

Premier principe de la thermodynamique : bilans d'énergie

1. Application directe En utilisant la table de la vapeur d'eau, déterminez :

1. Le volume massique de la vapeur d'eau à 300°C sous 1 bar.
2. La pression de la vapeur d'eau de volume massique $0,05665 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ à 500°C.
3. L'énergie interne massique de la vapeur d'eau à 200°C sous 1 bar.
4. L'enthalpie massique de la vapeur d'eau à 600°C sous 100 bar.
5. La pression de la vapeur d'eau à 600°C dont l'énergie interne massique est de $3288 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

2. Application directe avec changement d'état

1. Calculer, grâce aux tables, la quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser complètement à pression constante 1,5 kg d'eau liquide saturée à 20°C.
2. Un récipient indéformable, maintenu à une température de 120°C, contient 50 g d'un mélange d'eau liquide et de vapeur d'eau avec un titre massique en vapeur de 25%. On chauffe ce récipient jusqu'à 250°C pour qu'il soit rempli uniquement de vapeur d'eau saturée. Calculer, toujours grâce aux tables, la quantité de chaleur fournie.

3. Richtig oder Falsch ?

1. Un système isolé ne peut pas échanger de la matière avec le milieu extérieur, mais peut échanger de l'énergie.
2. La variation d'énergie interne d'un système ne dépend que de l'état initial et de l'état final et pas de la nature de la transformation.
3. Pour calculer la variation d'énergie interne d'un système, il faut nécessairement que son état initial et son état final soient des états d'équilibre thermodynamique.
4. Lors d'une transformation isobare réversible, la quantité de chaleur échangée avec le milieu extérieur est égale à la variation d'enthalpie du système.
5. Lors d'une transformation isotherme réversible, la quantité de chaleur échangée avec le milieu extérieur est nulle.
6. Lors d'une transformation adiabatique réversible, le travail échangé avec le milieu extérieur est nul.
7. Lors d'une transformation isotherme réversible la variation d'énergie interne d'un gaz parfait est toujours nulle.
8. Une vaporisation isotherme se fait sans variation d'énergie interne ($\Delta U = 0$).
9. L'enthalpie de vaporisation représente l'énergie qu'il faut fournir à un liquide saturant pour le vaporiser complètement.

4. Bouilloire électrique Une bouilloire électrique présente une capacité de 1,5 L. La puissance électrique maximale est de 2400 W. Combien faut-il de temps pour amener l'eau de la température ambiante à ébullition. On donne la capacité thermique massique de l'eau $c_p = 4180 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$.

5. Four à micro-ondes Un four à micro-ondes présente les caractéristiques techniques suivantes :

- puissance maximale du micro-ondes 900 W;
- puissance électrique consommée max 1450 W.

Vous mettez une tasse remplie d'eau de 80 cm^3 en sélectionnant la puissance maximale de chauffage. Quelle est la durée nécessaire pour l'amener à 75°C à partir de la température ambiante? Quelle est la consommation électrique durant ce processus?

6. Détente isochore et table thermodynamique On réalise une détente isochore c'est-à-dire à volume constant d'une mole de vapeur d'eau de l'état initial I (de température $T_I = 500^\circ\text{C}$, pression $P_I = 100$ bar et volume molaire $v_I = 5,91 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{mol}$) jusqu'à l'état final F ($P_F = 70$ bar, $T_F = ?$). Le tableau ci-dessous donne le volume molaire v (en $\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$) et l'énergie interne molaire u (en $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$) de la vapeur d'eau sous $P = 70$ bar pour différentes valeurs de la température t (en $^\circ\text{C}$).

t ($^\circ\text{C}$)	300	320	340	360	380	400
v ($\text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$)	$5,31 \cdot 10^{-4}$	$5,77 \cdot 10^{-4}$	$6,18 \cdot 10^{-4}$	$6,54 \cdot 10^{-4}$	$6,87 \cdot 10^{-4}$	$7,20 \cdot 10^{-4}$
u ($\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$)	47,3	48,4	49,3	50,2	51,0	51,7

Déterminer la température finale T_F et la variation d'énergie interne $u_F - u_I$ sachant que $u_I = 54,8 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$.

7. Table à compléter* Le tableau ci-contre indique les données thermodynamiques de la vapeur d'eau.

- Que représentent les grandeurs v , u et h ?
- Compléter les cases manquantes.

$^\circ\text{C}$	m^3/kg	kJ/kg	kJ/kg
T	P = 1,20 MPa		
	v	u	h
187.99	0.16333	2588.8	2784.4
200	0.16930	2612.8	2815.9
250	0.19234	2704.2	?
300	0.2138	2789.2	3045.8
350	0.2345	?	3153.6
400	0.2548	2954.9	3260.7
500	0.2946	3122.8	3476.3
600	?	3295.6	3696.3
700	0.3729	3474.4	3922.0

8. Comparaison gaz parfait et gaz réel* Un réservoir fermé par une paroi mobile contient de la vapeur d'eau dans les conditions initiales suivantes : $P_1 = 2$ bar, $\theta_1 = 500^\circ\text{C}$ et $V_1 = 100$ litre. Cette vapeur d'eau subit alors une compression isotherme jusqu'à une pression de $P_2 = 200$ bar.

- En considérant la vapeur d'eau comme un gaz réel, c'est-à-dire en utilisant les tables, déterminez approximativement (sans calcul d'interpolation) :
 - la masse m de vapeur contenue dans le réservoir,
 - le volume V_2 en fin de compression,
 - sachant que le travail reçu W_{12} est égal à 92,4 kJ, déterminez la quantité de chaleur Q_{12} échangés lors de cette compression.
- Mêmes questions en considérant la vapeur d'eau comme un gaz parfait ($M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $\gamma = 1,34$), autrement dit déterminer :
 - la masse m de vapeur contenue dans le réservoir,
 - le volume V_2 en fin de compression,
 - le travail W_{12} et la quantité de chaleur Q_{12} échangés lors de cette compression,
 - les erreurs commises (en %) sur les valeurs du volume V_2 , du travail W_{12} et de la quantité de chaleur Q_{12} en prenant l'hypothèse du gaz parfait.

9. Détente d'un gaz parfait (où peut-on appliquer $\Delta H = Q$?)* Un gaz parfait est enfermé dans un cylindre horizontal fermé par un piston. Les parois et le piston sont calorifugés. La pression extérieure est P_0 . Dans l'état initial, le piston est bloqué par des cales et le gaz est dans les conditions $P_1 > P_0$, T_1 , V_1 . On libère le piston et on laisse l'ensemble évoluer vers l'équilibre.

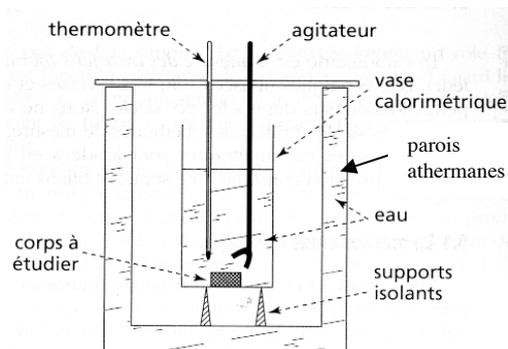
- Caractériser cette transformation.
- Calculer le volume et la température du gaz à l'équilibre, ainsi que ses variations d'énergie interne et d'enthalpie en fonction de γ , P_0 , P_1 , T_1 et V_1 .
- Comparer le transfert calorifique à la variation d'enthalpie. Commenter.

10. Vaporisation isobare, vaporisation isochore* Un récipient de 10 litres contient un mélange d'eau liquide et de vapeur d'eau de masse totale de 100 g. La pression est de 10 bar. En utilisant exclusivement les tables :

- Déterminer la température ainsi que la masse de vapeur dans ce récipient.
- Dans une première expérience, on chauffe ce récipient à pression constante.
 - Quel est le volume du récipient lorsque disparaît la dernière goutte de liquide?
 - Quelle quantité de chaleur a-t-on fourni au système?
 - Quel travail a été échangé avec le milieu extérieur? Est-il moteur ou récepteur?
- Dans une deuxième expérience, on chauffe ce même récipient à volume constant.
 - Calculer la pression et la température dans le récipient lorsque disparaît la dernière goutte de liquide.
 - Quelle quantité de chaleur a-t-on fourni au système?
- Comparer les énergies échangées au cours de ces deux expériences. Que pouvez-vous en conclure?

11. Distillation d'éthanol* Une installation industrielle permettant la distillation de 325 kg d'éthanol par heure fonctionne en permanence. Le distillat est condensé et ramené à $22,5^{\circ}\text{C}$ par une circulation d'eau dont on souhaite récupérer l'énergie. Calculer la quantité de chaleur qu'on pourrait extraire en un jour du circuit de refroidissement, sans tenir compte des pertes. Données : $c_{\text{éthanol}} = 2,46 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$, $L_{v,\text{éthanol}} = 850 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ et $T_{\text{éb,éthanol}} = 78,5^{\circ}\text{C}$.

12. Calorimétrie : méthode des mélanges* On considère un calorimètre de Berthelot (cf. figure ci-contre) essentiellement composé d'un vase calorimétrique contenant le système Σ à étudier, lui-même placé dans une enceinte aux parois athermanes destinées à réduire le transfert thermique reçu par Σ (on supposera $Q = 0$).



- Le calorimètre contient 95,0 g d'eau à $20,0^{\circ}\text{C}$. On ajoute 71,0 g d'eau à $50,0^{\circ}\text{C}$. On suppose que la capacité thermique massique de l'eau est constante et vaut $c_0 = 4,18 \text{ J}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$. Quelle serait la température d'équilibre θ_{eq} si l'on pouvait négliger la capacité thermique du vase et des accessoires?
- On désigne par μ la masse d'eau qui aurait la même capacité thermique que le vase calorimétrique et ses accessoires (thermomètre et agitateur) : μ s'appelle la «valeur en eau» du calorimètre. La température d'équilibre observée est $31,3^{\circ}\text{C}$. En déduire la valeur en eau μ du vase et des accessoires.
- Le même calorimètre contient maintenant 100 g d'eau à $15,0^{\circ}\text{C}$. On y plonge un échantillon métallique pesant 25,0 g sortant d'une étuve à $95,0^{\circ}\text{C}$. La température d'équilibre étant $16,7^{\circ}\text{C}$, calculer la capacité thermique massique c du métal.

13. Conditionnement d'air en pays tropical* Cet exercice utilise le fichier « air_humide_de_-15_a_50 .pdf » On souhaite conditionner l'atmosphère d'un immeuble avec de l'air à 20°C et 80% d'humidité relative. Pour cela, on utilise de l'air pris à l'extérieur à 35°C et 95% d'humidité relative, que l'on refroidit afin de condenser l'excès d'eau. Cet air est ensuite réchauffé à la température désirée, ici 20°C .

- À l'aide du diagramme de l'air humide, déterminer l'humidité absolue et l'enthalpie de l'air conditionné et de l'air extérieur.
- En déduire la température à laquelle l'air doit être refroidi pour obtenir l'humidité relative à 20°C choisie.
- Calculer enfin la puissance du groupe froid, et celle du réchauffeur, ramenée à 1 kg d'air sec.

14. Arrêt par sac de sable* Une balle de plomb masse $m = 30,0$ g est tirée horizontalement et vient frapper à la vitesse $V = 500$ m.s⁻¹ un sac de sable, immobile, de masse $M = 10,0$ kg suspendu à un fil inextensible, de masse négligeable. Après l'impact, la balle s'incruste au centre du sac de sable. Le centre d'inertie de l'ensemble s'élève jusqu'à la hauteur $h = 11,5$ cm.

Données numériques :

- Valeur du champ de pesanteur : $g = 9,81$ m.s⁻².
- Température ambiante : $\theta_e = 20,0$ °C.
- Capacité thermique massique du plomb à l'état solide : $c_s = 120$ J.K⁻¹.kg⁻¹.
- Capacité thermique massique du plomb à l'état liquide : $c_\ell = 110$ J.K⁻¹.kg⁻¹.
- Température de fusion du plomb : $\theta_{\text{fus}} = 327$ °C.
- Chaleur latente massique de fusion du plomb : $L_f = 24,7$ kJ.kg⁻¹.

L'impact est de courte durée et la conductivité thermique du sable étant faible, le transfert thermique avec l'air environnant est quasi nul. On néglige les frottements dus à l'air. On se placera dans le cas des phases condensées parfaites et des changements de phase sans variation de volume.

1. Déterminer la variation d'énergie interne de l'ensemble {balle + sac de sable} entre une date t , juste avant l'impact, et une date t' où l'ensemble a atteint sa hauteur maximale.
2. 80% de cette variation correspond à la variation d'énergie interne de la balle.
 - (a) Si la balle reste à l'état solide, déterminer sa température finale. Conclure.
 - (b) Déterminer complètement l'état final de la balle.

15. Lecture du diagramme enthalpique de R22* Cet exercice utilise le fichier

« diagramme_enthalpique_R22.pdf ».

1. Une masse de 1 kg de fluide R22 a une enthalpie égale à 280 kJ sous la pression de 10 bars. Quelle est la température du fluide? Quelle est la fraction massique du liquide? du gaz? Quel est le volume occupé par le système?
2. Une masse de 1 kg de liquide saturant sous la pression de 20 bar se détend « isenthalpiquement » jusqu'à la pression de 1 bar. Remplir le tableau ci-dessous.

	Avant détente	Après détente
Température		
Fraction massique du liquide		
Fraction massique du gaz		
Enthalpie		
Volume occupé par le liquide		
Volume occupé par le gaz		

16. Van der Waals et tables thermodynamiques* Le tableau ci-dessous donne avec trois chiffres significatifs exacts le volume molaire V_m (en m³.mol⁻¹) et l'énergie interne molaire U_m (en kJ.mol⁻¹) de la vapeur d'eau à la température $t = 500$ °C pour différentes valeurs de la pression P (en bar). On donne en outre la constante des gaz parfaits $R = 8,314$ J.K⁻¹.mol⁻¹.

P	1	10	20	40	70	100
V_m	0,0643	$6,37 \cdot 10^{-3}$	$3,17 \cdot 10^{-3}$	$1,56 \cdot 10^{-3}$	$8,68 \cdot 10^{-4}$	$5,90 \cdot 10^{-4}$
U_m	56,33	56,23	56,08	55,77	55,47	54,78

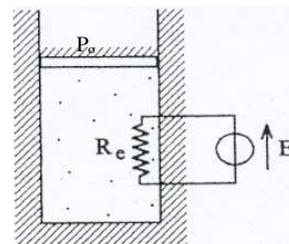
1. Justifier sans calcul que la vapeur d'eau ne se comporte pas comme un gaz parfait.

On se propose d'adopter le modèle de Van der Waals pour lequel on a :

$$\left(P + \frac{a}{V_m^2}\right)(V_m - b) = RT \quad \text{et} \quad U_m = U_{GP,m} - \frac{a}{V_m}$$

- Calculer le coefficient a en utilisant les énergies internes des états à $P = 1$ bar et à $P = 100$ bar. Calculer b en utilisant l'équation d'état de l'état à $P = 100$ bar.
- Quelles valeurs obtient on alors pour U_m à $p = 40$ bar? Quelle température obtient-on alors en utilisant l'équation d'état avec $P = 40$ bar et $V = 1,56 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$?

17. Chauffage d'un gaz par une résistance** Un cylindre vertical enferme de l'air assimilé à un gaz parfait. Le piston (en contact avec l'atmosphère à la pression P_0), de masse négligeable, se déplace librement lorsque, à partir d'un instant initial $t = 0$, on alimente la résistance R_e (de volume négligeable par rapport à celui occupé par le gaz) par une source de tension continue E . L'ensemble est calorifugé. Initialement le gaz est dans l'état (P_0, V_0, T_0) . Soit C la capacité thermique de la résistance, C_V la capacité thermique à volume constant du gaz. On arrête d'alimenter la résistance à la date τ . On suppose l'équilibre thermodynamique atteint. Exprimer V , le volume occupé par le gaz, en fonction de $V_0, P_0, T_0, E, C_V, C, R_e$ et τ .



Remarque : on pourra traiter l'exercice de deux méthodes différentes :

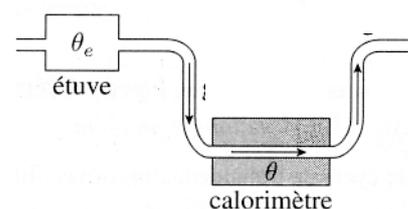
- en appliquant le 1^{er} principe au système {gaz + résistance}
- en appliquant le 1^{er} principe au système {gaz} et au système {résistance}.

18. Fusil à air comprimé** Un fusil à air comprimé est constitué d'un cylindre d'axe Ox horizontal de section $S = 10 \text{ mm}^2$ de longueur $L = 1 \text{ m}$ fermé à une extrémité. La balle de masse $m = 2 \text{ g}$ de forme cylindrique de section S coulisse sans frottements dans le canon du fusil. On repère ce mobile par son abscisse x comptée à partir de l'extrémité fermée.

Lorsque le fusil est chargé, la balle est bloquée de telle sorte que la pression du gaz contenu dans la partie du canon de longueur $L_0 = 5 \text{ cm}$ soit égale $P_1 = KP_0$ où $P_0 = 1 \text{ bar}$ désigne la pression atmosphérique. Lors du déclenchement du tir, le gaz comprimé se détend brutalement et propulse la balle dans le canon. Moyennant certaines hypothèses sur l'évolution du gaz comprimé, la force exercée par le gaz comprimé sur la balle située à l'abscisse x est de la forme $\vec{F}_1 = (A/x^\alpha) \vec{e}_x$ avec $\alpha > 1$.

- Proposer des hypothèses simplificatrices réalistes ainsi qu'une valeur numérique pour l'exposant α et indiquer l'expression de A .
- Établir l'équation différentielle vérifiée par la fonction $x(t)$.
- Déterminer la température du gaz lorsque la balle est en $x(t)$.

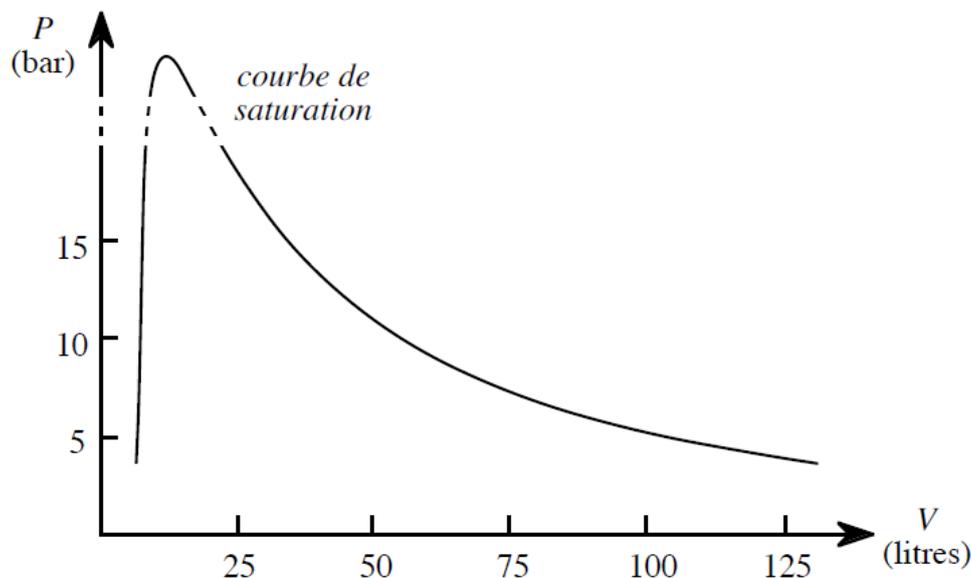
19. Calorimétrie : méthode des débits** Dans un calorimètre dont la valeur en eau totale est 200 g , on plonge un serpentín parcouru par un courant liquide de débit $1 \text{ g} \cdot \text{s}^{-1}$ qui entre à la température de 15°C et ressort à la température du calorimètre. La température initiale de ce dernier est 95°C . Sachant que la température du calorimètre n'est plus que de $70,8^\circ\text{C}$ au bout de 5 minutes, déterminer la capacité thermique massique c du liquide.



20. Histoires d'eau** Un cylindre muni d'un piston contient une masse $m = 0,28 \text{ kg}$ (280 g) d'eau à la température $T_A = 150^\circ\text{C}$. Le volume initial du cylindre est $V_A = 0,025 \text{ m}^3$ (25 litres). Cette eau effectue un cycle ABCDEA dont les transformations successives sont considérées comme réversibles. On complètera au fur et à

mesure, à l'aide des tables thermodynamiques, les deux tableaux ainsi que le diagramme P(V) ci-dessous. Aucune interpolation n'est nécessaire pour cet exercice. Dans les calculs, on se limitera à 4 chiffres significatifs.

État	A	B	C	D	E
Phase	liq.+vap.	vap. sat.	vap. surch.	vap. sat.	liq.+vap.
P (bar)			12,0		
V (L)	25				25
T (°C)	150		250		
U (kJ)					
H (kJ)					



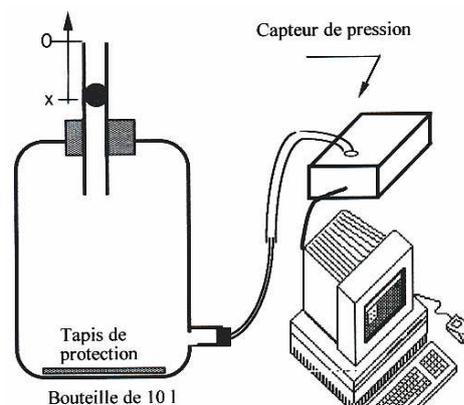
	AB	BC	CD	DE	EA
W (kJ)					
Q (kJ)					

1. Montrer, grâce aux tables, qu'il s'agit au départ d'un équilibre liquide+vapeur. En déduire la pression P_A dans le cylindre, le titre en vapeur x_A , l'énergie interne U_A et l'enthalpie H_A du mélange.
2. On augmente lentement le volume du récipient jusqu'à vaporisation complète de l'eau (détente isotherme AB). Déterminer par les tables, le volume V_B à la fin de la vaporisation (point B) son énergie interne U_B et son enthalpie H_B . En déduire le travail W_1 et le transfert thermique Q_1 reçus de l'extérieur pendant cette transformation.
3. On comprime ensuite rapidement la vapeur jusqu'à une pression $P_C = 12$ bar et une température $T_C = 250^\circ\text{C}$ (compression adiabatique BC). Montrer, toujours grâce aux tables, que l'on a affaire à une vapeur surchauffée et déterminer le volume V_C de la vapeur ainsi que son énergie interne U_C et son enthalpie H_C . En déduire le travail W_2 associé à cette transformation.
4. On refroidit ensuite le cylindre à pression constante jusqu'à apparition de la première goutte de liquide (compression isobare CD). Déterminer de nouveau, la température T_D et le volume V_D ainsi que U_D et H_D . En déduire le travail W_3 et le transfert thermique Q_3 reçus au cours de la transformation CD.
5. On poursuit la compression isobare pour revenir au volume initial $V_E = 0,025\text{ m}^3$ (compression isobare DE) qui entraîne la condensation d'une partie de la vapeur. Déterminer le titre x_E ainsi que l'énergie interne U_E et l'enthalpie H_E du mélange. En déduire le travail W_4 et le transfert thermique Q_4 reçus.
6. On referme enfin le cycle en revenant au point de départ en refroidissant le cylindre à volume constant (transformation isochore EA). Déterminer le transfert thermique Q_5 reçu pendant cette opération.
7. Calculer enfin le travail total W et la quantité de chaleur totale Q échangés au cours du cycle ABCDEA. Ce cycle est-il moteur ou récepteur?

21. Expérience de Rüchardt*** Nous adopterons les notations suivantes :

- m = masse de la bille = 16,6 g
- s = section intérieure du tube = $2,0 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$
- V_0 = volume total (pour $x = 0$) = 10 L
- P_0 = pression atmosphérique = $1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- P = pression régnant dans le flacon
- g = accélération de la pesanteur = $9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- $C_{P,m}$ = capacité thermique molaire à pression constante
- $C_{V,m}$ = capacité thermique molaire à volume constant
- T_0 = température extérieure = 293 K
- T = température à un instant donné du gaz situé dans le récipient
- x = position de la bille à un instant donné (l'origine est prise à l'extrémité)

La méthode de Rüchardt permet de déterminer le rapport $\gamma = C_{P,m}/C_{V,m}$ des capacités thermiques à pression et volume constant en étudiant le mouvement d'une bille dans un tube en verre. La bille métallique, de diamètre très voisin de celui du tube se comporte comme un piston étanche. On néglige les frottements. Lorsqu'on lâche la bille dans le tube de section s , on observe des oscillations autour d'une position d'équilibre. La méthode consiste à mesurer la période d'oscillation θ du mouvement de la bille dans le tube ou des oscillations de pression. Pour cela, on enregistre la pression à l'aide d'un capteur de pression pendant 25 secondes.



1. En appliquant la relation fondamentale de la dynamique à la bille, établir l'équation du mouvement de la bille. Préciser en particulier la pression à l'équilibre.
2. D'un point de vue thermodynamique, le phénomène est considéré comme pratiquement quasi-statique et adiabatique. L'air contenu dans la bouteille est assimilé à un gaz parfait. Établir la relation entre P , V , P_0 , V_0 et dP/dV (loi de Laplace). En déduire dP au voisinage de (P_0, V_0) .
3. Les écarts de pression et de volume étant faibles, on approxime dV par $V - V_0 = s x$ et dP par $P - P_0$. En déduire $P - P_0$ en fonction de x .
4. En déduire l'équation différentielle du mouvement vertical de la bille :

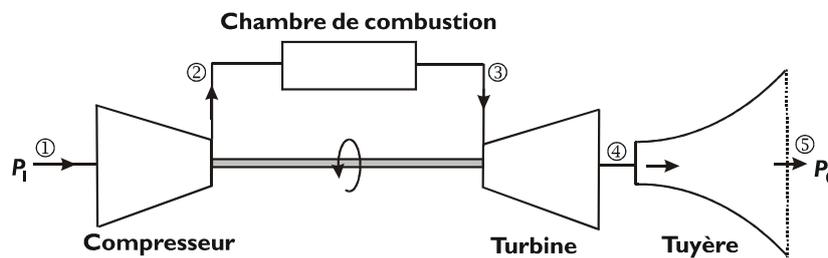
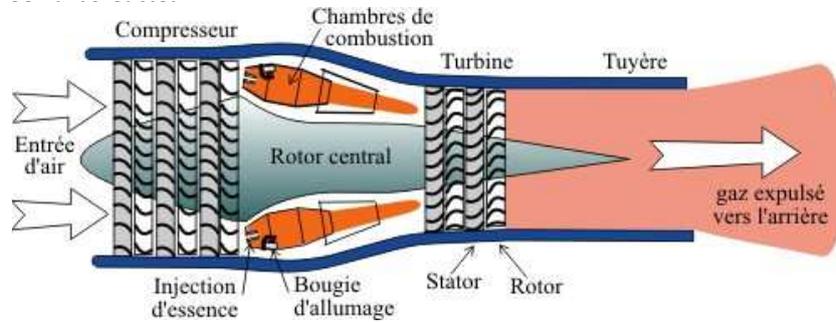
$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{\gamma P_0 s^2}{m V_0} x = -g$$

5. En déduire la période θ du signal en fonction des données du problème.
6. Expérimentalement, on mesure $\theta = 1,12 \text{ s}$. En déduire γ . Commenter la valeur obtenue.

22. Turboréacteur*** Un turboréacteur d'avion est constitué d'un compresseur, d'une chambre de combustion, d'une turbine et d'une tuyère dont le rôle est d'accélérer les gaz pour fournir une poussée importante. Le travail reçu par la turbine lors de la détente des gaz sert uniquement à entraîner le compresseur. Les différentes phases de ce cycle ouvert sont :

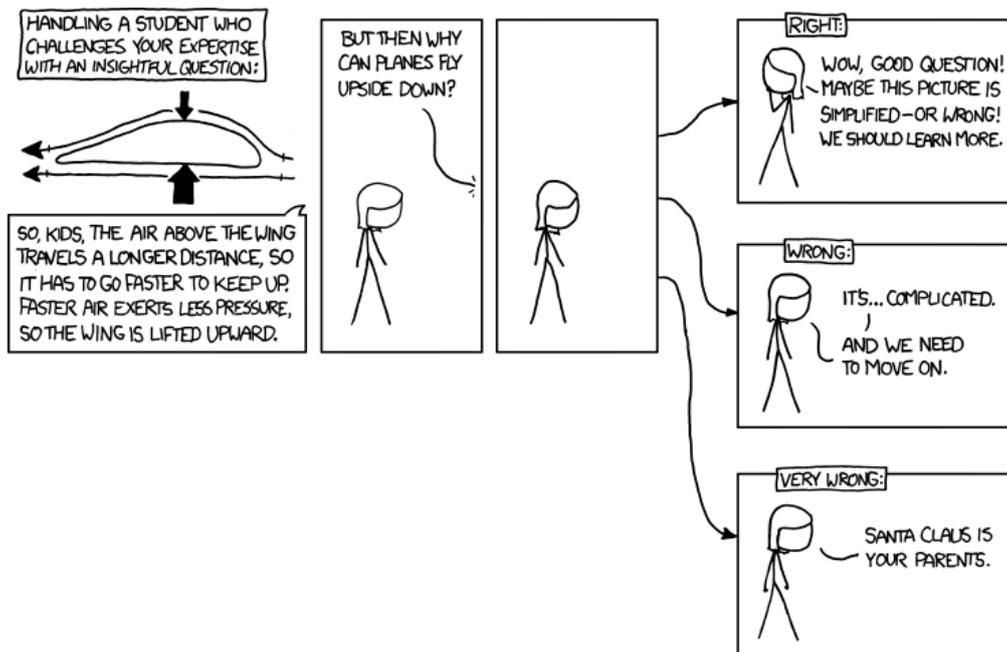
- 1→2** : compression isentropique de l'air admis dans le compresseur
- 2→3** : combustion isobare du carburant dans la chambre de combustion
- 3→4** : détente isentropique des gaz brûlés dans la turbine.
- 4→5** : détente isentropique des gaz dans la tuyère jusqu'à la pression atmosphérique P_0 .

Le débit massique de l'air est $D_m = 65 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ et le pouvoir calorifique du carburant est $\mathcal{P}_{\text{cal}} = 4,5 \cdot 10^7 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$. La combustion s'effectuant avec un très large excès d'air, on assimilera gaz brûlés et air à un gaz parfait diatomique. La vitesse de l'air en entrée de la tuyère est négligeable et on pourra négliger toute variation d'énergie potentielle du gaz.



1. Déterminer la pression P des gaz en sortie de la turbine.
2. Déterminer la masse de carburant consommée par seconde.
3. Déterminer la vitesse d'éjection des gaz, la poussée du turboréacteur et le rendement thermique η_{th} défini comme le rapport de la variation d'énergie cinétique du gaz entre l'entrée et la sortie sur la chaleur fournie par la chambre de combustion.

Données : $T_3 = 1200 \text{ K}$, $\tau = P_2/P_1 = 8$, $P_1 = P_0$, $T_1 = 15^\circ\text{C}$.



This is a fun explanation to prepare your kids for; it's common and totally wrong. Good lines include "why does the air have to travel on both sides at the same time?" and "I saw the Wright brothers plane and those wings were curved the same on the top and bottom"

