- 2) A l'aide des données ci-dessous, déterminer l'efficacité de ce frigo ainsi que son rendement défini comme le rapport entre l'efficacité réelle et l'efficacité de Carnot associée.

Données :

	A	B	M	N
P (bar)	7,5	2,2	2,2	7,5
T (K)	303	263	263	303
Titre en vapeur x_v	0	0,24	0,98	1

Enthalpies de vaporisation : $\Delta_{vap}h(263 \text{ K}) = 159 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$, $\Delta_{vap}h(303 \text{ K}) = 139 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

Exercice 16. Centrale nucléaire

On étudie une centrale nucléaire qui fournit une puissance $P = 1 \text{ GW}$.

Son refroidissement est assuré grâce à l'eau d'un fleuve de débit volumique $D_v = 400 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. En amont, le fleuve a une température $T_2 = 15^\circ\text{C}$.

La température de l'eau à la sortie de la chaudière de la centrale est à $T_1 = 700 \text{ K}$.

La centrale nucléaire a un rendement de 60 % de celui d'un cycle de Carnot fonctionnant entre les mêmes sources.

Données : Capacité thermique massique de l'eau : $c = 4 \text{ kJ/kg/K}$

Masse volumique de l'eau : $\rho_e = 1 \text{ kg/L}$.

On note Δt_{cycle} la durée d'un cycle, η l'efficacité de la centrale, et ΔT la variation de température du fleuve liée au refroidissement de la centrale nucléaire (élévation de température du fleuve entre l'amont et l'aval de la centrale nucléaire).

- 1) Donner un schéma de principe du système thermodynamique associé à la centrale nucléaire en précisant le signe des différents échanges d'énergie. A quoi correspondent les sources chaude et froide ? Quel est le sens de parcours du cycle thermodynamique associé représenté dans un diagramme (P, v) ?
- 2) Exprimer la quantité de chaleur Q_f fournie par la source froide en fonction de $P, \eta, \Delta t_{\text{cycle}}$.
- 3) Exprimer Q_f en fonction de $\Delta T, \Delta t_{\text{cycle}}$ et des autres données de l'énoncé.
- 4) En déduire ΔT en fonction notamment de $\rho, c_{\text{eau}}, D_v$. Application numérique

EXERCICES COMPLEMENTAIRES

Exercice 17. Exploitation de l'équation d'état



- 1) Déterminer la masse volumique de l'air assimilé à un gaz parfait à pression atmosphérique (1 atm) et 25°C (masse molaire de l'air : $29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$).
- 2) Déterminer le volume molaire du gaz parfait à pression atmosphérique, à 0°C puis à 25°C .

Exercice 18. Pompe et pneus

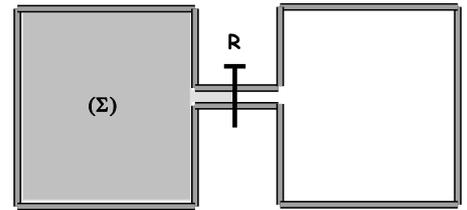


- 1) La pression d'un pneu est ajustée l'hiver à -10°C à 2 atm (pression préconisée "à froid" par le constructeur). Sachant que le conducteur est capable de ressentir les effets néfastes d'un écart de 10 % par rapport à cette pression, sera-t-il nécessaire de corriger celle-ci l'été lorsque la température sera devenue $+30^\circ\text{C}$?
- 2) On gonfle un pneu automobile supposé initialement vide avec de l'air à 10°C et à la pression atmosphérique normale. Pendant l'opération, la température passe à 40°C et le volume est comprimé à 28% de sa valeur initiale.
 - a) Quelle est la pression dans le pneu ?
 - b) Quand l'automobile roule à grande vitesse, la température augmente à 85°C et le volume interne de pneu s'accroît de 2%. Quelle est alors la pression dans le pneu ?
- 3) On gonfle un pneu de 50 L supposé initialement vide à une pression de 1,6 atm à l'aide d'une bouteille de 80 L initialement à $P_0 = 15 \text{ atm}$. On supposera que le système est à la température constante du milieu extérieur.
 - a) Quelle est la pression dans le réservoir après avoir gonflé un pneu (supposé initialement vide) ?
 - b) Combien de pneus peut-on gonfler ?

Exercice 19. Détente de Joule Gay-Lussac

💡 2 | ✖ 1

Un récipient à parois rigides et athermanes (ou adiabatiques) comprend deux compartiments de volumes V_1 et V_2 communiquant par un robinet R . Initialement, le robinet est fermé, le compartiment de gauche contient un gaz en équilibre à la température T_i et à la pression p_i et le compartiment de droite est vide.



On ouvre le robinet : le gaz se répand dans les deux compartiments jusqu'à atteindre un nouvel état d'équilibre.

- 1) Exprimer la variation d'énergie interne du gaz lors de cette détente.
- 2) Dans le cas d'un gaz parfait, que peut-on alors dire de la variation de température de la bouteille ?

Exercice 20. Méthode des mélanges

⚠ IMPORTANT | 💡 2 | ✖ 1

- a) Un calorimètre contient $m_1 = 95$ g d'eau à $T_1 = 20$ °C. On ajoute $m_2 = 70$ g d'eau à $T_2 = 50$ °C. Quelle serait la température d'équilibre si on pouvait négliger la capacité thermique du calorimètre ?
- b) La température d'équilibre est de 31 °C. En déduire la capacité thermique et la valeur en eau du calorimètre.
- c) Le même calorimètre contient maintenant $m_1 = 100$ g d'eau à $T_1 = 15$ °C. On y plonge un échantillon métallique de $m_2 = 25$ g à $T_2 = 95$ °C. La température d'équilibre étant de 16,7 °C calculer la chaleur massique (ou capacité thermique massique) du métal.

Donnée : $C_{eau} = 4,18$ kJ.kg⁻¹.K⁻¹

Rép. : a) $T_f = 32,7$ °C b) $\mu = 25,9$ g c) $c_2 = 460$ J/kg/K

Exercice 21. Capacité thermique du verre

⚠ IMPORTANT | 💡 2 | ✖ 1

Données pour l'eau :

capacité calorifique massique : $c_{eau} = 4,18$ J.K⁻¹.g⁻¹ ; masse volumique $\rho_{eau} = 1$ kg.L⁻¹.

On désire mesurer la capacité thermique massique du verre par une expérience de calorimétrie à pression constante.

- 1) Quelle est la fonction d'état à utiliser dans ce cas ?
- 2) On place $n = 40$ petites billes de verre identiques dans un four maintenant une température $\theta_1 = 80$ °C. Chaque petite bille a un diamètre $\delta = 1$ cm. La densité du verre est $d = 2,5$. On plonge ces petites billes dans un calorimètre de masse équivalente en eau $m_{eq} = 20$ g dans lequel on a placé initialement une masse $M = 100$ g d'eau à $\theta_2 = 20$ °C. On néglige toute fuite thermique. La température du mélange à l'équilibre est $\theta_{\acute{e}q} = 25$ °C.

En déduire l'expression littérale et la valeur numérique de la capacité thermique massique c_{verre} du verre.

Exercice 22. Méthode électrique

⚠ IMPORTANT | 💡 2 | ✖ 2

On place dans un calorimètre une masse $M = 400$ g d'eau liquide ($c = 4,19$ J.K⁻¹.g⁻¹) que l'on chauffe à l'aide d'une résistance électrique alimentée par un courant d'intensité 0,85 A, sous une tension de 220 V. Il en résulte un accroissement régulier de la température de l'eau de 4,86 K par minute.

Déterminer la capacité thermique et la valeur en eau du calorimètre.

Exercice 23. Comparaison de deux transformations (oral ats, 2022)

Soit $n = 0,5$ moles de gaz parfait diatomique fermé par un piston. On le chauffe pour passer d'une température $T_A = 360^\circ\text{C}$ à $T_B = 480^\circ\text{C}$ et d'un volume $V_A = 1\text{ L}$ à $V_B = 7,5\text{ L}$. On a $\gamma = 1,4$.

Première évolution : isochore de T_A à T_B ($A \rightarrow C$) puis isotherme de V_A à V_B ($C \rightarrow B$).

Deuxième évolution : isotherme de V_A à V_B ($A \rightarrow D$) puis isochore de T_A à T_B ($D \rightarrow B$).

1. Donner le diagramme de Clapeyron des deux évolutions puis donner le signe du travail.
2. Calculer le travail W_1 , le transfert thermique Q_1 et enfin la variation d'énergie interne ΔU_1 pour l'évolution 1.
3. Même chose pour l'évolution 2
4. Comparer les deux évolutions.

Exercice 24. Cycle de Lenoir (oral ats, 2024)

L'état initial d'une mole de gaz parfait de constante isentropique $\gamma = 1,4$ est caractérisé par $P_0 = 2\text{ bar}$ et $V_0 = 14\text{ L}$. Il subit alors successivement :

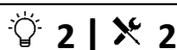
- une détente isobare qui double son volume (état 1 : P_1, T_1 et V_1)
 - une compression isotherme (état 2 : P_2, T_2 et V_2)
 - un refroidissement isochore, qui le ramène à son état initial (P_0, V_0).
- 1) Représenter le cycle de transformations dans le diagramme de Clapeyron. Est-ce un cycle moteur ou récepteur ?
 - 2) A quelle température s'effectue la compression isotherme ? En déduire la pression maximale atteinte.
 - 3) Calculer le travail et la quantité de chaleur échangés par le système au cours de chaque transformation ainsi qu'au cours du cycle. Commentaire ?

Rép. : $T_1 = 673\text{ K}$ et $P_2 = 4\text{ bar}$, $W = 1,08\text{ kJ.mol}^{-1}$

Exercice 25. Etude d'une bouilloire électrique

On étudie une bouilloire électrique de contenance 2 L . Branchée sous une tension efficace $U = 220\text{ V}$, la bouilloire consomme une puissance électrique $P = 2000\text{ W}$.

1. Exprimer en fonction de U et P , puis calculer : l'intensité I et la résistance R de la bouilloire.
2. On suppose la bouilloire sans fuite thermique. La bouilloire contient initialement 1 L d'eau à la température $T_{ext} = 20^\circ\text{C}$, on y ajoute 1 L d'eau à $T_0 = 40^\circ\text{C}$; la température finale est $T_f = 29^\circ\text{C}$. Déterminer la capacité thermique C de la bouilloire. $c_{eau} = 4180\text{ J.K}^{-1}.\text{kg}^{-1}$.
3. Calculer le temps t_1 nécessaire pour porter 2 L d'eau initialement à la température ambiante jusqu'à la température d'ébullition.

Exercice 26. Pertes thermiques

Une maison subit, pendant une durée dt , des pertes thermiques à travers mur et toit d'expression :

$$\delta Q_{pertes} = K (T(t) - T_0) dt$$

où $T(t)$ est la température intérieure, T_0 la température extérieure et K un facteur constant.

Le chauffage de la maison est coupé à l'instant $t = 0$, on note T_1 la température initiale, on suppose T_0 constante. $T_1 > T_0$. On note C_{maison} la capacité thermique totale de l'habitation.

1. Etablir l'équation différentielle vérifiée par T .
2. Déterminer l'évolution $T(t)$ de la température intérieure au cours du temps ainsi que la température finale de la maison .

Exercice 27. Vapeur sèche ou saturante  2 | ✖ 1

On injecte une mole d'eau dans des récipients initialement vides de volumes respectifs $V_1 = 10$ L puis $V_2 = 50$ L. Ces récipients sont thermostatés et maintenus à la température $\theta = 100^\circ\text{C}$ telle que $P_{\text{sat}}(T) = 1$ bar. Décrire l'état final du système dans chacun des deux cas étudiés.

Exercice 28. Variations d'enthalpie  |  2 | ✖ 1

Une masse $m = 100$ g d'eau passe de l'état solide à -10°C à l'état liquide à $+10^\circ\text{C}$ sous une pression de 1 atm. Calculer la quantité d'énergie thermique nécessaire pour réaliser cette transformation.

Données :

Chaleur latente de fusion de l'eau : $l_f = 334$ kJ.kg⁻¹ à 0°C sous 1 atm

Capacité thermique massique de l'eau liquide : $c_l = 4,2$ kJ.K⁻¹.kg⁻¹

Capacité thermique massique de l'eau solide : $c_s = 2,1$ kJ.K⁻¹.kg⁻¹

Exercice 29. Etude thermodynamique des machines cycliques dithermes   |  2 | ✖ 2

- 1) A l'aide des principes de la thermodynamique, établir le sens réel des échanges d'énergie pour un moteur cyclique ditherme (signes de W , Q_c et Q_f).
- 2) En déduire l'expression du rendement maximal pouvant être atteint en fonction des températures des sources chaude et froide, ainsi que les conditions dans lesquelles ce rendement est atteint.
- 3) A l'aide des principes de la thermodynamique, établir l'expression de l'efficacité maximale (CoP maximal) pouvant être atteinte par un réfrigérateur cyclique ditherme en fonction des températures des sources chaude et froide, ainsi que les conditions dans lesquelles elle est atteinte.
- 4) A l'aide des principes de la thermodynamique, établir l'expression de l'efficacité maximale (CoP maximal) pouvant être atteinte par une PAC (pompe à chaleur) cyclique ditherme en fonction des températures des sources chaude et froide, ainsi que les conditions dans lesquelles elle est atteinte.

Exercice 30. Efficacités maximales  |  1 | ✖ 1

- 1) Déterminer l'efficacité maximale qu'une centrale à vapeur puisse atteindre en fonctionnant dans l'atmosphère à température ambiante (15°C), avec une température maximale de 800°C .
- 2) Une machine frigorifique fonctionne entre $T_1 = -11^\circ\text{C}$ et $T_2 = 15^\circ\text{C}$.
 - a) Calculer le coefficient de performance $\text{CoP}_{\text{frigo}}$ maximal pouvant être obtenu avec cette machine, en indiquant les conditions dans lesquelles il est atteint.
 - b) Dans ce cas, le travail échangé étant de $W = 200$ kJ, calculer le transfert thermique Q_c échangé avec la source chaude et le transfert thermique Q_f échangé avec la source froide.
- 3) Pour quelle(s) raison(s) le CoP atteint par les réfrigérateurs usuels (environ 3) est-il inférieur à cette valeur ?

Exercice 31. Cycle de Beau de Rochas (moteur à explosion)  |  2 | ✖ 2

Afin de simplifier le problème, on suppose que le moteur étudié est constitué d'un seul cylindre. Les transformations seront considérées comme mécaniquement réversibles.

Les gaz sont supposés parfaits de coefficient de Laplace $\gamma = 1,4$; ils subissent le cycle suivant :

• $O \rightarrow A$: Phase d'admission isobare à la pression P_A dans le cylindre. La soupape d'admission est refermée.

Le mélange air-carburant se trouve alors dans les conditions $V_A = 1 \text{ L}$, $P_A = 1 \text{ bar}$, $T_A = 20^\circ\text{C}$

Le gaz subit alors la suite de transformations suivantes :

- $A \rightarrow B$: compression adiabatique réversible. $V_B = \frac{V_A}{8}$. On notera $\tau = \frac{V_A}{V_B} = 8$
- $B \rightarrow C$: une étincelle provoque la combustion isochore, instantanée, de toute l'essence.
- $C \rightarrow D$: détente adiabatique réversible ;
- $D \rightarrow A$: refroidissement isochore (la pression chute à cause de l'ouverture du cylindre vers l'extérieur).
- $A \rightarrow O$: refoulement isobare des gaz vers l'extérieur à la pression P_A . C'est l'échappement.

1) Représenter l'ensemble des transformations sur un diagramme (P, V) . Indiquer en justifiant brièvement s'il s'agit d'un cycle moteur ou récepteur.

Les étapes d'admission et de refoulement se compensent et on raisonnera donc sur le système fermé effectuant le « cycle » ABCD ; on suppose donc constant le nombre total de moles gazeuses.

- 2) Déterminer la pression et la température du mélange dans l'état B.
- 3) La combustion du carburant amène à une température $T_c = 2100 \text{ K}$; calculer P_c . En réalité la pression maximale est légèrement inférieure. Proposer une justification.
- 4) Calculer la température en D.
- 5) Exprimer le travail W_f **fourni** par le gaz au système mécanique au cours d'un cycle en fonction de la capacité thermique molaire à volume constant du mélange gazeux $C_{v,m}$, du nombre de moles n et des températures puis en fonction de n, R, γ et des températures. Le calculer.
- 6) Exprimer le rendement r du cycle en fonction des différentes températures, puis en fonction de γ et τ .
- 7) Le moteur effectue 2500 cycles par minute. Quelle est sa puissance ? Combien le piston effectue-t-il d'allers-retours par minute ?

Exercice 32. Climatiseur (oraux ATS) 2 | 2

1. Donner le schéma thermodynamique du fonctionnement d'un climatiseur

On considère un climatiseur réversible, alimenté par un compresseur de puissance : $P = 100 \text{ W}$; il fonctionne dans les conditions suivantes : température extérieure $T_{ext} = 300 \text{ K}$; valeur initiale de la température de la pièce : $T_{pièce}(t=0) = T(t) = 286 \text{ K}$.

2. Établir l'expression du coefficient de performance moyen du climatiseur.
3. Déterminer la capacité thermique C de la pièce s'il faut 100 s pour abaisser la température de 2 K.

Exercice 33. Machine à glaçons 2 | 2

On considère une machine à glaçons fonctionnant réversiblement.

Cette machine frigorifique est alimentée par une puissance $P = 1 \text{ kW}$ et fonctionne entre deux sources de températures $T_c = 24^\circ\text{C}$ et $T_f = 0^\circ\text{C}$.

- 1) Faire un schéma thermodynamique du principe de fonctionnement de cette machine frigorifique et donner le sens réel des échanges énergétiques.
- 2) Exprimer et calculer la quantité de chaleur Q_f échangée avec la source froide en considérant un temps de fonctionnement $\Delta t = 4 \text{ min}$ et en faisant l'hypothèse que T_f reste égale à 0°C .
- 3) Calculer la masse d'eau maximale transformée en glace pendant Δt sachant que $L_{fus} = 300 \text{ J/g}$. Commenter.