

Gaz parfaits	3
BTS Fluides énergie environnement épreuve de physique 2001	3
BTS Travaux publics 1990	3
BTS Bâtiment 1994	3
BTS Esthétique et Cosmétique 2002.....	3
BTS Maintenance Industrielle 1995 Métropole.....	4
BTS Agroéquipement 2002 et BTS Maintenance et après-vente des engins de Travaux Publics et de Manutention 2002.....	4
BTS Conception et Réalisation de Carrosserie et BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2004	4
BTS Etudes et économie de la construction 2001	5
BTS Etudes et Economie de la construction 2004	5
BTS Fluides Energie Environnement 2004.....	6
Transformations des gaz parfaits.....	7
BTS Fluides énergie environnement épreuve de physique 2001	7
BTS Esthétique et cosmétique 2003.....	7
BTS Maintenance Industrielle 1994, Nouméa.	7
BTS Maintenance Industrielle 1998, Nouméa.	8
BTS Maintenance Industrielle 2001.....	9
BTS Maintenance industrielle 2003	9
BTS Maintenance Industrielle 2004.....	10
BTS Conception et Réalisation de Carrosserie 2003.....	11
BTS Moteurs à Combustion Interne 2001	11
BTS Études et Économie de la Construction 2004	12
BTS Travaux publics 2002	12
BTS Bâtiment 2004	13
BTS Chimiste 1999.....	13
BTS Fluides Énergies Environnement 1993.....	14
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1989.....	15
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1996.....	17
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2002.....	19
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1995	20
Moteurs	21
BTS Agroéquipement 2004.....	21
BTS Chimiste 2002.....	21
BTS Fluides énergie environnement 2001.....	22
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1984.....	23
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1993.....	24
BTS Enveloppe du bâtiment 2001.....	27
BTS Construction navale 2001	27
BTS Maintenance Industrielle 1992, Nouméa.	29
BTS Maintenance Industrielle 1994 Métropole.....	30
BTS Maintenance Industrielle 1996, Nouméa	30
BTS Maintenance Industrielle 1997, Métropole.....	31
BTS Maintenance Industrielle 1999.....	32
BTS Maintenance industrielle 2000	33
BTS Maintenance industrielle 2002	34
BTS Moteurs à combustion interne 2000.....	35
BTS Moteurs à combustion interne 2002.....	36
BTS Moteurs à combustion interne 2004.....	36
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2000	37
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2004	38
Utilisation de la vapeur	40
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1985.....	40
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1987.....	42
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1992.....	47
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1999.....	50
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2000.....	50

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2002.....	57
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1998	58
BTS Industries papetières 2000 :.....	61
Cycles frigorifiques.....	64
BTS Fluides Energies Environnement 2003.....	64
BTS Travaux publics 2004	64
BTS Domotique 1991	66
BTS Domotique 1994.....	67
BTS Domotique 1999	67
BTS domotique 2003	68
BTS Domotique 2004.....	69
BTS Industries Céréalières 2001.....	70
BTS Industries céréalières 2002.....	71
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1991.....	71
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1995.....	72
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1997.....	74
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1998.....	74
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2003.....	78
BTS Chimiste 2001	79
BTS Fluides Energies Environnement 2002 Epreuve de Physique	81
BTS Maintenance Industrielle: 1995, Nouméa	82
BTS Maintenance Industrielle: 1996, Métropole	83
BTS Maintenance Industrielle 1998, Métropole.....	84
BTS Maintenance Industrielle 2000 Nouméa	85
BTS Maintenance Industrielle 2001 Nouméa	86
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1996	87
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999	88
Air humide et conditionnement	86
BTS Productique bois 2003	89
BTS Economie Sociale et Familiale 2000	89
BTS Domotique 1991	90
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2001	90
BTS Bâtiment 1994	91
BTS Industries céramiques 2003.....	92
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2000.....	92
BTS Industries papetières 2004.....	96
Dynamique des fluides compressibles.....	97
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1988.....	97
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1990.....	100
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2001.....	101
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999	103

Gaz parfaits**BTS Fluides énergie environnement épreuve de physique 2001**

1. Donner l'équation d'état des gaz parfaits faisant intervenir la masse.
2. Préciser l'unité de la constante r du gaz considéré.
3. On admet la relation $r = \frac{R}{M}$ où R est la constante molaire des gaz parfaits et M la masse molaire (apparente) du gaz considéré. Calculer la valeur de r pour l'air ($M = 29 \text{ g mol}^{-1}$).
4. On admet la relation de Mayer : $c_p - c_v = r$ où c_p et c_v sont respectivement les chaleurs massiques à volume constant et à pression constante; établir les expressions de c_p et c_v en fonction de r et γ (on note γ le rapport $\frac{c_p}{c_v}$).
5. Donner l'expression littérale de la masse volumique ρ d'un gaz en fonction de sa température absolue T et de sa pression p ; calculer la masse volumique de l'air à une pression de $p = 2 \text{ bar}$ et une température $\theta = -15^\circ\text{C}$.

BTS Travaux publics 1990**Stockage souterrain de gaz naturel**

Un réservoir de gaz souterrain est à une profondeur de 430 m et le gaz est injecté sous la pression de 4,9 MPa. La température est de 30°C et le volume du site vaut $10,8 \times 10^6 \text{ m}^3$. Le gaz est assimilé à un gaz parfait de constante $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$, le volume molaire sous une pression de 10^5 Pa à la température de 0°C vaut 22,4 L.

1. Quel est le volume de ce gaz s'il était dans les conditions normales (10^5 Pa , 0°C) que l'on pourra injecter dans ce réservoir ?
2. Une partie seulement du gaz injecté peut être exploitée, cette partie exploitable occupe dans les conditions normales un volume égal à $220 \times 10^6 \text{ m}^3$.
 - 2.1. Calculez le volume de ce gaz à 30°C sous la pression de 10^5 Pa .
 - 2.2. Ce gaz est injecté dans le réservoir en période estivale par une compression isotherme à la température de 30°C qui porte le gaz de 10^5 Pa à $p = 4,9 \text{ MPa}$.

Calculez le travail nécessaire pour effectuer cette compression.

3. On prélève en hiver un volume de ce gaz égal à 5890 m^3 , volume mesuré dans les conditions de stockage (30°C , $4,9 \text{ MPa}$).
Ce gaz est détendu au cours d'une transformation adiabatique jusqu'à la pression de $2,5 \text{ MPa}$.
Expliquez ce qu'est une transformation adiabatique.
Calculez le volume et la température du gaz après la détente.

On donne : $\gamma = 1,3$

BTS Bâtiment 1994

- Les murs latéraux d'un local industriel maintenu à la température constante $\theta_i = 20^\circ\text{C}$
 - Le local dont le volume global est $V = 1600 \text{ m}^3$ contient de l'eau à l'état de vapeur.
 - On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait de masse molaire $M = 18 \text{ g mol}^{-1}$.
1. On constate que la pression de la vapeur d'eau à l'intérieur du local est égale à 10,8 mm de mercure. Déterminer la valeur de cette pression en unité internationale.
 2. Exprimer puis calculer la masse d'eau à l'état de vapeur contenue dans le local.

Données:

- masse volumique du mercure $\rho = 13600 \text{ kg m}^{-3}$
- accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m s}^{-2}$
- constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

BTS Esthétique et Cosmétique 2002

Données :

- Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masse molaire atomique de l'azote $M(\text{N}) = 14 \text{ g mol}^{-1}$

Une bombe aérosol de volume intérieur 300 mL, contient 100 mL de laque et le reste est occupé par le gaz propulseur, le diazote. Sa température est 20°C et sa pression $4,00 \times 10^5 \text{ Pa}$. Il se comporte comme un gaz parfait.

1. Donner l'équation d'état d'un gaz parfait en indiquant le nom et l'unité de chaque grandeur. Calculer la quantité de matière de diazote contenu dans cette bombe aérosol et sa masse.
2. La température passant à 50°C , quelle est la nouvelle pression du diazote dans cette bombe aérosol ?

BTS Maintenance Industrielle 1995 Métropole.

Une pompe prélève de l'air dans l'atmosphère à une température de 27°C à la pression de $1,0 \times 10^5$ Pa . Elle remplit en une minute une bouteille de 20 L de telle façon que la pression finale soit de 10×10^5 Pa , l'air étant alors à une température de 57°C.

On admet :

- que la transformation subie par l'air équivaut à deux transformations quasi-statiques théoriques successives :
 - une transformation 1-2 à température constante
 - une transformation 2-3 à volume constant.
- que l'air peut être assimilé à un gaz parfait
- que la bouteille était préalablement vide d'air.

Travail demandé :

1. Calculer le nombre de moles d'air subissant ces transformation.
2. Calculer le volume initial V_1 occupé par cet air.
3. Déterminer l'état théorique du gaz (p_2 , V_2 , T_2) à la fin de la transformation 1-2.
4. Calculer la puissance minimale de la pompe.

On donne :

- Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Expression du travail reçu par un gaz lors d'une transformation isotherme $W_{AB} = n \cdot R \cdot T \ln(p_B/p_A)$

BTS Agroéquipement 2002 et BTS Maintenance et après-vente des engins de Travaux Publics et de Manutention 2002

Un pneu d'un engin de manutention est gonflé à une pression absolue de 3,3 bar à 20°C. Dans ces conditions le volume interne du pneu est de 20 L.

On supposera que l'air se comporte comme un gaz parfait à l'intérieur du pneu.

1. Au bout d'une certaine durée d'utilisation, la température est de 45°C et la pression absolue vaut 3,5 bar.
 - 1.1. Calculer le volume du pneu dans ces conditions.
 - 1.2. Calculer la variation relative du volume du pneu par rapport au volume initial. Donner le résultat en %.
2. Après une nuit à l'extérieur, la température est de 0°C. En négligeant la variation de volume, calculer la pression absolue à l'intérieur du pneu.

Rappel : $T(\text{K}) = 273 + \theta(^{\circ}\text{C})$

BTS Conception et Réalisation de Carrosserie et BTS Réalisation d'Ouvrages Chaudronnés 2004

Données

- Constante des gaz $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Les chaleurs molaires sont données dans le tableau ci-dessous

	Gaz monoatomiques	Gaz diatomiques
C_V en $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,	$C_V = \frac{3}{2} \times R$	$C_V = \frac{5}{2} \times R$
C_p en $\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$,	$C_p = \frac{5}{2} \times R$	$C_p = \frac{7}{2} \times R$

- Le dioxygène O_2 est un gaz diatomique.
 - Pour une transformation isochore (à volume constant) : $Q = n \cdot C_V \cdot \Delta T$ et $W = 0$.
 - Pour une transformation isobare (à pression constante) : $Q = n \cdot C_p \cdot \Delta T$ et $W = -p \cdot \Delta V$
1. L'équation d'état des gaz parfaits s'écrit : $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$.
Donner la signification des grandeurs utilisées dans cette relation ainsi que leurs unités dans le système international.
 2. Une bouteille métallique de dioxygène O_2 de contenance $V_1 = 30$ litres, contient ce gaz supposé parfait, à la pression $p_1 = 2 \cdot 10^7$ Pa et à la température $\theta_1 = 20^{\circ}\text{C}$ (état 1). Soit T_1 sa température absolue telle que $T_1 = 273 + \theta_1$.
Calculer le nombre de moles de molécules n_1 de dioxygène contenu dans cette bouteille.

3. La température de la bouteille augmente et est maintenant $\theta_2 = 40^\circ\text{C}$ (état 2). La pression vaut p_2 et la température absolue T_2 .
- 3.1. Ecrire la relation entre p_1 , p_2 , T_1 et T_2 .
 - 3.2. Calculer la nouvelle pression p_2 dans la bouteille.
 - 3.3. Calculer la variation de l'énergie interne ΔU du dioxygène contenu dans la bouteille, dans la transformation de l'état 1 à l'état 2.

BTS Etudes et économie de la construction 2001

Données

- Le gaz est supposé suivre la loi des gaz parfaits.

$$pV^\gamma = \text{constante}$$

- Transformation adiabatique :
avec $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

- On prendra $C_p = 29,1 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

$$C_v = 20,8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

- Constante des gaz parfaits : $R = 8,31 \text{ uSi}$

On étudie partiellement un moteur à explosion, 4 temps. Dans un cylindre, la position du piston détermine le volume de gaz. Lorsque le piston est en position haute, le volume est minimal et vaut 60 cm^3 ; c'est le volume espace mort de la chambre de combustion. Lorsque le piston descend, il balaye un volume de 450 cm^3 (augmentation de volume) ; c'est la cylindrée.

1.

- 1.1. Donner le volume de la chambre de combustion lorsque le piston est en position basse.
- 1.2. La température du gaz dans la chambre est de 27°C et sa pression de 10^5 Pa . Calculer la quantité de matière de ce gaz.

2.

- 2.1. Un des temps correspond à une compression adiabatique. Que signifie le terme adiabatique ?
- 2.2. Quelle est la pression à la fin de la compression ?
- 2.3. Quelle est la température atteinte à la fin de la compression ?

3. On admet que la température du gaz, à la fin de la compression, est de 430°C . Calculer la variation d'énergie interne au cours de la compression.

BTS Etudes et Economie de la construction 2004

Un véhicule fonctionne au GPL (gaz de pétrole liquéfié). Le volume intérieur du réservoir est $V = 100 \text{ L}$.

I Lors du remplissage du réservoir à la température $\theta = 15^\circ\text{C}$, le GPL occupe 85% du réservoir sous forme liquide et le reste sous forme gazeuse. La pression p_1 du gaz est alors de $4,5 \times 10^5 \text{ Pa}$.

1. Dans ces conditions, le GPL liquide a une masse volumique $\rho_{\text{GPL}} = 560 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Calculer la masse de GPL liquide contenu dans le réservoir.

2. Rappeler l'équation d'état des gaz parfaits.

3. La phase gazeuse du GPL est assimilée à un gaz parfait de masse molaire $50 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$. Calculer la masse de GPL présent dans le réservoir sous forme gazeuse.

Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

II Le GPL est puisé dans le réservoir à l'état liquide. Il passe ensuite à l'état gazeux, il est vaporisé. La chaleur nécessaire à cette transformation est fournie par le circuit de refroidissement du moteur. On suppose qu'à un instant donné, le débit de GPL liquide est de $0,16 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$. La chaleur latente de vaporisation du GPL (Quantité de chaleur nécessaire pour vaporiser un kilogramme de liquide) est dans ces conditions : $L_v = 365 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

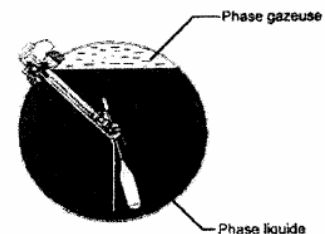
Calculer la puissance thermique qui doit être fournie par le circuit de refroidissement du moteur pour obtenir la vaporisation du GPL.

BTS Fluides Energie Environnement 2004

A Changements d'état d'un corps pur

Définir les changements d'état suivants

1. fusion,
2. vaporisation,



3. condensation.

B. Relation de Clapeyron : le cas du R717

θ (°C)	- 77,9	- 70	- 50	- 30	- 10	10	30	50	70	90	110	130	132,5
p_s (bar)	0,0606	0,11	0,41	1,2	2,91	6,2	11,7	20,3	33,12	51,1	75,8	108,9	113,53
	<i>point triple</i>								<i>point B</i>				<i>point critique</i>

- Tracer le graphe représentant la pression de vapeur saturante p_s (bar) en fonction de la température θ (°C); (échelle : 6 bar/cm et 10°C/cm).
 - Indiquer sur le graphe
 - le point critique par la lettre C,
 - le point triple par la lettre T.
 - Donner la signification du
 - point critique
 - point triple.
- Pour déterminer la chaleur latente massique L (J/kg) de vaporisation, on utilise souvent la relation

$$L = T(v_g - v_l) dp/dT$$
 - Donner la signification et l'unité (dans le système international) des autres grandeurs.
 - Le rapport dp/dT correspond au coefficient directeur de la tangente en un point : tracer la tangente au point B (voir représentation graphique).
 - En déduire la valeur numérique de dp/dT en bar.°C⁻¹ puis en Pa.K⁻¹.
 - Sachant qu'à cette température, au point B : $v_g - v_l = 3,65 \times 10^{-2}$ (S.I), calculer la chaleur latente massique L (J/kg) de vaporisation à cette température.

Transformations des gaz parfaits

BTS Fluides énergie environnement épreuve de physique 2001

1. Qu'appelle-t-on transformation adiabatique
2. Au cours d'une transformation adiabatique réversible, deux des variables d'état d'un gaz sont liées par une relation appelée équation des adiabates (ou relation de Laplace) ; donner l'équation des adiabates relative aux variables p et V .
3. En combinant l'équation d'état des gaz parfaits et l'équation des adiabates relative aux variables p et V , établir l'équation des adiabates relative aux variables p et T .

BTS Esthétique et cosmétique 2003

Un récipient de volume variable contient une mole d'un gaz parfait à la température de 20°C et sous la pression de 2×10^5 Pa (état 1).

1. Calculer le volume du gaz.
2. On laisse le gaz se détendre à température constante sous une pression extérieure constante de 10^5 Pa (état 2).
 - 2.1. Calculer le volume du gaz à la fin de la détente.
 - 2.2. Donner l'expression de la variation de l'énergie interne (en appliquant le premier principe de la thermodynamique) lors de la détente (de l'état initial 1 à l'état 2, après la détente) ; on indiquera ce que représentent les termes utilisés dans cette expression. Que peut-on dire de cette variation ?
 - 2.3. Calculer le travail et la chaleur échangés entre le gaz et le milieu extérieur pendant la détente, en précisant le sens de ces échanges.

On rappelle que l'énergie interne d'une mole de gaz parfait ne dépend que de sa température.

On donne la constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

L'expression du travail échangé entre un gaz et le milieu extérieur au cours d'un changement de volume (de V_1 à V_2) sous pression extérieure p_e constante est: $W = -p_e (V_2 - V_1)$.

BTS Maintenance Industrielle 1994, Nouméa.

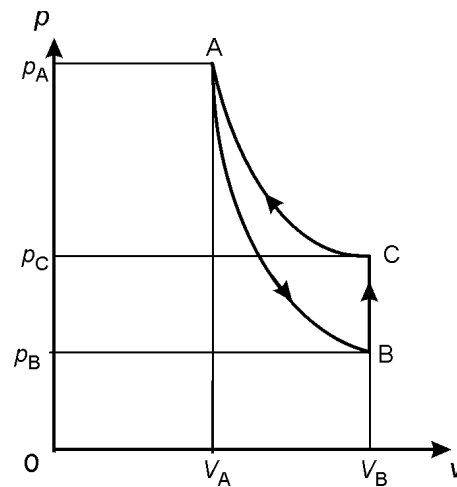
Un gaz parfait subit les transformations réversibles représentées sur le diagramme ci-contre :

- AB : détente adiabatique telle que $V_B = 2 V_A$
- CA : compression isotherme

On donne

- $p_A = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- $V_A = 10^{-2} \text{ m}^3$
- Température du gaz au point A $T_A = 300 \text{ K}$
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Capacité thermique molaire à pression constante $C_p = 29 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Rapport des capacités calorifiques de ce gaz :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,40$$



1. Comment appelle-t-on la transformation BC ?
2. Calculer le nombre de moles n de ce gaz.
3. Calculer :
 - 3.1. la pression p_B et la température T_B du gaz au point B.
 - 3.2. la pression p_C du gaz au point C .
4. Calculer la quantité de chaleur Q_{BC} et le travail W_{BC} reçus par le système pour la transformation qui fait passer le système de l'état B à l'état C.
5.
 - 5.1. Pourquoi la variation d'énergie interne ΔU_{CA} du gaz est-elle nulle lors de la transformation CA ?
 - 5.2. Appliquer le premier principe au cycle ABCA et en déduire le travail W_{AB} reçu par le gaz adiabatique AB.
 - 5.3. Interpréter le signe de W_{AB} .

RAPPELS :

Pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique réversible d'un état A (p_A, V_A, T_A) à un état B (p_B, V_B, T_B), on peut écrire :

$$p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

avec $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

BTS Maintenance Industrielle 1998, Nouméa.

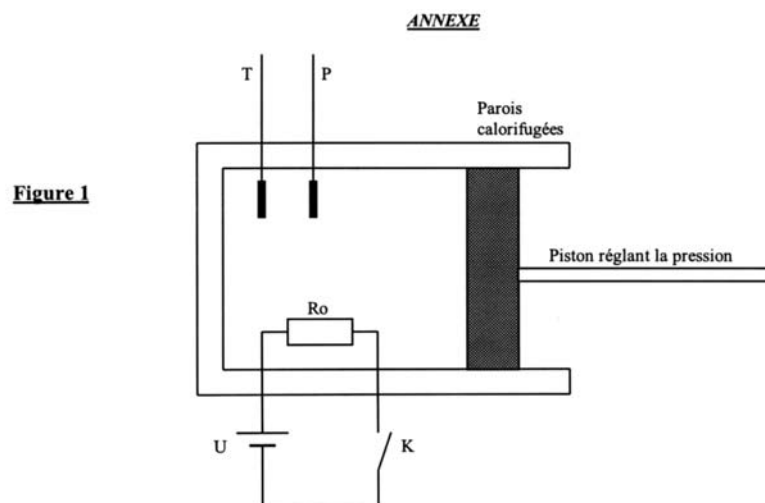
On considère une enceinte calorifugée dans laquelle l'une des parois est un piston. L'ensemble permet d'isoler n moles d'un gaz assimilé à un gaz parfait. Un thermomètre et un capteur de pression (de capacités thermiques négligeables) sont montés sur l'enceinte. Le piston est mobile. Un asservissement de pression (non représenté) assure une pression p constante dans l'enceinte.

Une résistance chauffante $R_o = 100 \Omega$ de capacité thermique également négligeable est disposée à l'intérieur de l'enceinte. Elle est alimentée par un générateur maintenant une tension fixe $U = 20V$ entre ses bornes. Dans tout le problème, R_o est supposée constante.

Le schéma du dispositif est représenté figure 1 (voir annexe).

On donne :

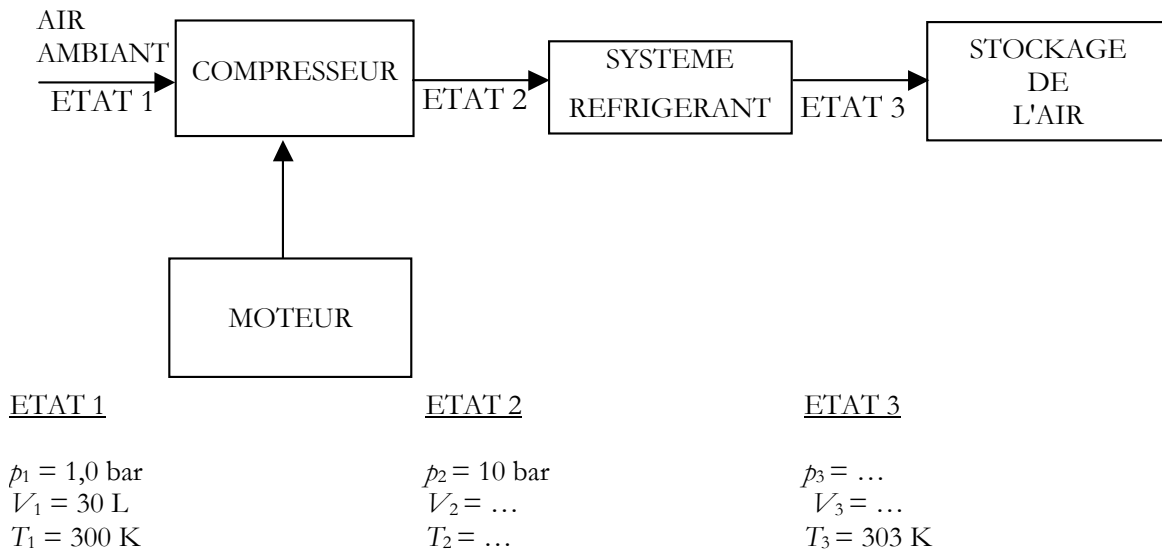
- $T_1 = 298K$ (température initiale de l'enceinte)
 - $p = 6,2 \times 10^5$ Pa (pression initiale du gaz de l'enceinte)
 - $R = 8,31$ J \cdot kg $^{-1}$ \cdot K $^{-1}$ (constante du gaz parfait)
 - $n = 1,0$ mole
1. Calculer le volume V_1 occupé initialement par le gaz.
 2. On ferme l'interrupteur K pendant une durée $\Delta t = 9,0$ min.
 - 2.1. Calculer l'intensité du courant dans le circuit électrique.
 - 2.2. Calculer l'énergie calorifique Q obtenue par effet Joule.
 - 2.3. On admet que cette énergie Q est intégralement reçue par le gaz dont la température devient alors $T_2 = 373K$.
 - 2.3.1. Déterminer C_p , capacité thermique molaire du gaz, à pression constante.
 - 2.3.2. Calculer le volume V_2 du gaz.
 3. Etude du travail reçu par le gaz.
 - 3.1. Donner l'expression du travail W reçu par le gaz quand il passe de l'état 1 caractérisé par (p_1, V_1, T_1) à l'état 2 caractérisé par (p_2, V_2, T_2).
 - 3.2. Calculer la valeur numérique de W .
 - 3.3. Préciser si le travail est moteur ou résistant.
 4. Calculer la variation d'énergie interne ΔU_{12} du gaz quand il passe de l'état 1 à l'état 2. En déduire la capacité molaire du gaz à volume constant C_v .



BTS Maintenance Industrielle 2001

L'étude porte sur une installation industrielle fournissant de l'air comprimé.

L'air peut être assimilé à un gaz parfait. On s'intéresse aux transformations subies par un volume de 30 L d'air ambiant.



Le compresseur réalise une transformation adiabatique réversible. Le refroidissement, réalisé par le système réfrigérant, est isobare.

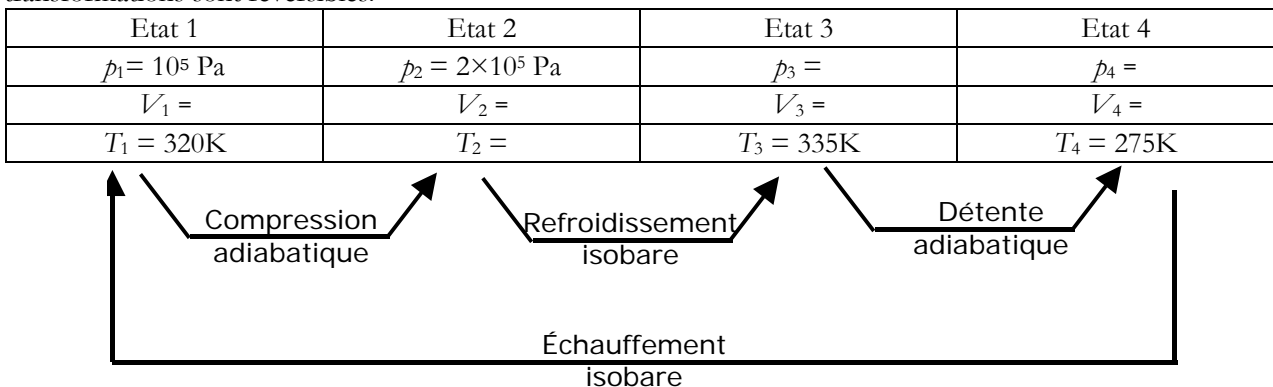
Données : $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$ $C_p = 29 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $\gamma = C_p/C_v = 1,4$
 $1 \text{ L} = 10^{-3} \text{ m}^3$ $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1. Calculer le nombre de moles prélevées à l'air ambiant par le compresseur.
2. Calculer V_2 et T_2 .
3. Calculer V_3 .
4. Tracer l'allure du diagramme $p = f(V)$ qui permet de suivre le comportement du gaz au cours des transformations qui le font passer de l'état 1 à l'état 2 puis de l'état 2 à l'état 3.
5. Calculer le travail mis en jeu lorsque l'air passe de l'état 1 à l'état 2.

Rappel : Pour une transformation adiabatique: $W_{1 \rightarrow 2} = \frac{1}{\gamma - 1} [p_2 V_2 - p_1 V_1]$

BTS Maintenance industrielle 2003

On s'intéresse au cycle parcouru par le fluide frigorigène (à savoir de l'air) d'une machine thermique. Cette machine puise de la chaleur dans les rejets à haute température d'une installation industrielle. On considère l'air comme un gaz parfait et on étudie le cycle parcouru par 1 kg d'air sachant que toutes les transformations sont réversibles.



On donne

- constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- capacité calorifique molaire de l'air à pression constante : $C_p = 29 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- coefficient adiabatique de l'air: $\gamma = 1,4$.

On rappelle que pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique réversible d'un état A (p_A, V_A, T_A) à un état B (p_B, V_B, T_B) on peut écrire

$$p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

$$p_A^{1-\gamma} T_A^\gamma = p_B^{1-\gamma} T_B^\gamma$$

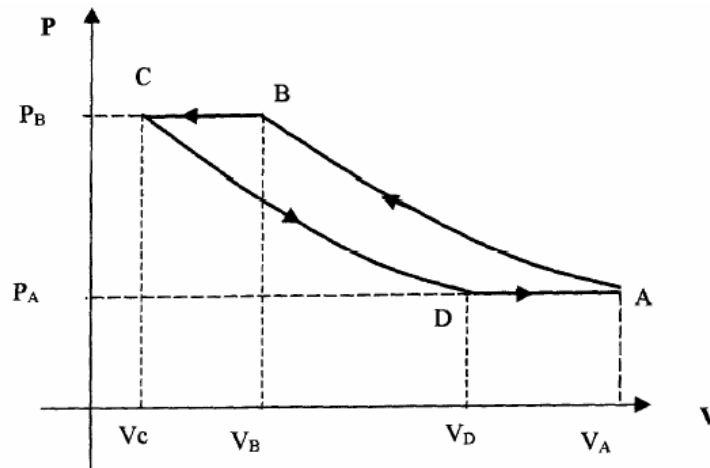
De plus on assimile l'air à un gaz parfait de masse molaire 29 g/mol.

1. Quel est le nombre de moles d'air correspondant à 1 kg d'air ?
2. Représenter sur un diagramme de Clapeyron $p = f(V)$ l'allure du cycle décrit par l'air. Indiquer par une flèche le sens des transformations.
3. Montrer que la température T_2 est de 390K.
4.
 - 4.1. Calculer les quantités de chaleur mises en jeu au cours de chacune des transformations.
 - 4.2. En déduire la quantité de chaleur mise en jeu au cours du cycle.
5.
 - 5.1. Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un cycle.
 - 5.2. En déduire l'énergie mécanique reçue par le gaz au cours du cycle. Commenter le signe de ce travail.

BTS Maintenance Industrielle 2004

Système de refroidissement

Il faut refroidir une génératrice synchrone lorsqu'elle travaille. On assure ce refroidissement par l'intermédiaire d'un fluide assimilé à un gaz parfait décrivant dans le diagramme ($p ; V$) le cycle réversible ci-dessous sans changement d'état.



On donne

Les caractéristiques thermodynamiques du gaz sont les suivantes

- Capacité thermique molaire à pression constante : $C_p = 49,9 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Rapport des capacités calorifiques de ce gaz : $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,2$
- Constante des gaz parfaits: $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Paramètres	Point A	Point B	Point C	Point D
Pression (Pa)	2×10^5	p_B	p_B	2×10^5
Volume (m^3)	0,2	V_B	V_C	0,178
Température (K)	298	348	310	265

Les transformations AB et CD sont adiabatiques

1. Citer le nom des transformations BC et DA.
2. Calculer le nombre de moles n de ce gaz.
3. Calculer la pression p_B et le volume V_B du gaz au point B.
4. Calculer la quantité de chaleur échangée Q_{AB} au cours de la transformation qui fait passer le système de l'état A à l'état B.
5. Calculer le travail W_{AB} reçu par le gaz au cours de la transformation AB.
6. Calculer V_C .

7. Calculer la quantité de chaleur Q_{BC} et le travail W_{BC} échangés au cours de la transformation qui fait passer le système de l'état B à l'état C.
8. Calculer la quantité de chaleur Q_{CD} et le travail W_{CD} échangés au cours de la transformation qui fait passer le système de l'état C à l'état D.
9. Calculer la quantité de chaleur Q_{DA} et le travail W_{DA} échangés au cours de la transformation qui fait passer le système de l'état D à l'état A.
10. Calculer la quantité de chaleur totale Q_{tot} et le travail W_{tot} échangés par le fluide au cours d'un cycle et conclure.

BTS Conception et Réalisation de Carrosserie 2003

On étudie le cycle d'une masse $m = 1$ kg de gaz parfait décrivant le cycle de transformations suivantes

- compression isotherme amenant le gaz de l'état A_1 à l'état A_2 ;
- échauffement isobare amenant le gaz de l'état A_2 à l'état A_3 ;
- détente adiabatique amenant le gaz de l'état A_3 à l'état A_4 ;
- refroidissement isobare amenant le gaz de l'état A_4 à l'état A_1 .

Données

- chaleur massique à pression constante : $c_p = 1000 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- rapport des chaleurs massiques à pression et volume constants : $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = \frac{7}{5}$
- relation des gaz parfaits : $p \cdot V = m \cdot r \cdot T$;
- $r = 287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$;
- formule de Laplace (détente adiabatique) : $p \cdot V^\gamma = \text{constante}$.

Calculer les valeurs des pressions, volumes et températures manquantes dans le tableau du document réponse et compléter ce dernier. Justifier les calculs sur la copie.

	Pression (Pa)	Volume (m ³)	Température (K)
État A_1	$p_1 = 1,00 \times 10^5$	$v_1 = \dots$	$T_1 = 350$
État A_2	$p_2 = 8,00 \times 10^5$	$v_2 = \dots$	$T_2 = \dots$
État A_3	$p_3 = \dots$	$v_3 = 0,50$	$T_3 = \dots$
État A_4	$p_4 = \dots$	$v_4 = \dots$	$T_4 = \dots$

BTS Moteurs à Combustion Interne 2001

Une masse m de dioxyde de carbone (CO_2), considéré comme un gaz parfait, occupe un volume $V_1 = 50$ L à la température $\theta_1 = 25$ °C ($T_1 = 298$ K) et sous une pression $p_1 = 1$ bar.

Elle subit les transformations successives suivantes

- a) Passage de l'état 1 à l'état 2 : Compression isotherme jusqu'à $V_2 = 10$ L.
- b) Passage de l'état 2 à l'état 3 : Détente isobare jusqu'à $V_3 = 20$ L.
- c) Passage de l'état 3 à l'état 4 : Détente isotherme jusqu'à $V_4 = 50$ L.
- d) Passage de l'état 4 à l'état 5 : Transformation isochore jusqu'à $\theta_5 = 25$ °C.

1. Donner l'allure de ces transformations dans un diagramme (p , V), montrer que les états 1 et 5 sont identiques et qu'il s'agit d'un cycle.
2. Calculer la masse m de dioxyde de carbone.
3. La première transformation étant isotherme, démontrer que le travail $W_{12} = -p_1 \cdot V_1 \ln(V_2/V_1)$. Calculer ce travail et la quantité de chaleur échangée, soit Q_{12} .
4. Calculer la pression p_3 et la température T_3 de l'état 3.
5. Au cours de la transformation isobare b), calculer le travail W_{23} et la quantité de chaleur Q_{23} échangés.
6. Calculer le rendement η du cycle sachant que
 - Pour la transformation isotherme c) on a $W_{34} = -Q_{34} = -9\,160$ J.
 - Pour la transformation isochore d) on a $Q_{45} = -15\,100$ J.

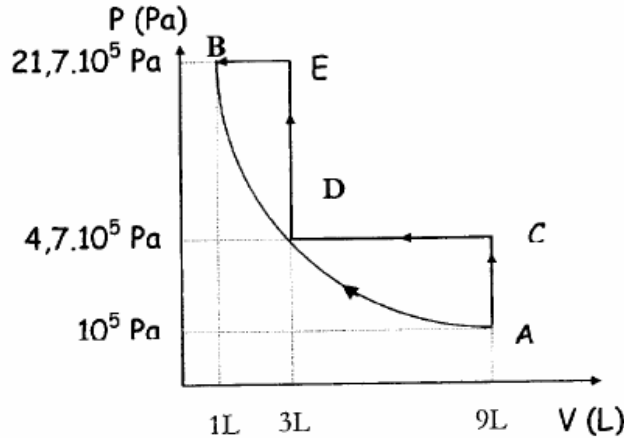
On donne

- les masses molaires atomiques : $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$, $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.
- la constante des gaz parfaits: $R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $r = R/M$ (M : Masse molaire moléculaire).
- la chaleur massique à pression constante : $c_p = 0,76 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- la chaleur massique à volume constant: $c_v = 0,57 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- $1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$.

BTS Études et Économie de la Construction 2004

On se propose de comprimer un volume V_A de 9 L d'air, gaz supposé parfait initialement à la pression $p_A = 10^5$ Pa en faisant passer son volume de 9 L à 1 L. La compression peut être réalisée de deux façons différentes

- compression 1 : à 2 étages de pression $A \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow B$
- compression 2 : adiabatique réversible de $A \rightarrow B$



1. Indiquer le nom de chaque transformation : AC - CD - DE - EB.
2. A partir du diagramme $p = f(V)$, calculer les différentes températures en C, D, E, B, sachant que la température en A est $T_A = 300$ K.
3.
 - 3.1. Quand dit-on qu'une transformation est adiabatique ?
 - 3.2. Quelle est la relation caractéristique d'une transformation adiabatique réversible parmi les relations suivantes : $p^\gamma V = \text{Constante}$, $pV^\gamma = \text{Constante}$, $pT^\gamma = \text{Constante}$. Justifier la réponse, en utilisant le diagramme $p = f(V)$.

On donne : $\gamma = 1,4$

BTS Travaux publics 2002

Une machine thermique met en jeu une masse constante d'un gaz parfait et lui fait décrire le cycle suivant selon des transformations réversibles :

- une compression isotherme qui fait passer le gaz de l'état A (pression 2 bar ; volume 30 L ; température 16°C) à l'état B (p_B ; $V_B = 6$ L ; T_B).
- un échauffement isobare de l'état B à l'état C (p_C ; $V_C = 18$ L , T_C).
- une détente adiabatique de l'état C à l'état D (p_D ; V_D ; T_D).
- un refroidissement isobare de l'état D à l'état A.

1. Calculer le nombre de moles gazeuses mises en jeu.
2. Calculer les variables d'état dans les états A, B, C et D. Reproduire dans votre copie, puis compléter, le tableau ci-dessous.

	Pression (Pa)	Volume (m ³)	Température (K)
Etat A			
Etat B			
Etat C			
Etat D			

3. Représenter ce cycle dans le diagramme de Clapeyron (p, V).
4. Calculer le travail et la quantité de chaleur échangés au cours de la transformation de l'état B à l'état C.

Données numériques :

- constante des gaz parfaits : $R = 8,31$ J · K⁻¹ · mol⁻¹.
- chaleur molaire à pression constante $C_p = 29,1$ J · K⁻¹ · mol⁻¹.
- dans une transformation adiabatique $p \cdot V^\gamma = \text{constante}$, avec $\gamma = 1,4$ pour le gaz considéré.

BTS Bâtiment 2004

On considère un volume d'air (gaz supposé parfait) dans un état A ($V_A = 40$ L ; $\theta_A = 27$ °C ; $p_A = 1,5 \times 10^5$ Pa).

1. Calculer la quantité de matière correspondante. (Nombre de moles).

2. On effectue les transformations suivantes sur ce gaz
 - a. Une transformation adiabatique réversible de l'état A à l'état B telle que $V_B = 8 L$.
 - b. Une transformation isobare de l'état B à l'état C telle que : $\theta_C = 627^\circ C$.
 - c. Une transformation adiabatique réversible de l'état C à l'état D.
 - d. Une transformation isochore de l'état D à l'état A.
 - 2.1. Définir les trois types de transformations : isobare ; isochore ; adiabatique.
 - 2.2. Déterminer la pression, le volume et la température de chaque point du cycle A–B–C–D. Donner les résultats sous forme de tableau.
 - 2.3. Représenter le cycle dans le diagramme de Clapeyron $p = f(V)$.
Echelle : $1 \text{ cm} \rightarrow 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ $1 \text{ cm} \rightarrow 2 \times 10^5 \text{ Pa}$
3. Calculer la quantité de chaleur totale échangée lors du cycle.
4. En appliquant le premier principe de la thermodynamique, déduire le travail total échangé dans ce cycle.

Données

- $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $C_p = 29,1 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $C_v = 20,8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- On rappelle que pour une transformation adiabatique $pV^\gamma = C^{\text{ste}}$ avec $\gamma = 1,4$.

BTS Chimiste 1999

Refroidissement par compression - détente

On désire refroidir de l'hélium gazeux pris initialement à la température $T_0 = 298 \text{ K}$ et à la pression $p_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$. Pour cela, on lui fait subir les transformations successives ① et ②

- ① Compression isotherme et réversible jusqu'à $p_1 = 6,0 \times 10^5 \text{ Pa}$
 - ② Détente adiabatique et réversible jusqu'à la pression initiale p_0 et une température T_1 On considérera dans les questions suivantes que l'hélium est un gaz parfait.
1. Représenter ces transformations sur un diagramme T - S (température-entropie).
 2.
 - 2.1. Exprimer la température T_1 en fonction de T_0, p_0, p_1 , et γ .
 - 2.2. Application numérique : calculer T_1 et le rapport $k = T_1/T_0$.
 - 2.3. Obtiendrait-on une température T_1 plus petite ou plus grande en utilisant un gaz diatomique ?
 3. Calculer le travail W_1 mis en jeu lors de la compression isotherme ① décrite ci-dessus, d'une mole d'hélium. Commenter son signe.
 4. Calculer le travail W_2 mis en jeu lors de la détente ②, décrite ci-dessus, d'une mole d'hélium. Commenter son signe.
 5. Calculer le travail total échangé avec l'extérieur par kilogramme d'hélium ayant subi les transformations ① et ②. Commenter son signe.
 6. L'hélium obtenu (température T_1 et pression p_0) est à nouveau soumis aux transformations ① et ②, à partir de la température initiale T_1 . La température finale sera notée T_2 .
Exprimer T_2 en fonction de T_0 et k .
 7. L'hélium pris dans les conditions initiales T_0 et p_0 subit n fois les transformations ① et ②. La température finale sera notée T_n . Exprimer T_n en fonction de T_0, k et n .
 8. Combien de fois au minimum doit-on faire subir la compression ① suivie de la détente ② à l'hélium pris à $T_0 = 298 \text{ K}$ et à $p_0 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ pour abaisser sa température en dessous de 30 K ?

Données

- $R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$
- $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$
- Pour un gaz monoatomique $C_p = 5R/2$ $C_v = 3R/2$
- Pour un gaz diatomique $C_p = 7R/2$ $C_v = 5R/2$
- Masse molaire atomique de l'hélium : $4 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- Température de liquéfaction de l'hélium à 10^5 Pa : $4,2 \text{ K}$

BTS Fluides Énergies Environnement 1993

Le forane 12 est un fluide frigorigène qui, dans les conditions normales de pression et de température, se trouve à l'état gazeux. Son nom chimique est dichlorofluorométhane de formule CCl_2F_2 (c'est un chlorofluorocarbure).

Données :

le rapport des capacités thermiques massiques de ce gaz à pression constante et à volume constant est $\gamma = 1,114$.

la constante des gaz parfaits est : $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

les masses molaires (en g mol^{-1}) sont : carbone : 12 ; chlore : 35,5 ; fluor : 19.

la masse volumique de l'air, dans les conditions normales de température et de pression, vaut : $\rho_A = 1,3 \text{ kg m}^{-3}$.

1.

1.1. Calculer la constante r relative à un kilogramme de ce gaz.

1.2. Calculer la densité de ce gaz.

1.3. Calculer les capacités thermiques massiques c_p et c_v .

2. On remplit une bouteille indéformable de capacité $V = 12 \text{ L}$ avec ce fluide. La masse de fluide introduite est $m = 15,3 \text{ kg}$ et ceci à température de 20°C .

Le tableau qui suit donne les caractéristiques thermodynamiques du forane 12 (attention aux unités utilisées !).

2.1. Déterminer la masse volumique de ce fluide.

2.2. En s'aidant du tableau des constantes thermodynamiques, montrer que le fluide se trouve simultanément sous forme liquide et sous forme vapeur.

2.3. Calculer la masse du liquide et la masse de la vapeur.

2.4. A quelle température, le fluide va-t-il se trouver sous une seule phase ? Préciser cette phase.

Caractéristiques Thermodynamiques du FORANE 12 (État saturé)

Température en °C	Pression en bar	Volume massique		Masse volumique		Enthalpie		Entropie	
		liquide v' en $\text{dm}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	vapeur v'' en $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	liquide ρ' en $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	vapeur ρ'' en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	liquide h' en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	vapeur h'' en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	liquide s' en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	vapeur s'' en $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- 100	0,011	0,599	10,10	1,669	0,099	112,01	305,85	0,6010	1,7203
- 90	0,028	0,607	4,116	1,645	0,242	120,56	310,30	0,6489	1,6849
- 80	0,061	0,616	2,138	1,621	0,467	129,12	314,86	0,6945	1,6560
- 70	0,122	0,626	1,127	1,595	0,887	137,73	319,49	0,7379	1,6325
- 60	0,226	0,636	0,6379	1,570	1,567	146,39	324,16	0,7794	1,6134
- 50	0,391	0,647	0,3831	1,543	2,610	155,11	328,83	0,8194	1,5978
- 45	0,504	0,653	0,3027	1,529	3,303	159,50	331,17	0,8388	1,5912
- 40	0,641	0,659	0,2419	1,516	4,133	163,90	333,49	0,8579	1,5852
- 35	0,807	0,665	0,1954	1,502	5,117	168,33	335,81	0,8766	1,5798
- 30	1,004	0,672	0,1594	1,488	6,273	172,78	338,11	0,8950	1,5749
- 29	1,048	0,673	1,1532	1,485	6,527	173,67	338,57	0,8987	1,5740
- 25	1,237	0,678	0,1312	1,473	7,621	177,25	340,40	0,9132	1,5706
- 20	1,509	0,685	0,1088	1,458	9,191	181,74	342,66	0,9310	1,5666
- 15	1,826	0,692	0,09102	1,443	10,986	186,27	344,91	0,9486	1,5631
- 10	2,191	0,700	0,07665	1,428	13,046	190,81	347,12	0,9660	1,5599
- 5	2,610	0,707	0,06496	1,412	15,394	195,39	349,32	0,9831	1,5571
0	3,086	0,715	0,05539	1,396	18,053	200,00	351,48	1,0000	1,5545
+ 5	3,626	0,724	0,04749	1,380	21,057	204,65	353,60	1,0167	1,5522
+ 10	4,233	0,733	0,04091	1,363	24,443	209,33	355,69	1,0332	1,5501
+ 15	4,914	0,742	0,03541	1,346	28,240	214,06	357,74	1,0496	1,5482
+ 20	5,673	0,752	0,03078	1,328	32,488	218,83	359,74	1,0659	1,5465
+ 25	6,516	0,762	0,02685	1,310	37,243	223,67	361,69	1,0820	1,5449
+ 30	7,449	0,773	0,02351	1,292	42,535	228,56	363,58	1,0980	1,5434
+ 35	8,477	0,785	0,02064	1,272	48,449	233,52	365,41	1,1140	1,5420
+ 40	9,607	0,798	0,01817	1,253	55,035	238,56	367,17	1,1299	1,5406
+ 45	10,84	0,811	0,01603	1,232	62,383	243,68	368,84	1,1458	1,5392
+ 50	12,19	0,825	0,01417	1,211	70,571	248,91	370,42	1,1618	1,5378
+ 55	13,66	0,841	0,01254	1,188	79,744	254,25	371,89	1,1778	1,5363
+ 60	15,25	0,858	0,01111	1,165	90,009	259,72	373,24	1,1939	1,5347
+ 65	16,99	0,876	0,009847	1,140	101,553	265,34	374,43	1,2102	1,5328
+ 70	18,86	0,897	0,008725	1,114	114,613	271,23	375,46	1,2268	1,5308
+ 75	20,87	0,920	0,007723	1,086	129,483	277,13	376,26	1,2436	1,5283
+ 80	23,05	0,946	0,006821	1,056	146,606	283,37	376,81	1,2608	1,5254
+ 85	25,38	0,976	0,006005	1,024	166,527	289,91	377,02	1,2786	1,5217
+ 90	27,88	1,012	0,005258	0,988	190,186	296,82	376,78	1,2970	1,5172
+ 95	30,57	1,056	0,004563	0,946	219,154	304,21	375,92	1,3165	1,5112
+ 100	33,44	1,113	0,003903	0,898	256,213	312,30	374,10	1,3374	1,5031
+ 110	39,78	1,364	0,002462	0,733	406,173	333,53	361,98	1,3915	1,4657
+ 112	41,15	1,792	0,001792	0,558	558,035	347,40	347,70	1,4270	1,4270

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1989*Etude d'un liquéfacteur d'azote*

Il s'agit de calculer l'énergie dépensée pour fabriquer 1 kg d'azote liquide à partir d'azote gazeux pris dans les conditions ambiantes ($p_1 = 1 \text{ bar}$, $T_1 = 290 \text{ K}$).

La figure n° 1 du document 1 représente le schéma de principe de l'installation.

L'étude de ce procédé se fera essentiellement en utilisant le diagramme entropique ci-joint (document 2), sauf pour la partie 2 (questions 2.1 et 2.2).

Ce diagramme., sur lequel on fera figurer les divers états de l'azote qui interviennent dans l'étude du procédé, sera rendu avec la copie.

À chaque utilisation du diagramme, il est demandé de justifier les réponses.

Description de l'installation

- Une certaine masse d'azote entre dans le compresseur C_1 à l'état 1 ($p_1 = 1 \text{ bar}$; $T_1 = 290 \text{ K}$), elle y subit une compression isotherme jusqu'à $p_2 = 20 \text{ bar}$.
- L'azote qui passe dans le compresseur C_2 subit une compression isotherme jusqu'à $p_3 = 200 \text{ bar}$.
- Puis un premier refroidissement, effectué grâce à une machine frigorifique M l'amène à la température $T_4 = 220 \text{ K}$ sans changement de pression.

- Ce gaz est encore refroidi, à pression constante, dans l'échangeur E par le gaz recyclé.
- Ensuite une détente isenthalpique dans la vanne V, de 200 à 20 bar, provoque un abaissement de température et une liquéfaction partielle de l'azote.
- L'azote liquide est extrait du séparateur S (état 7). La vapeur sèche d'azote, (ou gaz recyclé, état 8), est utilisée dans l'échangeur E pour refroidir de T_4 à T_5 l'azote comprimé.
- Le gaz recyclé se réchauffe dans l'échangeur E jusqu'à 290 K (état 2) puis est mélangé au gaz sortant du compresseur C_1 .

On note y la masse d'azote liquide obtenu pour 1 kg d'azote comprimé dans C_2 et subissant la détente isenthalpique.

1. Calcul de y

- 1.1. Placer sur le diagramme entropique les points représentant les états 1, 2, 3, 4, 7, et 8.
- 1.2. En écrivant le premier principe de la thermodynamique pour l'ensemble [séparateur - vanne - échangeur E] (voir figure 2 du document 1) donner la relation entre y et les enthalpies massiques h_4 , h_7 et h_2 .

On suppose que la vanne, le séparateur, l'échangeur et tous les circuits de liaison sont parfaitement calorifugés et on néglige les variations d'énergie cinétique.

- 1.3. Lire les enthalpies massiques sur le diagramme et calculer y .

2. Etude des compresseurs

On admet que les deux compressions de l'azote, dans C_1 et C_2 , s'effectuent de façon isotherme et mécaniquement réversible.

L'azote gazeux N_2 sera assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 28 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$

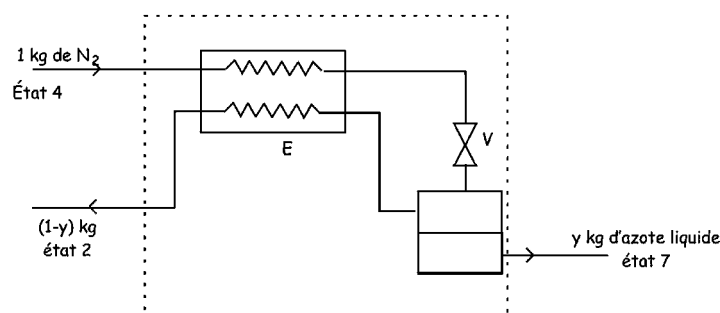
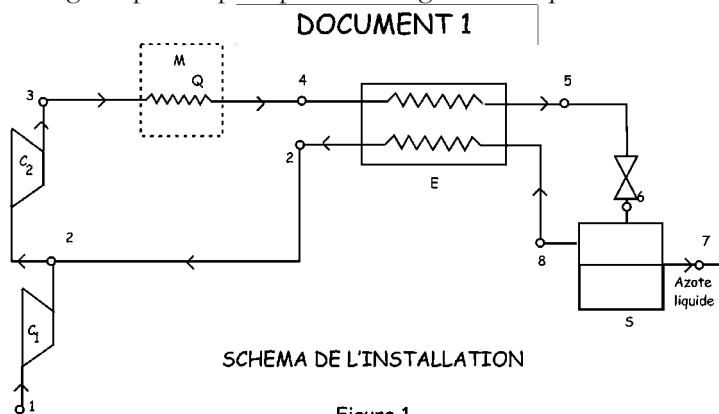
On rappelle la constante des gaz parfaits : $R = 8,314 \text{ J } \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- 2.1. Calculer le travail de compression W_1 dépensé dans le compresseur C_1 lorsque l'on obtient y kg d'azote liquide au séparateur S.
- 2.2. Calculer le travail de compression W_2 dépensé dans le compresseur C_2 pour la production de y kg d'azote liquide.

3. Bilan

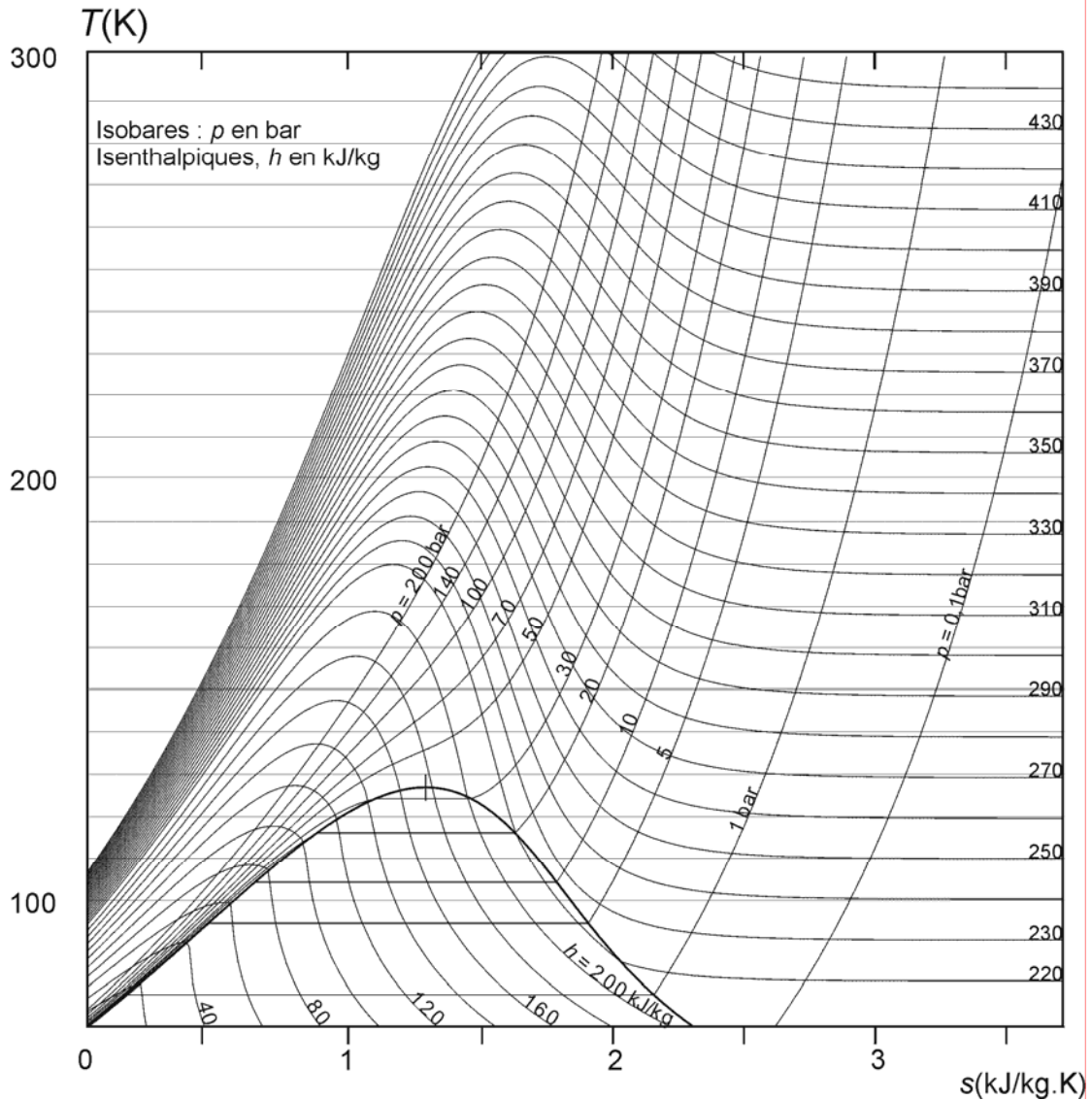
La machine frigorifique a un coefficient d'efficacité de 3.

- 3.1. Calculer la quantité de chaleur Q enlevée par la machine frigorifique à 1 kg d'azote gazeux passant de l'état 3 à l'état 4 (utiliser le diagramme en justifiant).
- 3.2. Calculer le travail W_3 dépensé par la machine frigorifique quand on produit y kg d'azote liquide.
- 3.3. Calculer l'énergie dépensée pour produire 1 kg d'azote liquide.



DOCUMENT 2

Diagramme de l'azote



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1996

Pour simplifier l'étude,

- On rappelle que $T(K) = t(^{\circ}C) + 273$

Le problème traite de procédés mis en œuvre lors de la regazéification du méthane dans les terminaux pétroliers, où il est stocké liquide, sous le nom de GNL (Gaz Naturel Liquéfié).

Le stockage s'effectue en légère surpression sous 1,1 bar à $-160^{\circ}C$, considéré comme l'équilibre.

La pression d'émission du GNL regazéifié est en général de 80 bar et il est alors échauffé jusqu'à $0^{\circ}C$.

La regazéification du méthane peut être effectuée par deux procédés

- Gazéification à basse pression, puis compression du gaz (gazéification BP)
- Compression du GNL puis gazéification (gazéification HP).

1. Compression en phase gazeuse (Figure -A-)

1.1. Le GNL est à l'état 1 sous pression $p_1 = 1,1$ bar et à sa température d'équilibre $T_1 = -160^{\circ}C$. Placer le point 1 sur le diagramme (p, h) ci-joint. Donner par lecture l'enthalpie h_1 de ce point.

1.2. Le GNL est gazéifié sous pression constante jusqu'à l'état de vapeur saturée, noté 2'. La chaleur est apportée par l'eau de mer dans un regazéifieur à ruissellement d'eau de mer, énergie considérée comme « gratuite » dans les terminaux.

Placer le point 2' sur le diagramme. Donner l'enthalpie h_2 .

Déterminer la quantité de chaleur massique $Q_{12'}$ échangée lors de cette regazéification.

- 1.3. Le gaz méthane subit ensuite une compression isentropique jusqu'à 80 bar. Cet état est noté 3'. Placer le point 3' sur le diagramme. Donner par lecture l'enthalpie $h_{3'}$.
On donne $\gamma = C_p/C_v = 1,34$. Calculer la température $t_{3'}$ atteinte.
- 1.4. Déterminer le travail massique, W_{BP} , nécessaire à la compression.
- 1.5. Le gaz est enfin réfrigéré de 3' en 3 pour se trouver dans les conditions d'émission, sous 80 bar à 0°C.
Placer le point 3 sur le diagramme. Donner par lecture l'enthalpie de ce point, h_3 .
Déterminer la quantité de chaleur massique $Q_{33'}$ échangée lors de ce refroidissement isobare.

2. 2 Pompage en phase liquide (Figure -B-)

- 2.1. Le GNL, dans l'état 1 est mis sous pression de 80 bar dans une transformation 1-2 considérée comme isentropique.
On donne $\rho = 900 \text{ kg m}^{-3}$, masse volumique du GNL, considérée comme constante.
Calculer le travail massique W_{12} échangé par le fluide en phase liquide.
En déduire alors l'enthalpie h_2 .
Placer le point 2 sur le diagramme.
- 2.2. La pompe GNL a un rendement $r = 0,7$. Calculer le travail W_{HP} dépensé lors du pompage.
- 2.3. Le GNL sous pression est enfin gazéifié dans un échangeur fluide - eau de mer à pression constante pour se trouver dans l'état 3, dans les conditions d'émission.
3. Déterminer la quantité de chaleur massique Q_{23} échangée lors de cette gazéification.
4. **Comparaison des deux procédés.**
4.1. Recopier dans un tableau les valeurs trouvées. Donner pour chaque transformation W et Q .
5. Conclure sur l'intérêt du deuxième procédé.
5.1. Le débit de GNL (liquide) d'un terminal méthanier est de $1\,000 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$.
On compare W_{BP} et W_{HP} - Calculer la puissance économisée par un terminal équipé du deuxième procédé sur celui de même production équipé du premier.

FIGURE A COMPRESSION EN PHASE GAZEUSE

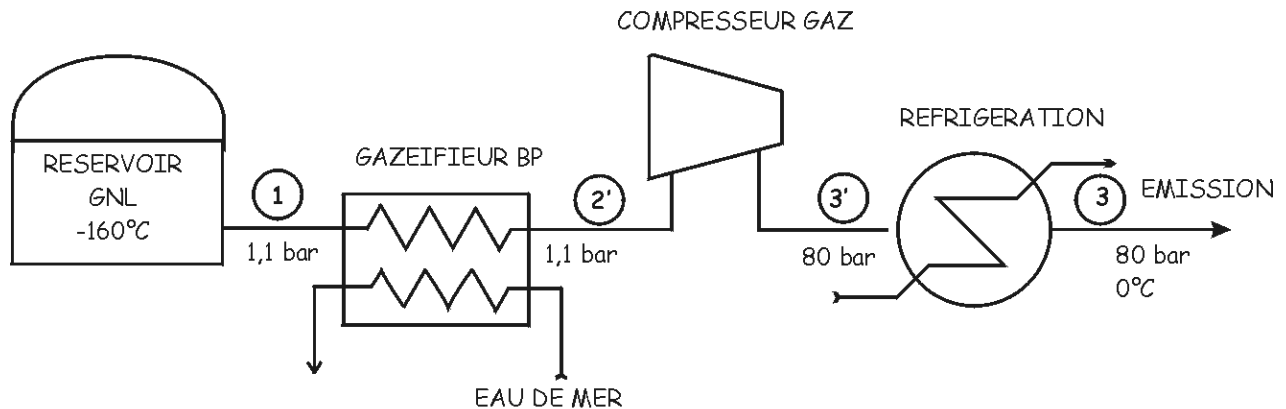


FIGURE B POMPAGE EN PHASE LIQUIDE

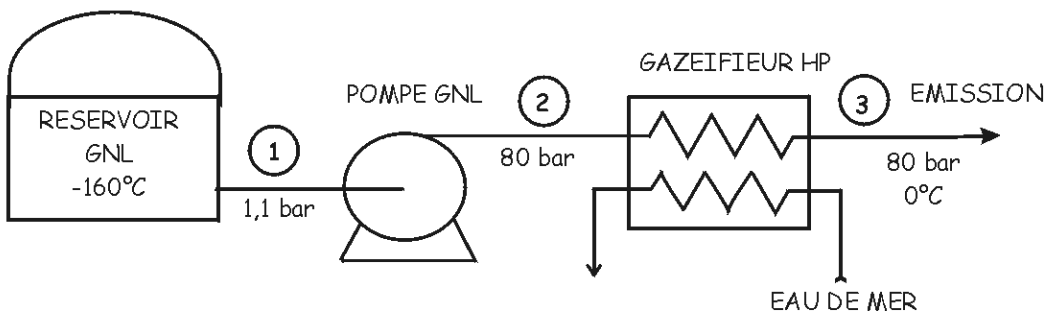
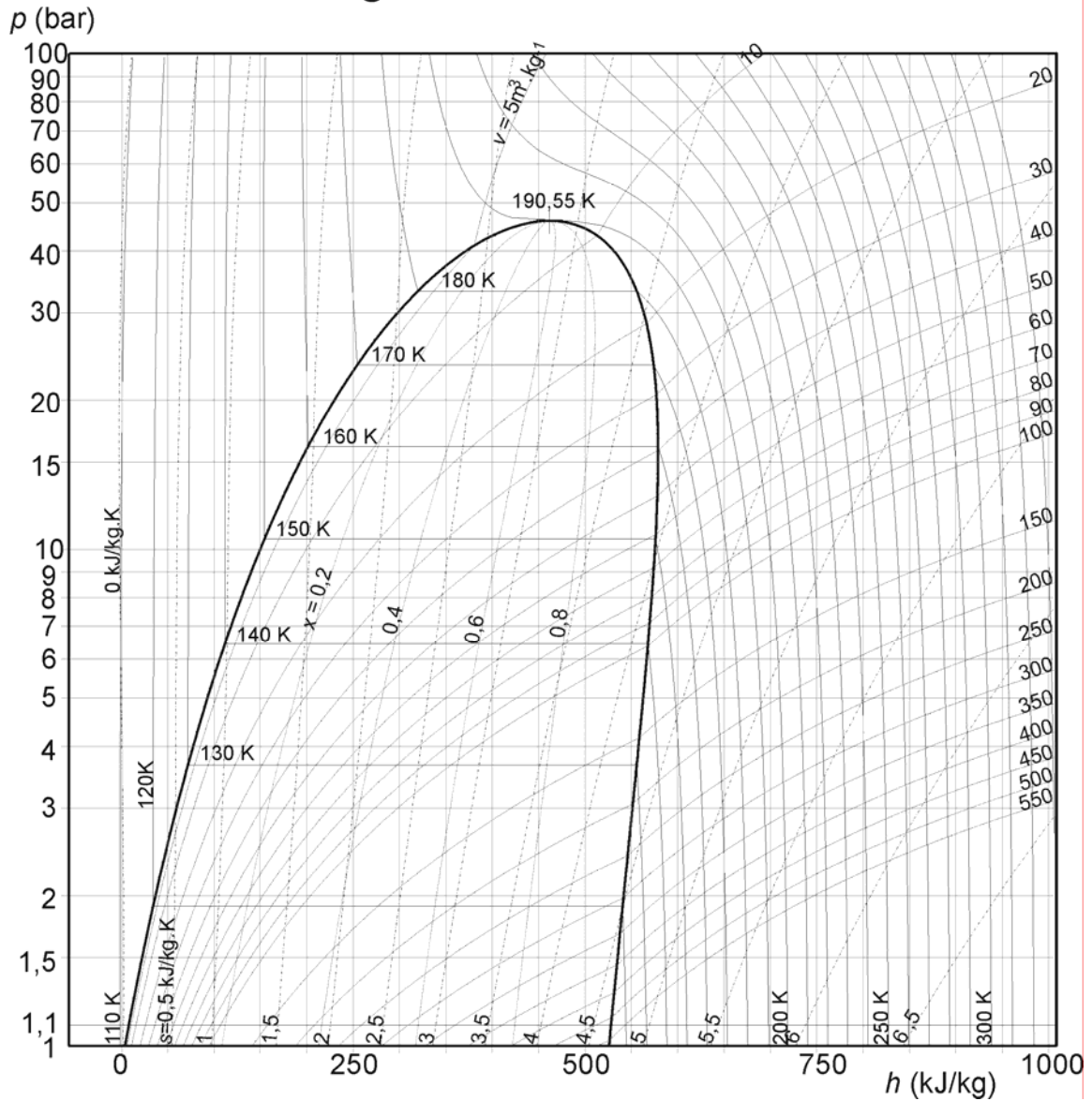
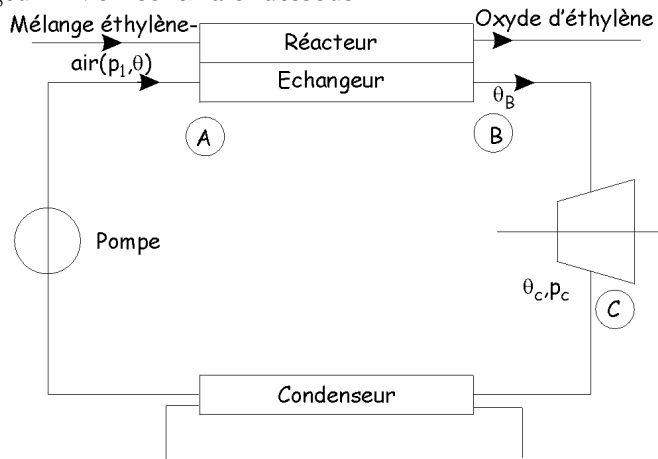


Diagramme du méthane



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2002

L'oxyde d'éthylène est obtenu par oxydation directe sous pression, de l'éthylène par le dioxygène de l'air. Cette réaction est exothermique et l'énergie thermique correspondante Q_1 est transférée à un circuit d'eau, dans un « réacteur échangeur ». Voir schéma ci-dessous



Étude de la compression du mélange éthylène-air.

Le mélange éthylène-air est disponible à la pression $p_1 = 1,0$ bar. Il est comprimé à la température constante $\theta = 25^\circ\text{C}$ jusqu'à une pression $p_2 = 15,3$ bar.

Le travail de compression pour une transformation réversible, à la température constante T , d'une quantité de matière n d'un gaz parfait, d'une pression p_1 à une pression p_2 , est donné par la relation suivante :

$$W = nRT \ln \frac{p_2}{p_1}$$

1. Sachant que la fabrication d'1 kmol d'oxyde d'éthylène nécessite une quantité de matière totale en mélange éthylène-air égale à 12,3 kmol, en déduire le travail de compression isotherme de ce mélange. Le mélange sera assimilé à un gaz parfait.
2. Les compresseurs utilisés ayant un rendement égal à 60 %, quel travail doivent-ils réellement fournir
Donnée : constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1995

Une mole de gaz parfait subit une transformation réversible d'équation $p \cdot V^n = k$ (constante), où n est un nombre compris entre 1 et γ . La compression envisagée est ainsi intermédiaire entre l'isotherme et l'adiabatique réversible.

1. Calculer le travail reçu par le fluide au cours d'une telle compression.
On utilisera le groupe de variables p, V . Notation pour l'état initial (p_0, V_0, T_0) , pour l'état final (p, V, T) .
Exprimer le résultat précédent en fonction des températures en faisant apparaître la capacité thermique molaire à volume constant C_V .
2. En considérant la variation d'énergie interne, déduire la quantité de chaleur Q reçue du milieu extérieur, puis le rapport $\eta = \frac{Q}{W}$
 - 2.1. Calculer, dans le groupe de variables V et T , la variation d'entropie d'une mole de gaz parfait (état initial T_0, V_0 ; état final T, V).
 - 2.2. Appliquer la formule à la transformation étudiée ; exprimer le résultat en fonction des volumes : V_0, V et de η .
3. Applications numériques
 - 3.1. Le gaz est monoatomique $C_V = \frac{3}{2}R$: justifier brièvement cette valeur. En déduire C_P puis γ .

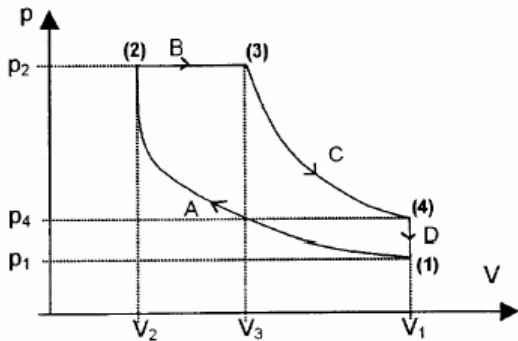
On donne $n = \frac{7}{5}$ et $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$. Calculer η .

- 3.2. Calculer la variation d'entropie du gaz pour une compression du type précédent entraînant une diminution du volume de 10 %.

Moteurs

BTS Agroéquipement 2004

On considère le cycle Diesel simplifié suivant



On suppose que le gaz parfait qui parcourt ce cycle est de l'air (malgré la combustion du gazole). Ce cycle est tracé pour une mole d'air. Les transformations successives supposées réversibles sont

A : Compression adiabatique

Etat (1)	V_1 $T_1 = 320 \text{ K}$ $p_1 = 1,0 \text{ bar}$	→	Etat (2)	$V_2 = \frac{V_1}{16}$ $T_2 = 970 \text{ K}$ p_2
----------	---	---	----------	--

B : Combustion et augmentation de température isobare

Etat (2)	→	Etat (3)	$V_3 = 2,91 \cdot V_2$ T_3 $p_3 = p_2$
----------	---	----------	--

C : Détente adiabatique

Etat (3)	→	Etat (4)	$V_4 = V_1$ $T_4 = 1425 \text{ K}$ $p_4 = 4,5 \text{ bars}$
----------	---	----------	---

D : Refroidissement isochore.

Données

- Transformations adiabatiques $\Rightarrow p \cdot V^\gamma = \text{Cste}$ et $T \cdot V^{\gamma-1} = \text{Cste}$ avec $\gamma = 1,4$.
- Capacité thermique molaire à volume constant $C_v = 20,8 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$. Capacité thermique molaire à pression constante $C_p = \gamma \cdot C_v$.
- La chaleur reçue lors de la combustion du gazole par une mole d'air est $Q_B = 54 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$

1. Calculer la pression p_2 .
2. Exprimer la chaleur Q_B échangée au cours de la transformation isobare B en fonction de T_2, T_3, γ et la capacité thermique molaire à volume constant C_v .
3. Montrer que la température T_3 est égale à 2820 K environ.
4. Lors des transformations A et C, quelles sont les valeurs des chaleurs Q_A et Q_C reçues par une mole d'air ?
5. Pour la transformation D, calculer la chaleur reçue Q_D par une mole d'air.
6. Appliquer le premier principe de la thermodynamique à ce cycle Diesel simplifié. On appellera W_{cycle} le travail reçu par une mole d'air au cours de ce cycle.
7. Que vaut la variation d'énergie interne d'une mole d'air au cours d'un cycle ?
8. Dédurre des deux questions précédentes la valeur du travail W_{cycle} et le coefficient de

performance $\rho = \left| \frac{W_{\text{cycle}}}{Q_B} \right|$

BTS Chimiste 2002

Le moteur de Stirling fait aujourd'hui l'objet de nombreux programmes de recherche et développement aux États-Unis, au Japon et en Europe du Nord, où il y a déjà quelques opérations de démonstration en vraie grandeur, notamment en Allemagne et aux Pays-Bas. Le moteur de Stirling présente des avantages significatifs par rapport à un moteur à explosion, Diesel ou essence

- peu de maintenance et une longue durée de vie ;
- moteur peu bruyant ,
- la combustion extérieure et continue, à basse pression, peut être parfaitement contrôlée pour émettre peu de gaz polluants (3 à 4 ppm d'oxydes d'azote) ,

- enfin, dans les installations de cogénération, la quasi-totalité de la chaleur non dépensée peut être récupérée et exploitée, ce qui conduit à un rendement global potentiel très élevé, de l'ordre de 95%.

Les températures notées T sont des températures absolues, en K.

1. Généralités sur les moteurs

Un moteur est un système fermé échangeant un travail \mathcal{W} avec l'extérieur, une chaleur Q_F avec une source froide (température T_F) et une chaleur Q_C avec une source chaude (température T_C).

1.1. Indiquer les signes des quantités \mathcal{W} , Q_F et Q_C , en justifiant la réponse.

1.2. Donner la définition du rendement (ou coefficient de performance) d'un moteur.

2. Cycle de Carnot

On rappelle qu'un cycle de Carnot est constitué de deux transformations réversibles isothermes et de deux transformations réversibles adiabatiques.

2.1. Rappeler l'expression du rendement d'un cycle de Carnot en fonction de T_F et T_C .

2.2. Existe-t-il, a priori, un moteur de plus grande performance, à T_F et T_C données ?

3. Étude théorique du moteur de Stirling

Le moteur de Stirling est modélisé ainsi : moteur ditherme à combustion externe dans lequel un gaz parfait est soumis à un cycle à quatre transformations :

- 1→2 compression isotherme où le gaz échange de la chaleur avec la source froide
- 2→3 transformation isochore
- 3→4 détente isotherme où le gaz échange de la chaleur avec la source chaude
- 4→1 transformation isochore

On notera p_i , V_i , T_i les variables d'état relatives aux états (i).

3.1. Donner, sans démonstration, l'expression des travaux \mathcal{W}_{12} , \mathcal{W}_{23} , \mathcal{W}_{34} et \mathcal{W}_{41} échangés au cours de chaque transformation ainsi que le travail total \mathcal{W} en fonction des variables V_i , T_i et n (quantité de gaz parfait, en mol).

3.2. Expliquer pourquoi la variation d'énergie interne est nulle au cours de la transformation 3→4. En déduire l'expression de la quantité de chaleur Q_{34} échangée avec la source chaude.

3.3. Établir l'expression donnant le rendement du moteur de Stirling en fonction de T_2 et T_3 . Justifier alors l'intérêt que suscite un tel moteur.

4. Étude numérique du moteur de Stirling

Ce moteur est utilisé pour une installation individuelle de cogénération. Il est placé au foyer d'une parabole : la source chaude est ainsi maintenue à 770 K par concentration du rayonnement solaire. Le travail obtenu est transformé en électricité à l'aide d'un alternateur, et la chaleur restante sert au chauffage de la maison.

Le tableau suivant donne les valeurs des variables p , V et T dans les quatre états du système.

	État 1	État 2	État 3	État 4
p (Pa)	$1,0 \times 10^5$	$5,0 \times 10^5$	$14,3 \times 10^5$	$2,9 \times 10^5$
V (m ³)	1×10^{-3}	2×10^{-4}	2×10^{-4}	1×10^{-3}
T (K)	270	270	770	770

4.1. Calculer le rendement de ce moteur.

4.2. Calculer \mathcal{W} , Q_{34} et en déduire la valeur de la chaleur Q_{12} échangée avec la source froide.

4.3. Sachant que le cycle est répété 500 fois par minute, en déduire la puissance fournie sous forme de travail. Calculer également la puissance thermique fournie par le système.

BTS Fluides énergie environnement 2001

Un moteur Diesel fonctionne selon le cycle suivant

- Le cylindre de volume V_A est rempli d'air à la température T_A sous la pression p_A (état A).
- Le piston comprime adiabatiquement l'air jusqu'à la pression p_B (état B).
- La combustion du gazole injecté élève la température du gaz (on supposera la masse de gazole négligeable par rapport à celle de l'air), à pression constante, à la valeur T_C (état C).
- Le gaz est alors détendu adiabatiquement jusqu'au volume initial (état D), puis refroidi, à volume constant, jusqu'à l'état initial.

1. Représenter l'allure du cycle dans le diagramme de Clapeyron (p, V).

2. Calculer les grandeurs p , V , T aux points remarquables du cycle (p_A , V_A , T_A pour l'état A, p_B , V_B , T_B pour l'état B, p_C , V_C , T_C pour l'état C et p_D , V_D , T_D pour l'état D) ; on donnera les expressions littérales puis les valeurs numériques seront présentées dans un tableau.

On admettra que toutes les transformations sont réversibles.

Pour les applications numériques, prendre les valeurs

$R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$; $V_A = 1 \text{ L}$; $T_A = 300 \text{ K}$; $p_A = 1 \text{ bar}$; $p_B = 40 \text{ bar}$; $T_C = 1850 \text{ K}$; $\gamma = 1,4$.

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1984

A Un moteur Diesel fonctionne avec de l'air décrivant le cycle schématisé figure 1 : l'abscisse représente le volume du cylindre et l'ordonnée la pression de l'air qui y est contenu.

1^{er} temps (0-1) : Le déplacement du piston du point mort haut (PMH) au point mort bas (PMB), aspire un volume V_1 d'air frais à la pression constante p_1 et à la température t_1 , la soupape S_1 est ouverte, S_2 est fermée. Puis S_1 et S_2 sont fermées jusqu'au point 4.

2^{ème} temps (1-2) : Le piston se déplace jusqu'au PMH, réalisant la compression adiabatique et réversible de l'air jusqu'au volume V_2 .

3^{ème} temps (2-3) et (3-4) : Le combustible est pulvérisé dans l'air comprimé et s'enflamme spontanément, la pression restant constante, puis les gaz brûlés et l'air en excès se détendent de façon adiabatique et réversible en repoussant le piston jusqu'au PMB.

4^{ème} temps (4-1) et (1-0) : S_2 s'ouvre, la pression tombe à p_1 , instantanément, le volume du cylindre restant constant. Puis le piston refoule les gaz brûlés à l'atmosphère à la pression p_1 constante.

Données $p_1 = 1,00 \text{ bar}$; $t_1 = 50,0^\circ\text{C}$; $V_1 = 2,00 \text{ dm}^3$

L'air est assimilé à un gaz parfait $\gamma = 1,4$.

Constante relative à 1 kg de gaz parfait : $r = 287 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Rapport de compression : $a = V_1 / V_2 = 16$.

Masse molaire équivalente de l'air : $29 \times 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Pouvoir calorifique du combustible : $Q = 440 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$.

On négligera l'influence, sur les chaleurs massiques, du combustible et des produits de combustion mélangés à l'air, l'air étant en excès. On donne le rapport

$$\tau = \text{masse d'air} / \text{masse de combustible} = 28$$

Pour la même raison, on admettra que, de 4 à 1, toute la masse d'air subit une détente à volume constant. On supposera toutes les transformations réversibles.

1. Calculer : la masse totale d'air M_a contenu dans le cylindre,
La masse M_c de combustible injecté à chaque cylindre,
la quantité de chaleur Q_1 dégagée par sa combustion.
2. Calculer les valeurs de p_2 , T_2 , T_3 , V_3 , T_4 et p_4 .
3.
 - 3.1. Calculer l'énergie mécanique échangée à chaque cycle avec le milieu extérieur.
 - 3.2. Le moteur comporte 6 cylindres identiques et tourne à 1000 tours par minute. Quelle est sa puissance ? (un cycle correspond à 2 tours du moteur).
4.
 - 4.1. Exprimer les variations d'entropie de l'air au cours des 4 transformations du cycle : 1, 2, 3, 4, 1. Faire les applications numériques.
 - 4.2. Représenter le cycle dans le diagramme entropique en prenant $S = 0$ pour l'état 1. Que représente l'aire du cycle ? Le justifier.
5. Exprimer le rendement thermodynamique du cycle en fonction de T_1 , T_2 , T_3 , T_4 et γ . Faire l'application numérique.

B Dans un moteur Diesel «rapide» le cycle décrit par l'air est modifié.

L'injection du combustible est réglée pour que la fraction massique x brûle à volume constant ; la fraction $(1 - x)$ brûle à pression constante. Le nouveau cycle est schématisé figure 2.

On donne $x = 0,20$: les autres données sont inchangées.

1. Calculer T_3 , T_4 , T_5 .
2. Exprimer le rendement thermodynamique du cycle en fonction des 5 températures et de γ . Faire l'application numérique. Comparer avec le rendement du moteur étudié au paragraphe A.

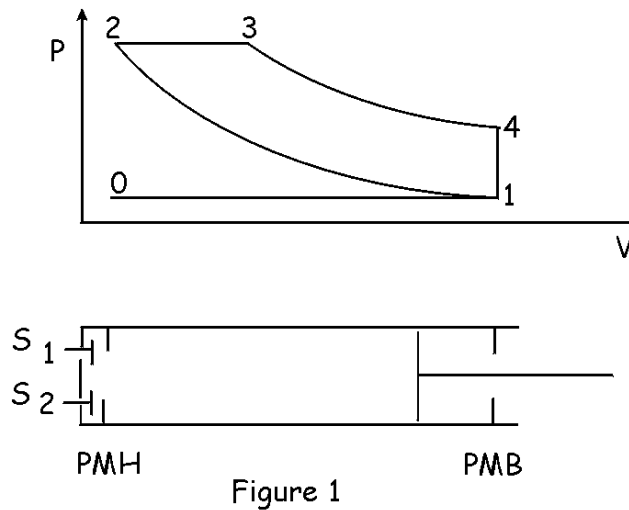


Figure 1

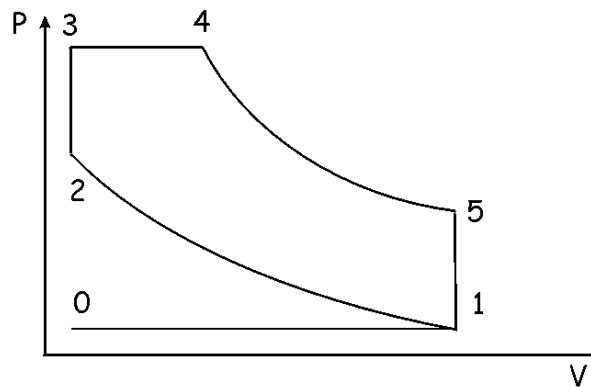


Figure 2

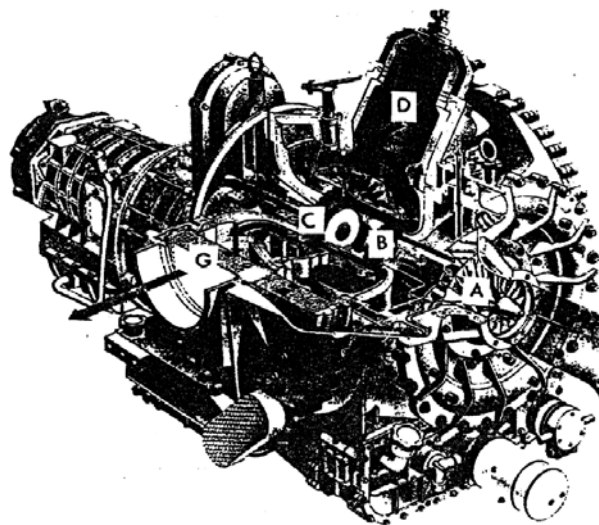
BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1993

Etude d'une turbine à gaz.

Ce problème comporte 6 parties. Les parties 4, 5 et 6 peuvent être traitées indépendamment des autres. Deux exemplaires du diagramme enthalpique de l'air sont fournis en annexe. L'un est destiné aux essais du candidat, l'autre est à rendre avec la copie.

La turbine GT 31 que l'on se propose d'étudier, sert à la propulsion d'un autocar.

L'air extérieur aspiré est comprimé par le compresseur axial A- Il est ensuite préchauffé par l'échangeur rotatif G, avant de pénétrer dans la chambre de combustion D. Porté à 1 050°C il va alors actionner la turbine B qui entraîne uniquement le compresseur, puis la turbine C qui est accouplée à la boîte de vitesse du véhicule. Enfin il est rejeté à l'extérieur après avoir retraversé l'échangeur G.



Caractéristiques et performances

Régime nominal de la turbine: 54 000 tr /min.

Air aspiré : 1,5 kg /s à 15°C et 1 bar.

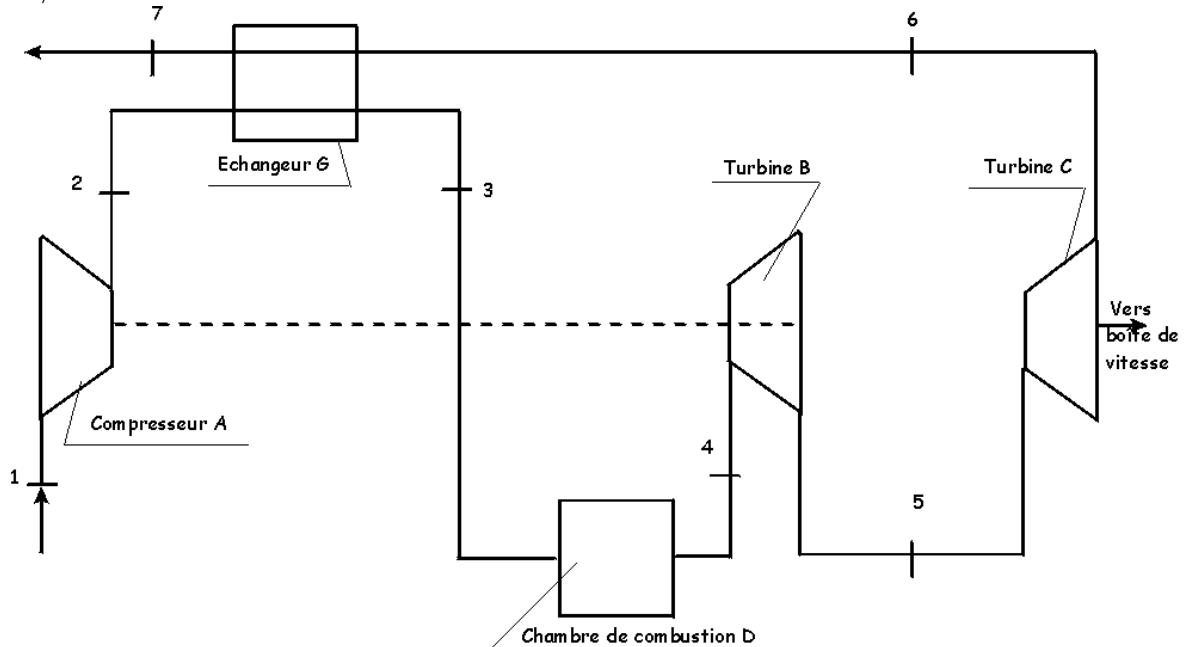
Taux de compression du compresseur A: 1 à 6.

Température de l'air en sortie échangeur et entrée chambre de combustion $T_3 = 400^\circ\text{C}$.

Température en sortie chambre de combustion et entrée turbine B : $T_4 = 1\,050^\circ\text{C}$.

Température en sortie échangeur et avant rejet dans l'atmosphère : $T_7 = 250^\circ\text{C}$.

Dans ces conditions le moteur fournit en sortie de boîte de vitesses un couple de 1400 N·m au régime de 2650 tr /min.



Description du cycle théorique de fonctionnement.

1-2 : Compression isentropique.

2-3 : Echauffement isobare dans l'échangeur G.

3-4 : Combustion isobare.

4-5 : Détente isentropique dans la turbine B.

5-6 : Détente isentropique dans la turbine C.

6-7 : Refroidissement isobare dans l'échangeur.

7-1 : Refroidissement isobare dans l'atmosphère.

ETUDE DE LA TURBINE GT 31.**1. Cycle thermique**

Tracer qualitativement ce cycle sur un diagramme (P, v).

2. Détermination des paramètres thermodynamiques.

2.1. Tracer sur le diagramme enthalpique de l'air, en annexe, à rendre avec la copie, la compression 1 - 2. En déduire la température T_2 de l'air à la sortie du compresseur. Retrouver ce résultat par le calcul. On

prendra pour cette question $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$.

2.2. Placer sur le diagramme les points 4 et 6. Relever la température T_6 .

2.3. Placer les points 3 et 7 sur le diagramme enthalpique. Relever l'enthalpie de l'air aux différents points du cycle : $h_1, h_2, h_3, h_4, h_6, h_7$.

3. Bilan thermique du cycle.

3.1. Déterminer le travail massique de compression $w_{(1-2)}$.

3.2. La turbine B entraîne uniquement le compresseur A. En supposant le système parfait (aucune perte), quel est le travail massique que doit prélever la turbine B sur les gaz de combustion ? En déduire l'enthalpie h_5 au point 5, et placer ce point sur le diagramme. Relever la température T_5 au point 5.

3.3. Déterminer le travail massique récupéré par la turbine C: $w_{(5-6)}$.

3.4. Déterminer la chaleur massique apportée par la combustion: $q_{(3-4)}$.

3.5. Calculer le rendement théorique de cette machine.

4. Calcul de la consommation de carburant.

En supposant que la combustion doit fournir 750 kJ/kg à l'air circulant dans la machine, déterminer la consommation horaire de carburant. On donne

- débit d'air au régime nominal : 1,5 kg/s
- pouvoir calorifique du carburant : 43 000 kJ/kg.

5. Puissance mécanique de la machine.

En supposant que le travail massique récupéré par la turbine C est de 320 kJ/kg, déterminer la puissance théorique qu'elle fournit.

Au banc d'essai, on mesure en sortie de boîte de vitesses un couple de 1 400 N m à 2650 tr/min. Indiquer les causes mécaniques et thermiques de la différence avec le résultat du 5.1.

6. Amélioration des performances.

L'acier utilisé pour les aubages de la turbine ne permet pas de dépasser 1 100°C dans la chambre de combustion. Un prototype fonctionne actuellement avec des aubes en céramique (nitrure de silicium). La nouvelle température du point 4 est $t'_4 = 1\ 300^\circ\text{C}$. Parallèlement, l'amélioration de l'efficacité de l'échangeur réalisé lui aussi en céramique, permet d'atteindre $t'_3 = 750^\circ\text{C}$ au point 3.

- 6.1. Tracer le nouveau cycle sur le diagramme (annexe 1 à rendre avec la copie).
- 6.2. Le rendement thermique ayant pour expression $\eta = (h'_5 - h'_6)/(h'_4 - h'_3)$, calculer ce nouveau rendement. Quelle est, en pourcentage, l'amélioration obtenue par rapport à la question 3-5 ?
- 6.3. Calculer la nouvelle consommation horaire de carburant. Quelle est, en pourcentage, l'économie réalisée par rapport à la question 4 ?

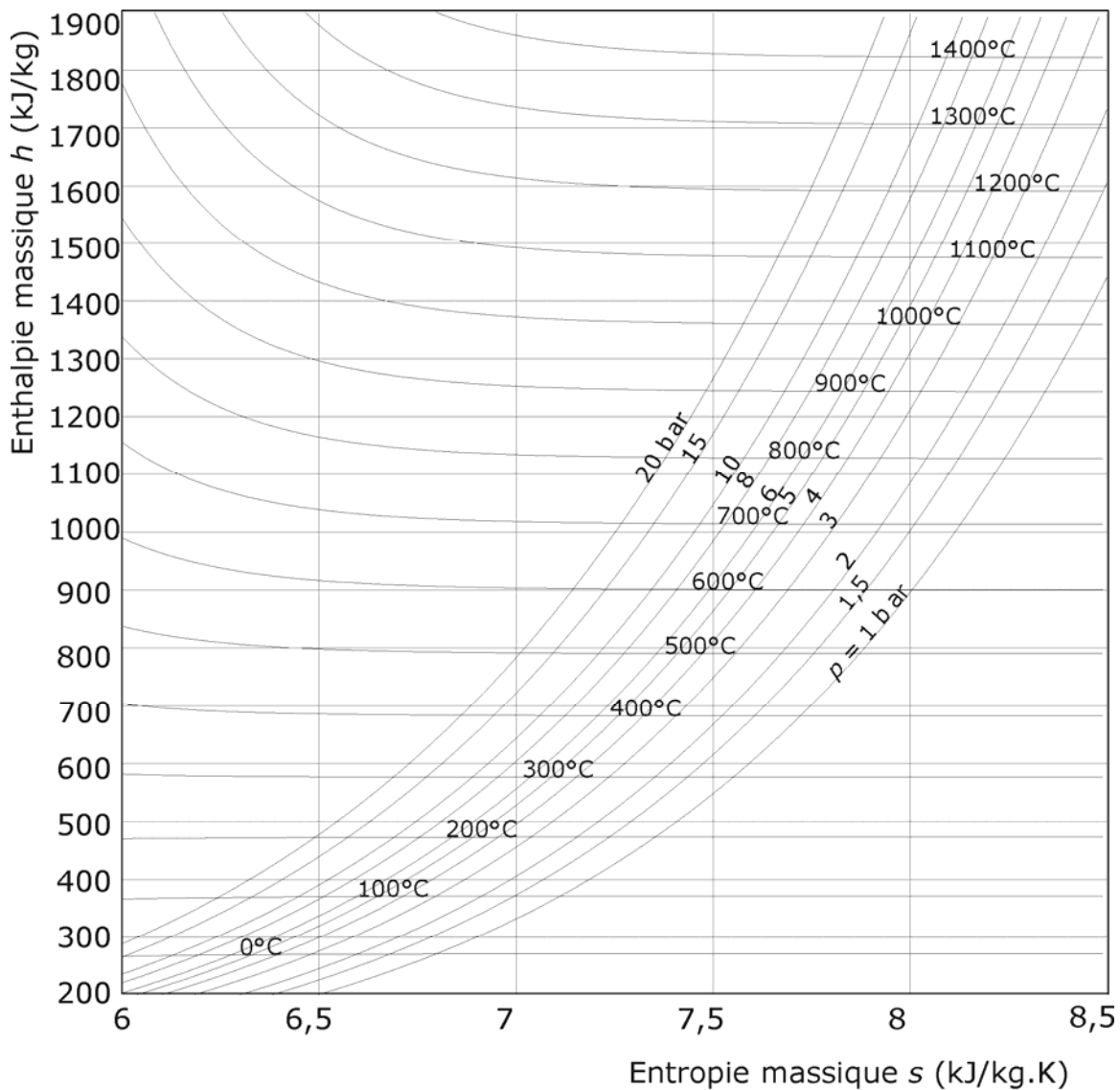
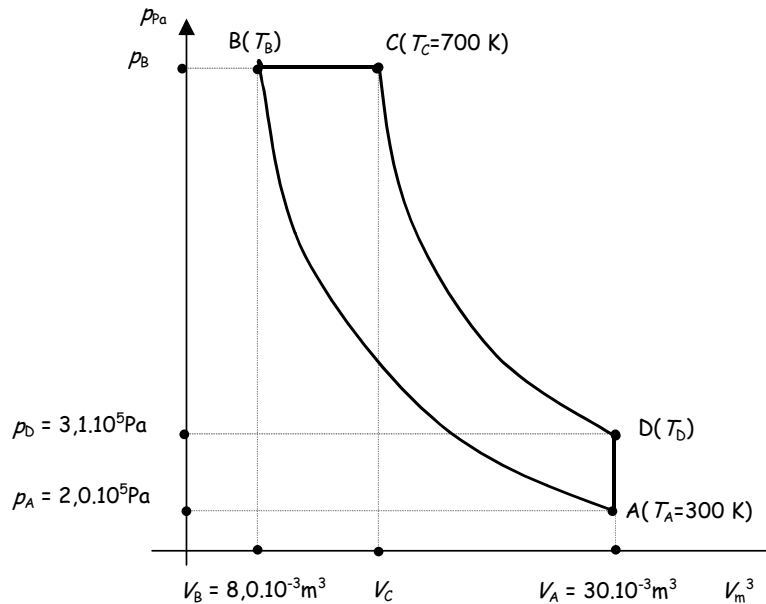


Diagramme de Mollier de l'air

BTS Enveloppe du bâtiment 2001

Un moteur à air chaud (gaz supposé parfait) fonctionne suivant le cycle de Diesel (2 adiabatiques, une isobare et une isochore).

On considère 2,4 moles de ce gaz qui décrivent le cycle suivant



1.
 - 1.1. Qu'appelle-t-on transformation: isobare, isochore, isotherme, adiabatique.
 - 1.2. Indiquer la nature des transformations AB ; BC ; CD ; DA.
2. Calculer les pression, volume et température en chacun des points B, C, D du cycle. Donner les résultats sous forme d'un tableau.
3. Calculer le travail total échangé par le gaz au cours du cycle.
On rappelle que pour une transformation isobare le travail reçu par le fluide s'exprime par $W_{12} = p_1 (V_1 - V_2)$ et pour une transformation adiabatique par $W_{12} = \frac{p_1 V_1 - p_2 V_2}{1 - \gamma}$
4. Calculer la quantité de chaleur Q_{BC} .

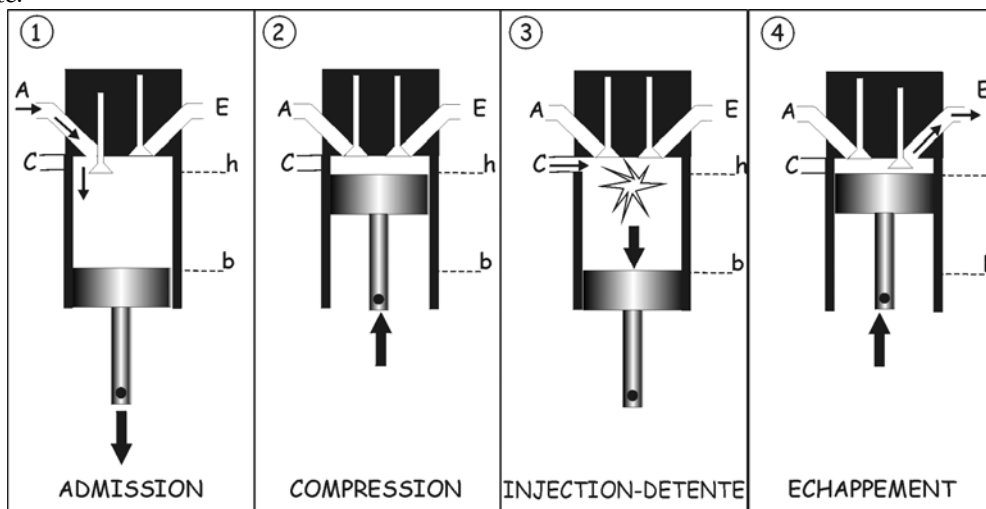
Données:

$R = 8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $C_p = 29,1 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, $C_v = 20,8 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

On rappelle que pour une transformation adiabatique réversible: $pV^\gamma = \text{Cste}$ avec $\gamma = 1,40$.

BTS Construction navale 2001

Les figures 1,2,3,4 représentent les quatre temps du moteur Diesel. Pour simplifier le problème, un seul cylindre est représenté.



Premier temps (① admission) : passage de l'état 0 à l'état 1

Le piston part de la position b et descend ; l'orifice A est ouvert, de l'air vient remplir le cylindre, puis l'orifice A se referme quand le piston atteint la position b . On suppose que l'admission s'effectue à pression et température constantes.

Deuxième temps (② compression) : passage de l'état 1 à l'état 2

Les deux orifices A et E étant fermés, le piston remonte à la position b . Le gaz subit une compression adiabatique réversible.

Troisième temps (③ injection et détente) : retour à l'état 1 par les états 3 et 4.

Le piston redescend. Le gasoil est injecté en G pour être finement pulvérisé. Il s'enflamme spontanément à mesure qu'il est introduit (sa température d'inflammation est voisine de 300°C) et brûle pendant une partie de la descente du piston. On peut considérer qu'au cours de la descente du piston, le gaz subit

- Une transformation isobare (combustion des gaz) : passage de l'état 2 à l'état 3
- Une détente adiabatique réversible : passage de l'état 3 à l'état 4
- Un refroidissement isochore : passage de l'état 4 à l'état 1.

Quatrième temps (④ échappement) : passage de l'état 1 à l'état 0

Quand le piston franchit la position b , l'orifice E est ouvert et les gaz brûlés sont évacués par le piston qui remonte. On considère la pression des gaz constante pendant cette transformation.

Le diagramme $p(V)$ figurant sur le document réponse représente la pression p du gaz en fonction du volume V du cylindre.

1. Sur ce document-réponse, reporter les états 0, 1, 2, 3, 4 et flécher le cycle.

La quantité de gasoil injecté étant peu importante par rapport à celle de l'air aspiré, on la négligera devant cette dernière. Le cycle $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$ est étudié pour un nombre de moles (noté n) d'air, que l'on assimilera à un gaz parfait.

On donne

- $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (R: constante des gaz parfaits)
- $C_p = 29,1 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (C_p : capacité calorifique molaire à pression constante)
- $\gamma = C_p / C_v = 1,4$ (C_v : capacité calorifique molaire à volume constant)
- $V_1 = 11,60 \text{ dm}^3$ (volume du gaz à l'état 1)
- $p_1 = 10^5 \text{ Pa}$ (pression du gaz à l'état 1)
- $T_1 = 300 \text{ K}$ (température du gaz à l'état 1)
- $\tau = V_1 / V_2 = 19$ (taux de compression)

2. Calculer le nombre n de moles correspondant au volume V_1 de gaz à l'état 1. On considérera que ce nombre ne varie pas au cours du cycle

3. Calculer la pression p_2 et la température T_2 du gaz à l'état 2.

4. La combustion du carburant, à pression constante, provoque une élévation de température et celle-ci atteint 3800 K en fin de combustion.

En déduire le volume V_3 du gaz à l'état 3 puis la pression p_4 et la température T_4 du gaz à l'état 4.

On prendra pour la suite : $n = 0,47$; $T_2 = 975 \text{ K}$; $T_4 = 2020 \text{ K}$.

5. Calculer les quantités de chaleur algébriques échangées avec le milieu extérieur au cours de la transformation
On notera

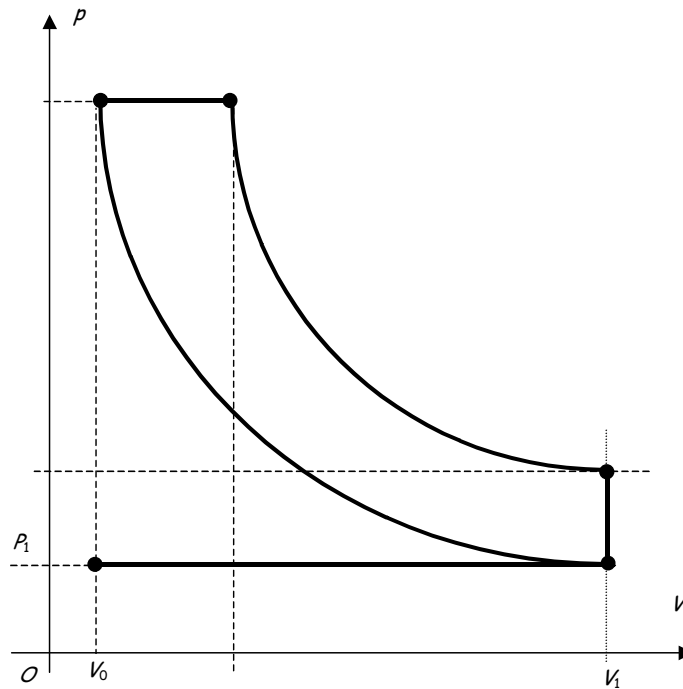
- Q_{12} la quantité de chaleur échangée par le gaz lors de la transformation $1 \rightarrow 2$,
- Q_{23} la quantité de chaleur échangée par le gaz lors de la transformation $2 \rightarrow 3$,
- Q_{34} la quantité de chaleur échangée par le gaz lors de la transformation $3 \rightarrow 4$,
- Q_{41} la quantité de chaleur échangée par le gaz lors de la transformation $4 \rightarrow 1$.

6. En déduire par application du premier principe de la thermodynamique

6.1. la variation de l'énergie interne ΔU du gaz au cours du cycle $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$,

6.2. le travail W reçu par le gaz au cours du cycle,

6.3. le rendement de ce cycle: $\eta = \frac{-W}{Q_{23}}$

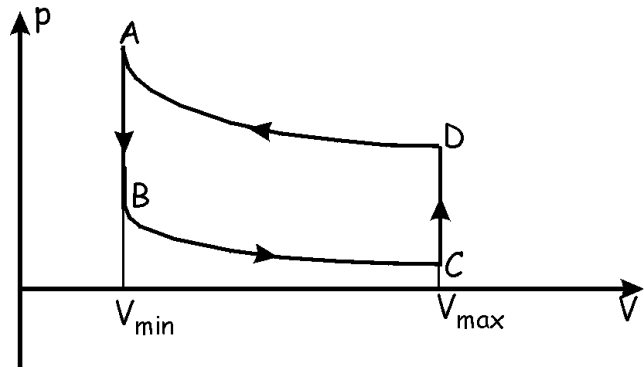


BTS Maintenance Industrielle 1992, Nouméa.

On étudie une machine ditherme fonctionnant suivant le cycle de Stirling représenté sur la figure 1. On distingue dans ce cycle :

- deux transformations réversibles isochores.
- deux transformations réversibles isothermes aux températures T_1 et T_2 ($T_1 < T_2$)

Le fluide décrivant ce cycle dans le sens ABCDA est assimilé à un **gaz parfait**. On rappelle que pour une évolution élémentaire d'une mole de gaz parfait, la variation d'énergie interne dU est liée à la variation de température dT par la relation $dU = C_v \cdot dT$ où C_v est la capacité calorifique molaire à volume constant du fluide.



On donne :

- température de la source froide $T_1 = 276K$
- température de la source chaude $T_2 = 293K$
- rapport volumétrique $\frac{V_{max}}{V_{min}} = 3,0$
- constante du gaz parfait $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot K^{-1}$
- $C_v = 21 \text{ J mol}^{-1} \cdot K^{-1}$,

1. Quelle est la nature de chacune des transformations A-B, B-C, C-D et D-A ?
2. Pour une mole de fluide :
 - 2.1. Exprimer pour chacune des transformations le travail et la quantité de chaleur échangés par le fluide avec le milieu extérieur.
 - 2.2. Calculer les valeurs numériques des grandeurs exprimées ci-dessus pour les transformations A-B et B-C.
 - 2.3. Exprimer le travail total W échangé par cycle entre le fluide et le milieu extérieur. Le fonctionnement du cycle est-il moteur ou récepteur ? Justifier la réponse.
3. On appelle Q_1 la quantité de chaleur prise à la source froide par une mole de fluide au cours d'un cycle. En utilisant les résultats de la question 2., donner la valeur numérique de Q_1 . Citer une application possible de cette machine.

BTS Maintenance Industrielle 1994 Métropole

On considère un moteur à combustion interne fonctionnant suivant le cycle Diesel représenté en annexe.

A_1A_2 : compression adiabatique réversible de l'air caractérisée par le rapport volumétrique : $x = \frac{V_1}{V_2}$.

A_2A_3 : injection du carburant finement pulvérisé dans l'air comprimé et chaud provoquant son inflammation. La combustion se produit à pression constante.

A_3A_4 : détente adiabatique réversible des gaz.

A_4A_1 : ouverture de la soupape d'échappement, ramenant la pression à p_1 , les gaz subissant un refroidissement isochore.

La quantité de carburant injecté étant faible devant la quantité d'air aspiré, on considérera que le nombre total de moles n'est pas modifié par la combustion.

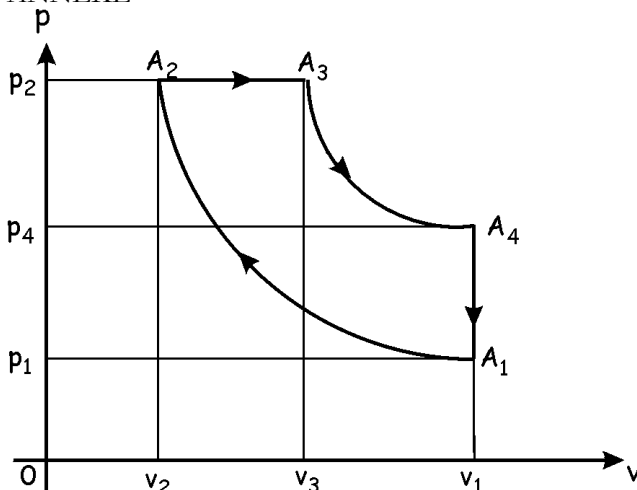
On assimile les gaz à un gaz parfait de constante $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, de capacité thermique molaire à pression constante $C_p = 29 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

On donne : $\gamma = 1,40$.

On étudie les transformations subies par une mole de gaz parfait.

1. Ce gaz est admis dans les cylindres à la pression $p_1 = 1 \text{ bar} = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ et à la température $T_1 = 330 \text{ K}$
 - 1.1. Calculer le volume V_1
 - 1.2. Calculer la pression p_2 et la température T_2 en fin de compression sachant que $x = 14$.
2. En fin de combustion, la température du gaz est $T_3 = 2260 \text{ K}$. Calculer le volume V_3 et la chaleur Q_{23} reçue par ce gaz au cours de la transformation A_2A_3 .
3. Calculer la pression p_4 et la température T_4 en fin de détente.
4.
 - 4.1. Calculer la quantité de chaleur Q_{41} reçue par le gaz au cours de la transformation isochore.
 - 4.2. En appliquant le premier principe, calculer le travail fourni par le moteur au cours d'un cycle.
 - 4.3. Calculer le rendement η de ce moteur thermique.

ANNEXE



BTS Maintenance Industrielle 1996, Nouméa

Le fonctionnement du moteur à explosion peut-être modélisé par le cycle de Beau de Rochas. Ce cycle représenté dans un diagramme de Clapeyron, peut se décomposer en quatre temps :

- premier temps, est une compression adiabatique réversible AB du mélange combustible avec un rapport volumétrique $a = V_A/V_B$.
- le deuxième temps est une combustion isochore BC , résultant de la combustion du mélange.
- le troisième temps est une détente adiabatique réversible selon CD . En D , le piston est au point mort bas : $V_D = V_A$.
- le quatrième temps est un refroidissement isochore DA .

La quantité de carburant injecté étant peu importante par rapport à celle de l'air aspiré, on la négligera devant cette dernière. Le cycle est étudié pour une mole d'air assimilé à un gaz parfait.

Données Voir document-réponse.

1. Compléter l'allure du cycle sur le document-réponse.
2. Déterminer la valeur des volumes V_A et V_B aux points A et B .
3. Calculer la pression P_B et la température T_B au point B

RAPPELS :

Le rendement d'un moteur thermique est le rapport entre le travail fourni par les gaz au cours d'un cycle et la quantité de chaleur reçue par les gaz au cours de la phase de combustion.

Pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique réversible d'un état $A (p_A, V_A, T_A)$ à un état $B (p_B, V_B, T_B)$, on peut écrire :

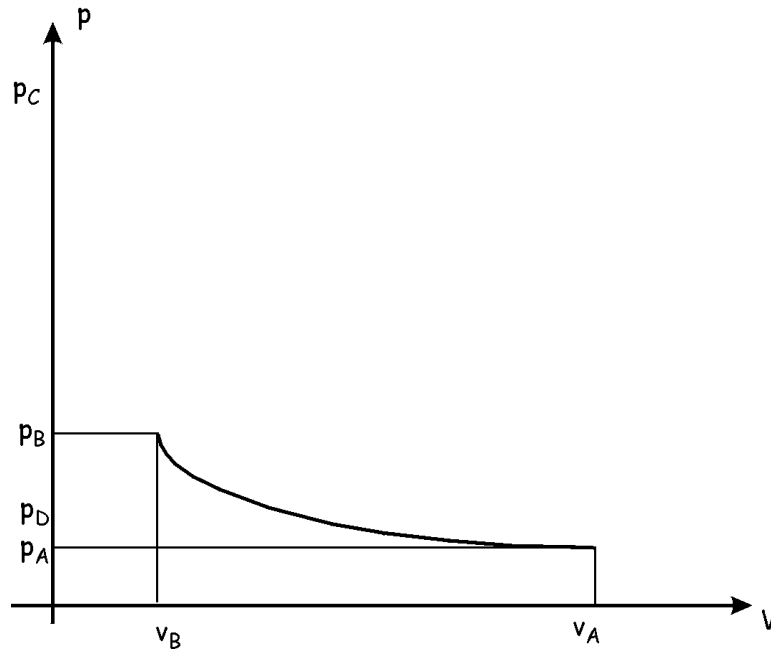
$$p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

avec $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

4. Exprimer, en fonction des températures aux extrémités du cycle, les quantités de chaleur algébriques Q_{AB} , Q_{BC} , Q_{CD} , Q_{DA} , échangées avec le milieu extérieur au cours de chacune des quatre phases. Calculer leurs valeurs numériques. En déduire par application du Premier Principe, la valeur algébrique W du travail fourni à l'air au cours du cycle.
5. Le rendement du cycle s'exprime par : $\eta = -\frac{W}{Q_{BC}}$. Calculer sa valeur numérique.

Document réponse, à rendre avec la copie



Données :

- Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Capacité thermique molaire de l'air à pression constante : $C_p = 29 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Capacité thermique molaire de l'air à volume constant : C_V
- Valeur du rapport $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = 1,40$
- Valeur du rapport volumique $a = V_A/V_B : a = 7$
- Valeurs de la pression, et de la température aux extrémités du cycle :

$p_A = 10^5 \text{ Pa}$	$p_C = 62 \times 10^5 \text{ Pa}$	$p_D = 4,08 \times 10^5 \text{ Pa}$
$T_A = 300 \text{ K}$	$T_C = 2,65 \times 10^3 \text{ K}$	$T_D = 1,21 \times 10^3 \text{ K}$

On rappelle que lors de la transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait $p \cdot V^\gamma = \text{Constante}$

BTS Maintenance Industrielle 1997, Métropole

L'étude porte sur un moteur thermique (type Diesel). La conversion d'énergie est assurée par de l'air qui décrit le cycle représenté en figure 2 sur l'annexe, en coordonnées de Clapeyron $p(V)$. Chaque transformation est considérée comme réversible. Les trajets 1-2 et 3-4, sont adiabatiques.

État 1 : $p_1 = 1 \text{ Bar} = 10^5 \text{ Pa}$ $T_1 = 300 \text{ K}$

État 2 : $\frac{V_1}{V_2} = 14$

État 3 : $T_3 = 1340 \text{ K}$

État 4 : $T_4 = 556 \text{ K}$

Les calculs porteront sur une mole d'air.

Il est rappelé que $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, et que, pour l'air, $\gamma = \frac{C_p}{C_V} = 1,40$. On donne en outre :

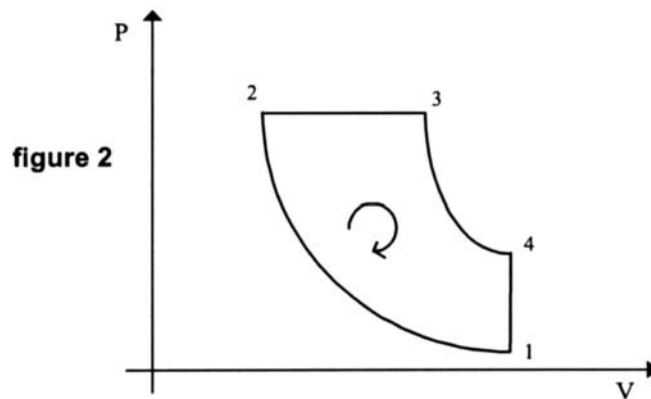
$C_V = 20,8 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

1. Montrer que $T_2 = 862 \text{ K}$. On rappelle que pour une transformation adiabatique :

$$p \cdot V^\gamma = \text{Cte}$$

$$T.V^{\gamma-1} = \text{Cte.}$$

2. Pourquoi T_3 est-elle la température la plus élevée sur le cycle ?
3. Déterminer la quantité de chaleur échangée par une mole d'air au cours de chaque transformation :
 - 3.1. sur le trajet 1-2.
 - 3.2. sur le trajet 2-3.
 - 3.3. sur le trajet 3-4.
 - 3.4. sur le trajet 4-1.
4. Quelle est la variation de l'énergie interne de l'air qui décrit un cycle ?
5. Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un cycle et en déduire la valeur algébrique W du travail reçu par une mole d'air au cours d'un cycle.
6. Déterminer le rendement théorique du moteur.
7. Le rendement réel n'est que de 0,45. Le fuel utilisé dégage 45×10^3 kJ par litre lors de la combustion. Sachant que ce moteur consomme 1 litre de fuel par heure, calculer le travail mécanique qu'il fournit en une heure et sa puissance mécanique.



BTS Maintenance Industrielle 1999

On considère un moteur à essence fonctionnant selon le cycle réversible représenté à la figure du document-réponse

- Compression adiabatique : passage de l'état 1 à l'état 2, noté 1→2,
- Combustion à volume constant : passage de l'état 2 à l'état 3, ($p_3 > p_2$) noté 2→3 ;
- Détente adiabatique : passage de l'état 3 à l'état 4, noté 3→4 ;
- Transformation à volume constant : passage de l'état 4, à l'état 1 noté 4→1.

Le mélange des gaz décrivant le cycle est considéré comme un gaz parfait.

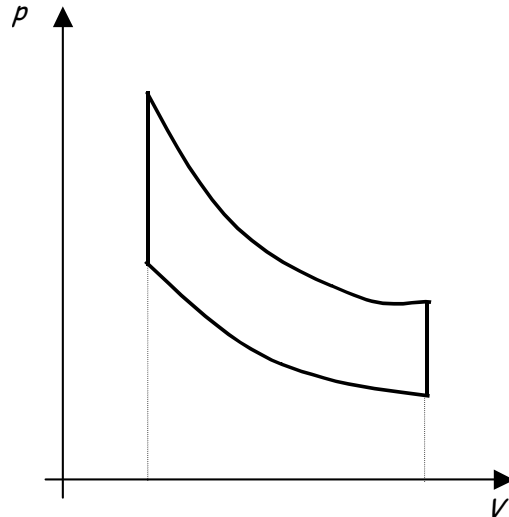
On donne :

- $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Capacité thermique molaire à volume constant: $C_v = 20,7 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ On admettra que C_v est indépendante de la température
- $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

Les conditions à l'admission sont

- $p_1 = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$ $V_1 = 2,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ $T = 300 \text{ K}$

1. Sur la figure du document-réponse, reporter les états 1, 2, 3, 4 et flécher le cycle.
2. Calculer le nombre de moles de gaz décrivant le cycle.
3. On donne $V_2 = 0,25 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, ce qui correspond à un rapport volumétrique $\tau = \frac{V_1}{V_2} = 8,0$



- 3.1. Calculer la température T_2 en fin de compression adiabatique.
- 3.2. Calculer la température T_3 en fin de combustion sachant que $T_3 - T_2 = 2,0 \times 10^3 \text{ K}$.
- 3.3. Calculer la température T_4 en fin de détente adiabatique.

On prendra pour la suite de la question 3 : $T_4 = 1,17 \times 10^3 \text{ K}$.

- 3.4. Quelle est la quantité de chaleur reçue par le gaz au cours de chacune des 4 transformations du cycle ?

On notera .

- Q_{12} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 1 \rightarrow 2.
 - Q_{23} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 2 \rightarrow 3.
 - Q_{34} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 3 \rightarrow 4.
 - Q_{41} la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la transformation 4 \rightarrow 1.
- 3.5. Calculer la quantité de chaleur Q_{cycle} , reçue par le gaz au cours du cycle complet.
 - 3.6. En déduire le travail W_{cycle} reçu par le gaz au cours du cycle complet.

- 3.7. Calculer le rendement du cycle $\eta = \frac{|W_{\text{cycle}}|}{|Q_{23}|}$

4. Avec un faible rapport volumétrique, on pourrait se contenter d'un carburant à base d'heptane $C_7 H_{16}$. Ecrire et équilibrer l'équation de la combustion de l'heptane dans le dioxygène O_2 sachant qu'il y a production de dioxyde de carbone CO_2 et d'eau H_2O .
5. Pour augmenter le rendement du cycle, on augmente le rapport volumétrique : il faut alors modifier la composition du carburant (on dit qu'on augmente l'indice d'octane). Pour cela et pour éviter l'utilisation du plomb (polluant), on peut introduire de l'éthanol de formule brute C_2H_6O . Ecrire et équilibrer l'équation de la combustion de l'éthanol dans le dioxygène sachant qu'il y a production de dioxyde de carbone et d'eau.

Lors d'une transformation adiabatique réversible on a les relations suivantes

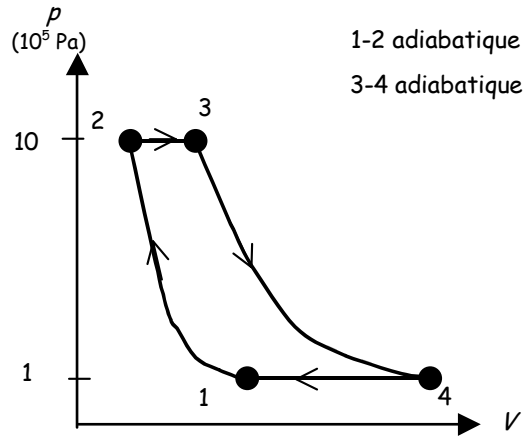
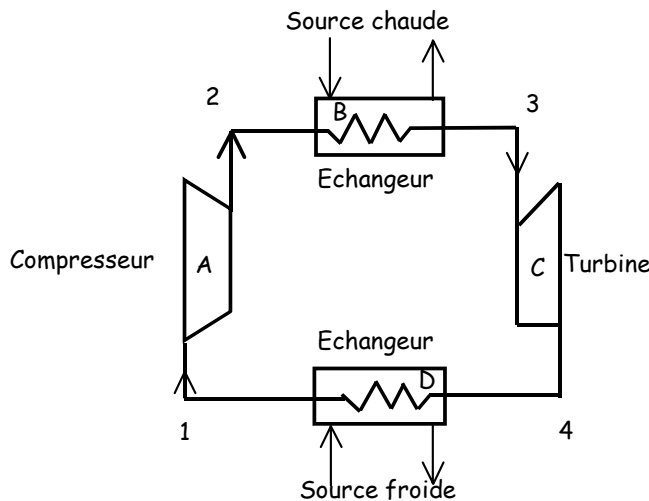
$$p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma \qquad T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \qquad T_A^\gamma p_A^{1-\gamma} = T_B^\gamma p_B^{1-\gamma}$$

BTS Maintenance industrielle 2000

Une turbine à gaz fonctionne avec de l'air suivant le schéma de principe ci-dessous.

On étudie le cycle thermodynamique de l'air subissant les transformations réversibles suivantes

- compression adiabatique dans le compresseur A ;
- échauffement à pression constante dans l'échangeur de chaleur B ;
- détente adiabatique dans la turbine C ;
- refroidissement à pression constante dans l'échangeur de chaleur D.



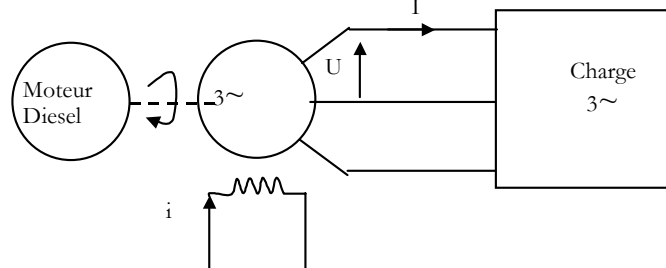
Données :

- Constante des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
 - Capacité thermique molaire à pression constante de l'air $C_p = 29,12 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 - Capacité thermique molaire à volume constant de l'air $C_v = 20,80 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 - Rapport des capacités thermiques molaires $\gamma = C_p/C_v = 1,4$
 - Masse molaire de l'air $M_a = 0,029 \text{ kg mol}^{-1}$
 - Pour une transformation adiabatique $p \cdot V^\gamma = \text{Cte}$ $T \cdot V^{\gamma-1} = \text{Cte}$. $T^\gamma \cdot p^{1-\gamma} = \text{Cte}$
- On raisonne sur une masse d'air de 1 kg.

1. Calculer n le nombre de moles d'air.
2. L'air entre dans le compresseur A à la température 300 K et à la pression de $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$. Calculer le volume V_1 de l'air à l'entrée du compresseur.
3.
 - 3.1. Montrer que la température en fin de compression est : $T_2 = 579 \text{ K}$.
 - 3.2. Le gaz reçoit dans l'échangeur B une quantité de chaleur de 450 kJ. Calculer la température T_3 à la sortie de l'échangeur B.
 - 3.3. Montrer que la température T_4 à la sortie de la turbine a pour valeur : $T_4 = 532 \text{ K}$.
 - 3.4. Calculer la quantité de chaleur reçue par le gaz dans l'échangeur D.
4.
 - 4.1. Indiquer la valeur des quantités de chaleur reçues par le gaz au cours de chacune des transformations. En déduire la quantité de chaleur Q_{cycle} reçue au cours d'un cycle.
 - 4.2. En déduire le travail reçu au cours d'un cycle W_{cycle} . Préciser son signe et la signification de celui-ci.

BTS Maintenance industrielle 2002

Le problème concerne l'étude de certains éléments d'un groupe électrogène. Ce groupe est constitué d'un moteur Diesel entraînant en rotation une machine alternative triphasée.



Le cycle théorique de ce moteur à quatre temps, que l'on supposera constitué d'un seul cylindre, est constitué par les transformations suivantes :

- Transformation 1 → 2 : Compression **adiabatique** réversible de l'air.
- Transformation 2 → 3 : Combustion **isobare** par injection de gazole.
- Transformation 3 → 4 : Détente **adiabatique** réversible.
- Transformation 4 → 1 : Refroidissement **isochore**.

On rappelle qu'à cause des phases d'admission et d'échappement, deux tours de l'arbre moteur sont nécessaires pour effectuer un cycle.

Les gaz décrivant ce cycle sont assimilables à de l'air et seront considérés comme parfaits.

On donne :

- Pour l'état 1 $V_1 = 2000 \text{ cm}^3$ $\theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ $p_1 = 1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa}$
- Pour l'état 2 $V_2 = 100 \text{ cm}^3$
- Capacité thermique de l'air à pression constante : $C_p = 29 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
- Constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$

1. Représenter sur le document réponse l'allure du cycle sur le diagramme de Clapeyron $p(V)$. Préciser les états (1, 2, 3 et 4) et flécher les transformations.
2. Calculer la cylindrée V de ce moteur (volume balayé par le piston).
3. Calculer le taux de compression ε , rapport des volumes maximum et minimum engendrés par le piston.
4. Montrer que le nombre de moles d'air présentes à chaque cycle dans le cylindre est : $n = 82 \times 10^{-3} \text{ mol}$
5. Calculer la pression p_2 et la température T_2 en fin de compression.
6. Expliquer, pourquoi, sur un moteur Diesel, il n'y a pas de bougie d'allumage.
7. L'élévation de température $T_3 - T_2$ étant de 1500 K , calculer la quantité de chaleur reçue par le gaz lors de la combustion du gazole.
8. La combustion d'un gramme de gazole dans l'air dégage une énergie thermique de $46,8 \text{ kJ}$. En supposant le rendement de la combustion égal à 100% , calculer la masse de gazole consommée par cycle.
9. Le moteur tournant à $3000 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$ en déduire la masse de gazole consommée en une heure de fonctionnement.

Document réponse



BTS Moteurs à combustion interne 2000

Un alcane est utilisé comme carburant dans un moteur à allumage commandé dont le cycle théorique est le cycle de Beau de Rochas.

Il consiste en une admission du mélange à pression constante égale à la pression atmosphérique p_1 . Au cours de cette étape le volume passe de V_2 à V_1 . Après fermeture de la soupape d'admission, la masse gazeuse emprisonnée dans le cylindre subit une compression isentropique qui l'amène dans l'état : p_2, V_2, T_2 .

À T_2 la combustion commence, elle est isochore. En fin de transformation, la température est T_3 , et la pression p_3 . Ensuite le volume du gaz est ramené à V_1 par une détente isentropique, la pression est alors p_4 et la température T_4 . Il se produit alors une évolution isochore ramenant la pression du gaz à la pression atmosphérique p_1 . Le gaz ayant subi le cycle est alors évacué à l'extérieur du cylindre par la soupape d'échappement.

1. Représenter dans le diagramme (p, V) l'ensemble des transformations thermodynamiques exposées ci-dessus.
2. L'air carburé a été admis à 20°C (293 K). Quelle est sa température T_2 en fin de compression isentropique ?

On donne $\frac{V_1}{V_2} = 9$ et $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,38$ supposé indépendant de la température.

3.

- 3.1. Le pouvoir calorifique inférieur (P_{Gi}) du carburant utilisé étant de $43,5 \times 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et le carburant étant admis dans les conditions stœchiométriques correspondant à l'air sec proposé précédemment, montrer

$$\text{que l'expression de } T_3 - T_2 \text{ peut se mettre sous la forme } T_3 - T_2 = \frac{P_{Gi}}{c_v (1 + P_{co})}$$

P_{co} : pouvoir comburivore du carburant. On appelle pouvoir comburivore d'un carburant la masse de l'air nécessaire pour brûler complètement 1 kg de carburant. On le notera P_{co} . Donc $P_{co} = \frac{m_a}{m_c}$ où m_a

représente la masse d'air nécessaire à la combustion complète de la masse m_c de carburant.

On négligera l'influence des gaz résiduels du cycle précédent.

- 3.2. Comparer l'élévation de température obtenue avec ce carburant dont le pouvoir comburivore est égal à 15,1 et celle que l'on aurait avec le nitrométhane dont le P_{ci} vaut $10,5 \times 10^3$ kJ·kg⁻¹ et le pouvoir comburivore vaut 1,69.

On donne :

- $c_v = 0,72 \times 10^3$ J·kg⁻¹·K⁻¹ pour le mélange d'air et de carburant.
 - $c_v = 0,80 \times 10^3$ J·kg⁻¹·K⁻¹ pour le mélange d'air et de nitrométhane.
- Quelle conséquence, d'un point de vue performance, peut-on déduire de l'addition éventuelle du nitrométhane au carburant utilisé dans le moteur ?

BTS Moteurs à combustion interne 2002

Comparaison de performances d'un moteur qui fonctionnerait au GPL-C puis à l'Eurosuper suivant le cycle théorique de Beau de Rochas.

1. Représenter dans le diagramme (p, V) l'allure du cycle théorique de Beau de Rochas.
Rappel : après admission dans le cylindre, le système (gaz dans le cylindre) subit une compression isentropique 1-2 ; puis se produit la combustion isochore 2-3 pendant laquelle le système reçoit la quantité de chaleur $Q_1 > 0$; la transformation 3-4 est une détente isentropique puis, au cours de la transformation isochore 4-1, le système échange avec l'extérieur la quantité de chaleur $Q_2 < 0$.
2. La comparaison de performances concerne le travail maximum fourni par le système à l'extérieur au cours d'un cycle (cas de la pleine charge ou pleine admission avec remplissage maximal ou taux de remplissage égal à 1).

Données

- On rappelle que le $CEMV$ représente l'énergie disponible par unité de volume de mélange carburé gazeux ; il se calcule à 25°C sous pression standard et à richesse 1 ; il s'exprime couramment en kJ·L⁻¹.
- On donne d'autre part :
 $CEMV$ du GPL-C : 3,38 kJ·L⁻¹. $CEMV$ Eurosuper : 3,46 kJ·L⁻¹.
- La valeur de $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ sera considérée comme étant constante sur la totalité du cycle et identique pour les deux cas (mélange air GPL-C et mélange air Eurosuper).

- 2.1. Énoncer le premier principe de la thermodynamique ; en déduire l'expression de W , travail reçu par le système (gaz dans le cylindre) au cours du cycle, en fonction de Q_1 et de Q_2 .
- 2.2. Exprimer Q_1 à partir de V (cylindrée) et du $CEMV$ du carburant étudié, le remplissage du cylindre étant maximum.

- 2.3. L'expression de Q_2 est : $Q_2 = -\frac{V \cdot (CEMV)}{\varepsilon^{\gamma-1}}$ avec ε : rapport volumétrique. Établir que le travail

maximum fourni par le système à l'extérieur est $|W| = V \cdot (CEMV) \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{\gamma-1}}\right)$

Quel est, dans le cadre des approximations proposées, le carburant qui donne $|W|$ le plus grand ?

Évaluer numériquement la variation relative $\frac{\Delta|W|}{|W|}$ en % lorsque l'on passe de l'Eurosuper au GPL-C.

Comparer à la valeur de 3% indiquée dans les publications spécialisées.

BTS Moteurs à combustion interne 2004

On se propose d'étudier la combustion dans un moteur à explosion. Les gaz sont considérés comme des gaz parfaits.

1. On étudie la combustion de l'octane C_8H_{18} dans l'air de composition ($O_2 + 3,76N_2$):
 - 1.1. Écrire l'équation ajustée de la combustion de l'octane dans l'air.
 - 1.2. Calculer la masse d'air nécessaire pour réaliser la combustion de 1 g d'octane.

On donne les masses molaires atomiques

$M(H) = 1$ g·mol⁻¹; $M(O) = 16$ g·mol⁻¹; $M(N) = 14$ g·mol⁻¹ et $M(C) = 12$ g·mol⁻¹.

- 1.3. Écrire la formule semi-développée de l'isooctane dont le nom est 2,2,4-triméthylpentane selon la nomenclature.
2. On réalise la combustion de 1 L d'un mélange gazeux octane-air contenant 0,075 g d'octane.
- 2.1. Calculer l'énergie calorifique dégagée au cours de la combustion sachant que le pouvoir calorifique de l'octane est de $5,55 \times 10^6$ J par mole d'octane.
- 2.2. Calculer le rapport r entre l'énergie recueillie sur l'arbre qui est de 1250 J et l'énergie calorifique calculée dans la question 2.1.
3. On fait subir à un litre du mélange gazeux précédent le cycle de Beau de Rochas ABCDA
- AB et CD sont des transformations adiabatiques réversibles (ou isentropiques)
 - BC et DA sont des transformations isochores
- On a relevé au cours de ce cycle les valeurs des échanges d'énergie sous forme de transferts thermiques Q ou de travail W entre le mélange gazeux octane-air et le milieu extérieur

Transformation	AB	BC	CD	DA	Cycle
$W(J)$	660		-2690		
$Q(J)$		3650			

- 3.1. Énoncer le premier principe de la thermodynamique.
- 3.2. Déterminer les valeurs correspondant aux cases vides de ce tableau.
- 3.3. Quel est le rendement thermodynamique de ce cycle théorique ?
4. On fait subir au mélange gazeux octane-air précédent le cycle idéal de Carnot ABCDA entre les températures extrêmes de 20°C et 2100°C rencontrées au cours du cycle précédent.
- AB est une transformation isotherme à la température de 20°C et CD est une transformation isotherme à la température de 2100°C.
- BC et DA sont deux transformations adiabatiques réversibles (ou isentropiques).
- On rappelle que pour un tel cycle, le rendement est donné par la relation $\eta = 1 - (T_{SF}/T_{SC})$ dans laquelle T_{SF} représente la température de la source froide et T_{SC} représente la température de la source chaude.
- 4.1. Calculer la valeur du rendement de ce cycle.
- 4.2. Comparer ce rendement avec celui calculé en 3.1 et conclure.
5. Au cours de la phase de combustion le diazote N_2 se combine partiellement avec le dioxygène O_2 pour donner du dioxyde d'azote NO_2 suivant l'équation chimique ajustée
- $$N_2(g) + 2 O_2(g) \rightleftharpoons 2 NO_2(g)$$
- Le sens 1 correspond au sens \rightarrow et le sens 2 correspond au sens \leftarrow
- Dans le sens 1 la réaction est endothermique.
- Les composés N_2 , O_2 et NO_2 sont à l'état gazeux.
- On désire réduire la production de NO_2 polluant qui se forme lors de la combustion de l'octane.
- Pour obtenir ce résultat, comment faut-il faire varier
- 5.1. la température du mélange gazeux à pression constante ?
- 5.2. la pression du mélange gazeux à température constante ?

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2000

- Le but de ce problème est d'étudier le fonctionnement d'un moteur de type turbine à gaz à combustion externe.
- Pour cette machine thermique, un gaz, que l'on supposera parfait décrit en circuit fermé les opérations suivantes :
- Le gaz initialement à l'État 1, sa pression est p_1 et sa température T_1 , traverse un compresseur dans lequel il subit une évolution adiabatique réversible jusqu'à l'État 2 (la température est ainsi T_2 et la pression p_2).
 - Il se trouve alors en contact avec une source chaude où il se réchauffe de façon isobare, jusqu'à la température T_3 , il est dans l'État 3.
 - Le gaz pénètre ensuite dans la turbine où il se détend de manière adiabatique réversible jusqu'à la pression $p_4 = p_1$. En fin de détente sa température est T_4 , il est à l'État 4.
 - Il achève enfin de se refroidir d'une façon isobare au contact d'une source froide pour se retrouver dans l'État 1
1. Tracer l'allure du cycle de cette machine dans un diagramme de Clapeyron $p=f(V)$ en indiquant son sens de rotation.
2. Donner la relation entre p_2 et p_3 .
3. Lors d'une évolution adiabatique réversible, un gaz parfait suit la loi de Laplace $p.V^\gamma = Cte$ où $\gamma = C_p/C_v$ est le rapport des capacités thermiques à pression et volume constants, supposé indépendant de la température.
- 3.1. - Réécrire cette loi en fonction des variables T et p et du rapport γ
- 3.2. - En déduire les expressions des températures T_2 et T_4 en fonction de p_1, p_2, T_1, T_3 et γ .
4. Préciser, pour une mole de gaz, les expressions des quantités de chaleur Q_C et Q_F échangées respectivement avec la source chaude et la source froide.

5. En utilisant le Premier Principe, donner l'expression du travail global W fourni à cette mole de gaz pendant un cycle en fonction de C_p , T_1 , T_2 , T_3 et T_4 .
6. Le rapport $r = p_2/p_1$ est généralement imposé par les limites de résistance mécanique du compresseur.

6.1. - Montrer que le rendement théorique η_{th} de cette machine s'écrit $\eta_{th} = 1 - r^{\frac{1-\gamma}{\gamma}}$

6.2. - Avec lequel des trois gaz suivants obtiendra-t-on le meilleur rendement ? Justifier.

Gaz	Valeur γ
Argon	$5/3 = 1,67$
Air	$7/5 = 1,40$
Gaz carbonique	1,31

7. Applications numériques

7.1. Donner les valeurs de T_2 , T_4 et η_{th} , pour $\gamma = 1,67$, $r = 4,0$, $p_1 = 1,0 \times 10^5$ Pa, $T_1 = 300$ K et $T_3 = 900$ K.

7.2. Comparer la valeur de η_{th} au rendement de Carnot η_{Ca} calculé dans le cas d'une source froide de température T_1 et d'une source chaude de température T_3 . Ce résultat était-il prévisible ? Pourquoi ?

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2004

ÉTUDE D'UNE COGÉNÉRATION

Un cogénérateur est un moteur thermique permettant la production simultanée de chaleur (pour le chauffage d'un ensemble de bâtiments) et d'électricité (pour l'éclairage et l'alimentation d'appareils électriques dans cet ensemble de bâtiments ; l'excédent éventuel peut être revendu à EDF).

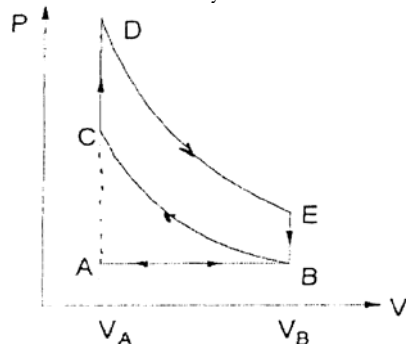
Il est constitué

- d'un moteur à pistons à allumage commandé alimenté en gaz naturel qui sera considéré comme du méthane (de formule chimique CH_4 , masse molaire $M(\text{CH}_4) = 16,0$ g mol⁻¹). Ce moteur est couplé à un alternateur pour la fourniture du courant de fréquence 50 Hz ;
- de deux échangeurs thermiques (haute et basse températures) pour récupérer la chaleur dégagée par le moteur et les gaz d'échappement et produire l'eau chaude destinée au chauffage.

1. Partie 1 : Etude du moteur thermique

Le moteur est d'un type analogue à ceux des automobiles à essence.

Il fonctionne suivant le cycle Beau de Rochas qui est schématisé ci-dessous en coordonnées de Clapeyron.



- Admission de A à B du mélange air + gaz naturel
- Compression adiabatique réversible de B à C
- Combustion interne du mélange de C à D
- Détente adiabatique réversible de D à E
- Refroidissement de E à B grâce aux échangeurs
- Echappement de B à A.

Ce cycle correspond à deux tours de l'arbre moteur.

Le moteur est constitué de 16 cylindres représentant une cylindrée totale $V_B - V_A = 71,0$ L. En régime nominal, la vitesse de rotation de son arbre est de 1500 tr min⁻¹.

Pour simplifier, tous les mélanges gazeux avant et après combustion seront assimilés à un gaz parfait pour lequel le rapport des capacités thermiques massiques à pression et volume constants vaut $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,32$. La constante

des gaz parfaits vaut $R = 8,32$ J mol⁻¹ K⁻¹.

1.1. - Vérifier que la durée d'un cycle est de 0,080 s.

1.2. Déterminer la masse d'air, assimilé à un gaz parfait de masse molaire $M = 29,0$ g mol⁻¹, admise dans les cylindres à chaque cycle. Pour faire ce calcul et uniquement pour cette question, on néglige la masse de gaz naturel introduite.

On donne :

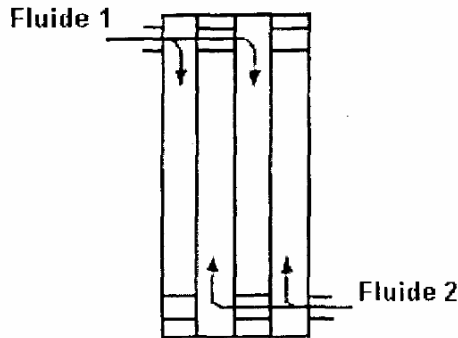
- la température d'admission $T_B = 300$ K
 - la pression d'admission $p_A = p_B = 2,00$ bar. En déduire le débit massique d'air à l'admission.
- 1.3. Le débit massique de gaz naturel à l'admission est de $7,80 \cdot 10^{-2}$ kg s⁻¹ et le débit massique des gaz d'échappement est de $2,140$ kg s⁻¹. En effectuant un bilan de masse, retrouver le débit massique d'air à l'admission obtenu en question 1.2.

- 1.4. Le rapport de compression volumétrique $r_{cv} = \frac{V_B}{V_A}$ est égal à 11,7.
- 1.4.1. Donner la relation (de Laplace) liant la température T et le volume V au cours d'une transformation adiabatique réversible.
- 1.4.2. Calculer la température T_c du mélange {air + gaz naturel} en fin de compression.
- 1.5. Calculer les nombres de moles de gaz naturel et d'air admises dans les cylindres à chaque cycle. En déduire le travail W_{BC} reçu par le mélange (supposé idéal) au cours de la compression pour un cycle. Les soupapes des cylindres maintiennent le système fermé lors de cette compression.
- 1.6. La combustion du mélange (phase CD) libère une puissance thermique de 3470 kW. Le travail W_{DE} cédé par les gaz d'échappement au cours de la détente pour un cycle est $W_{DE} = -155,1$ kJ.
- 1.6.1. Calculer le rendement thermodynamique du moteur.
- 1.6.2. Sachant que l'alternateur produit 1200 kW de puissance électrique, calculer le rendement de la conversion énergie chimique de combustion \rightarrow énergie électrique.

2. Partie 2 : Etude des échangeurs thermiques

Dans cette partie, la capacité thermique massique de l'eau sera considérée comme constante et égale à $4180 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$.

- 2.1. L'échangeur haute température refroidit directement le moteur grâce à une circulation d'eau sous pression qui rentre dans le moteur à 82°C et en sort à 92°C . On souhaite récupérer une puissance thermique de 656 kW grâce à l'échangeur.
- On donne la masse volumique de l'eau à la température moyenne d'échange $\rho = 968 \text{ kg m}^{-3}$. Déterminer le débit volumique de l'eau dans l'échangeur pour obtenir cette puissance.
- 2.2. L'échangeur basse température est un échangeur à plaques où les gaz d'échappement (fluide 1) et l'eau (fluide 2) circulent à contre-courant (voir schéma ci-dessous). Il permet de récupérer une puissance thermique de 967 kW.



Expliquer qualitativement pourquoi la circulation des fluides à contre-courant augmente l'efficacité de l'échangeur par rapport à une circulation à co-courant. On tracera l'allure des graphes donnant l'évolution de la température le long de l'échangeur pour chaque fluide

- 2.3. Calculer le rendement de la conversion énergie chimique de combustion \rightarrow énergie thermique pour les deux échangeurs. On rappelle que la puissance thermique libérée lors de la combustion est de 3470 kW

Utilisation de la vapeur

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1985

ETUDE D'UN CYCLE DE RANKINE

On considère le cycle suivant décrit par une masse d'eau égale à $m = 1$ kg.

De la vapeur saturante sèche, à la pression $p_1 = 15$ bar est introduite dans une turbine où elle se détend isentropiquement jusqu'à une pression $p_2 = 0,13$ bar. Cette évolution sera notée (A B). L'eau est alors évacuée dans un condenseur où la condensation s'achève à la pression p_2 (évolution B C).

Une pompe élève ensuite la pression de l'eau de façon isentropique de p_2 à p_1 (évolution C D) puis l'eau est chauffée et vaporisée dans la chaudière à pression constante p_1 (évolution D E A).

1. Dans un diagramme (p, V), représenter le cycle A B C D E A, sur lequel on fera figurer la courbe de saturation de l'eau (on ne fera aucun calcul).
2. A l'aide du diagramme de MOLLIER ci-joint, calculer la chaleur latente de vaporisation de l'eau L_{01} à la température $\theta_1 = 200$ °C.
3. Déterminer la quantité de chaleur Q_1 reçue par la masse d'eau m dans la chaudière.

Données numériques pour l'eau

Capacité thermique-massique de l'eau liquide entre 100 °C et 200°C : $c = 4,18 \times 10^3$ J · kg⁻¹ · K⁻¹

4. A l'aide du diagramme de MOLLIER, calculer la chaleur latente de vaporisation de l'eau L_{02} à la température $\theta_2 = 50$ °C.
5. Lire sur le diagramme de MOLLIER le taux de vapeur à la sortie de la turbine.
6. Calculer la quantité de chaleur Q_2 fournie par la masse d'eau m au condenseur.
7. En appliquant le premier Principe de la thermodynamique calculer le rendement de ce cycle moteur.
8. Le fluide réfrigérant alimentant le condenseur est l'eau d'une rivière qui est captée à une température initiale $\theta_1 = 10$ °C et qui est rejetée à une température finale $\theta_F = 15$ °C (figure 1). Le mélange liquide-vapeur entre dans le condenseur à la température $\theta_2 = 50$ °C avec un taux de vapeur $x = 0,78$ et en ressort entièrement liquide (à 50 °C). Pour une masse $m = 1$ kg d'eau du cycle Rankine, calculer la masse M d'eau de rivière qui traverse le condenseur.
9. La chaudière produit 3600 kg de vapeur par heure. Le coefficient global d'échange entre les deux fluides est égal à $K = 1700$ W · m⁻² · K⁻¹. Soit D le diamètre de la conduite de fluide réfrigérant.
 - 9.1. $y = 0$ correspond à l'entrée de l'échangeur et θ est la température du fluide réfrigérant à la distance y de l'entrée de l'échangeur. Etablir la loi $\theta = f(y)$.
 - 9.2. En déduire la longueur de l'échangeur sachant que $D = 1$ m.

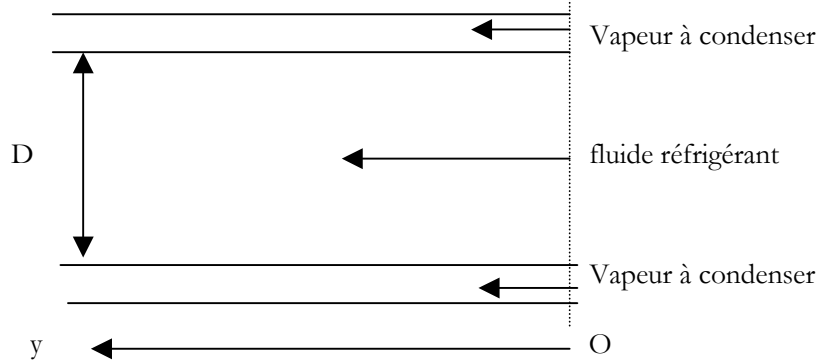
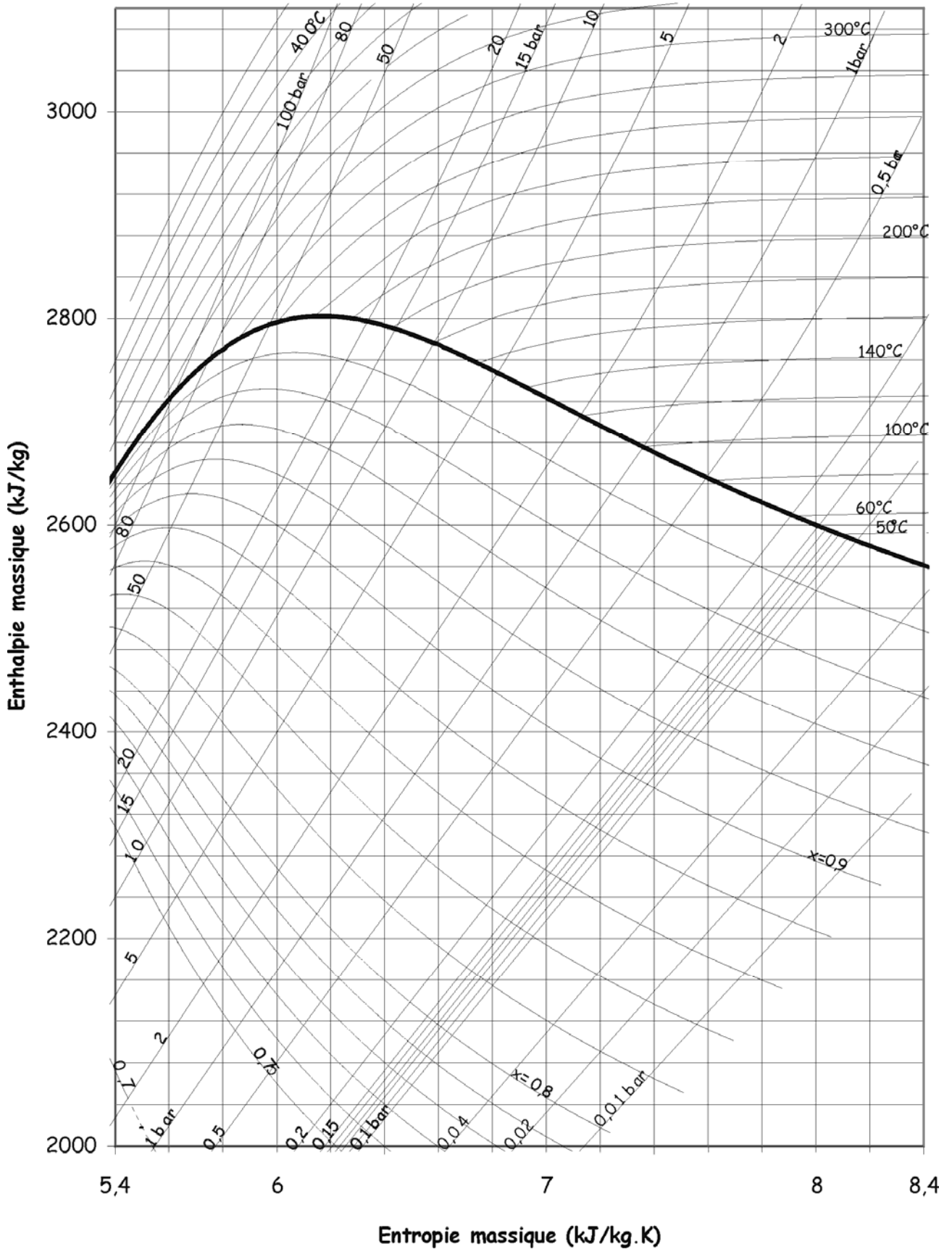


Figure 1.

Document joint :

Diagramme = Document réponse fourni en 2 exemplaires dont un seul, complété, sera rendu avec la copie en fin d'épreuve.

Diagramme de Mollier de l'eau



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1987

On se propose d'étudier différentes versions d'une installation thermique motrice.

PARTIE A

La machine fonctionne suivant un cycle de Rankine. Le générateur de vapeur produit de la vapeur saturée qui traverse la turbine où elle se détend avant de se condenser, puis l'eau condensée retourne à la chaudière à travers la pompe alimentaire [schéma de l'installation : document II.1.a].

Les différentes étapes du cycle sont les suivantes :

A → B → C échauffement isobare de 30°C à 295°C à $p_1 = 80$ bars (pression absolue) puis vaporisation à 295°C,

C → D détente adiabatique réversible de $p_1 = 80$ bars à $p_2 = 0,04$ bar,

D → E fin de condensation à $p_2 = 0,04$ bar,

E → A compression adiabatique réversible de l'eau de $p_2 = 0,04$ bar à $p_1 = 80$ bars,

1. Donner l'allure du cycle sur un diagramme (p, V) faisant apparaître la courbe de saturation de l'eau.
2. Représenter le cycle sur le diagramme entropique fourni (document II,2) Expliquer comment on peut sur un tel diagramme évaluer le rendement du cycle (indiquer le principe sans chercher à effectuer de calcul).
3. Déterminer l'enthalpie massique du fluide aux points A, B, C, D.
4. Faire figurer sur le diagramme de Mollier (document II,4) l'évolution CD, En déduire le titre x de la vapeur d'eau à la sortie de la turbine.
5. Calculer le rendement théorique du cycle : η .
6. En admettant que le générateur de vapeur fournisse 500 tonnes de vapeur à l'heure, quelle serait la puissance théorique correspondante ?
7. Sachant que l'élévation de température de l'eau de circulation est de 8°C, calculer le débit massique de l'eau de circulation (on prendra : chaleur massique de l'eau : $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$).
8. Si l'on sait que dans l'échangeur une surface tubulaire de 1 m^2 permet la condensation de 40 kg de vapeur à l'heure, quelle doit être la surface d'échange nécessaire ?

PARTIE B

La machine fonctionne maintenant suivant un cycle de Hirn.

L'eau, une fois vaporisée dans les conditions précédentes subit une surchauffe isobare à 80 bar jusqu'à 500°C, Le reste du cycle demeure inchangé [schéma de l'installation document II.1.b].

On notera C → C' la Surchauffe

C' → D' la détente dans la turbine.

1. Représenter sur le diagramme entropique déjà utilisé, d'une couleur différente, le nouveau cycle décrit.
2. Donner l'enthalpie massique aux points C' et D', Noter sur le diagramme de Mollier la détente CD. Quel est maintenant le titre x' de la vapeur à la sortie de la turbine ?
3. Calculer le nouveau rendement η' du cycle.
4. Quelle est l'augmentation relative du rendement obtenue grâce à la surchauffe ?

PARTIE C

Le cycle comporte maintenant un soutirage : une partie de la vapeur est prélevée en cours de détente dans la turbine. Elle servira à réchauffer l'eau en provenance du condenseur. Elle va donc se refroidir (opération de désurchauffe), puis se condenser. Elle sera ensuite réinjectée dans le circuit grâce à la pompe de reprise, [schéma de l'installation : document II 1 c].

Les données relatives au cycle précédent (partie B) restent inchangées. Le soutirage porte sur 30% de la masse de vapeur admise dans la turbine et se produit à $p = 50$ bar.

On notera E → F la désurchauffe isobare de la vapeur

F → G sa condensation.

1. Faire apparaître les phénomènes sur le diagramme entropique. Expliquer clairement l'évolution subie par la vapeur soutirée.
2. Déterminer les enthalpies massiques du fluide aux points E, G.

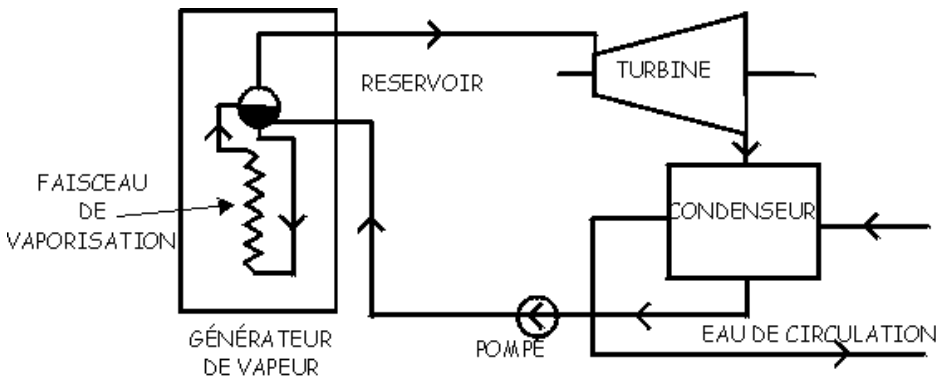
3. Calculer la quantité de chaleur cédée au niveau du réchauffeur par 0,3 kg de vapeur soutirée et donc reçue par 0,7 kg d'eau provenant du condenseur.
4. En déduire l'enthalpie h_R de l'eau à la sortie du réchauffeur, l'enthalpie h_K et, la température T_K du mélange qui retourne au générateur de vapeur.
5. Calculer le rendement théorique du cycle η'' . Conclusions.

Documents joints

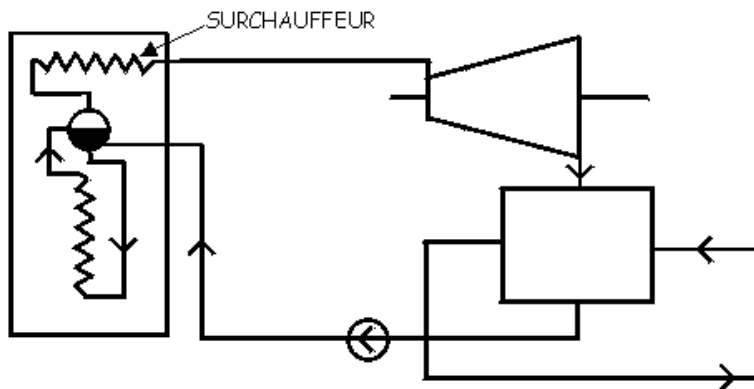
Doc, I1 - I2 - II1 - II2 - II3 - II4

(Les documents I2 - II,2 - II,4 constituent des documents réponses et sont fournis en double exemplaire dont un seul de chaque, complété, est à remettre par le candidat, avec la copie, en fin d'épreuve)

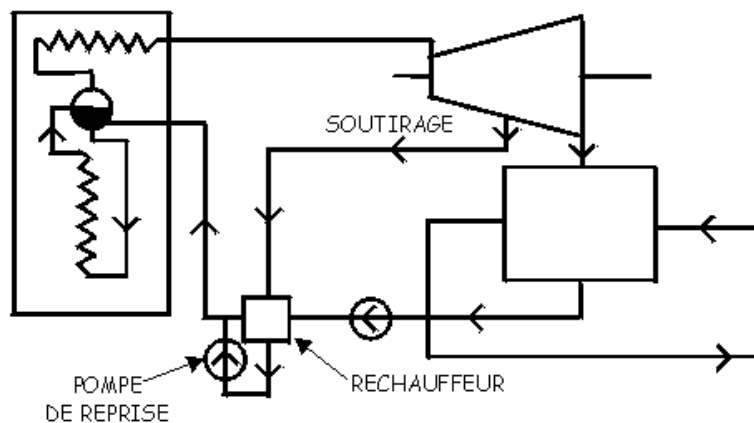
Document II.1



II a



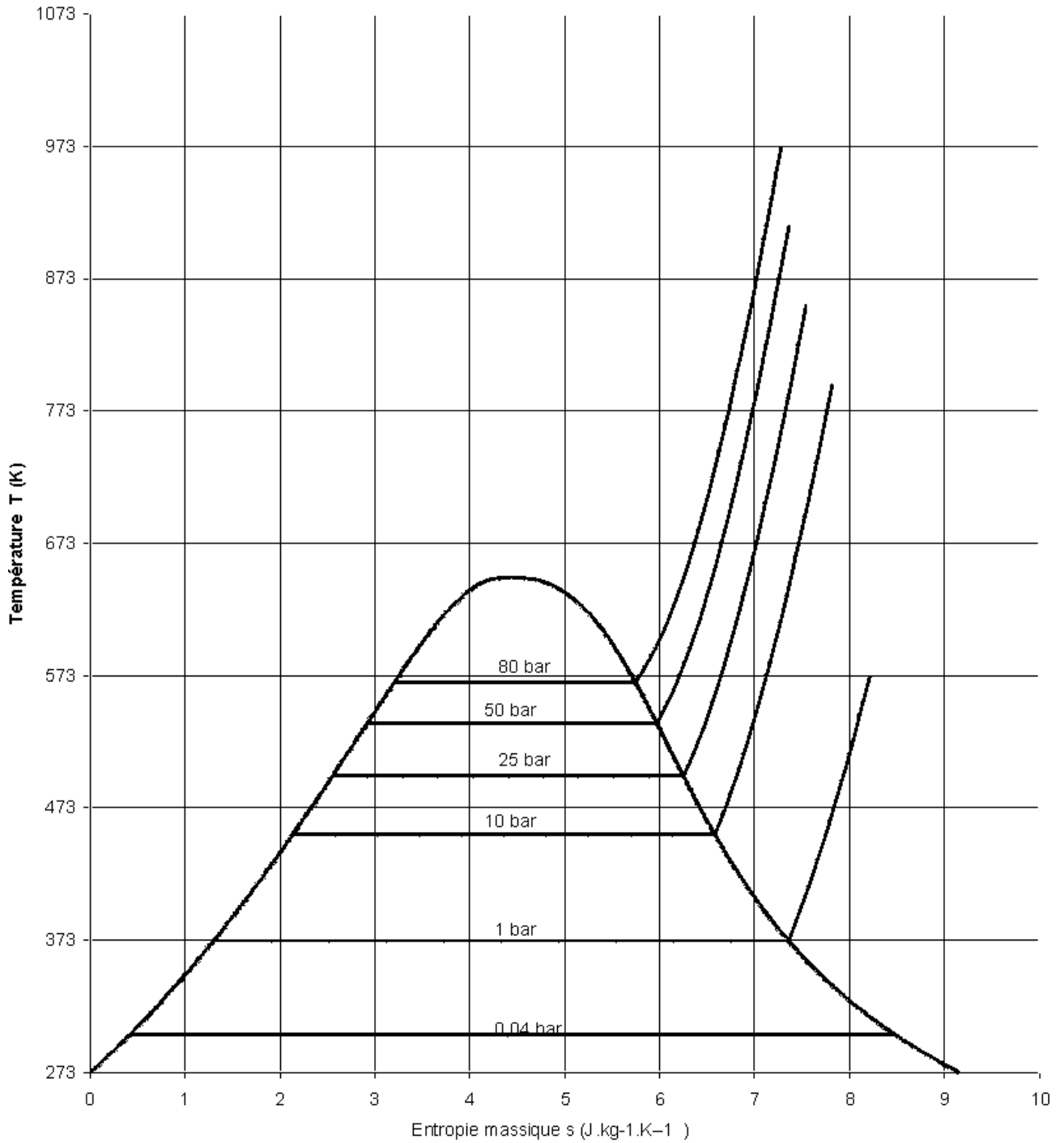
II b



II.c

Document II.2

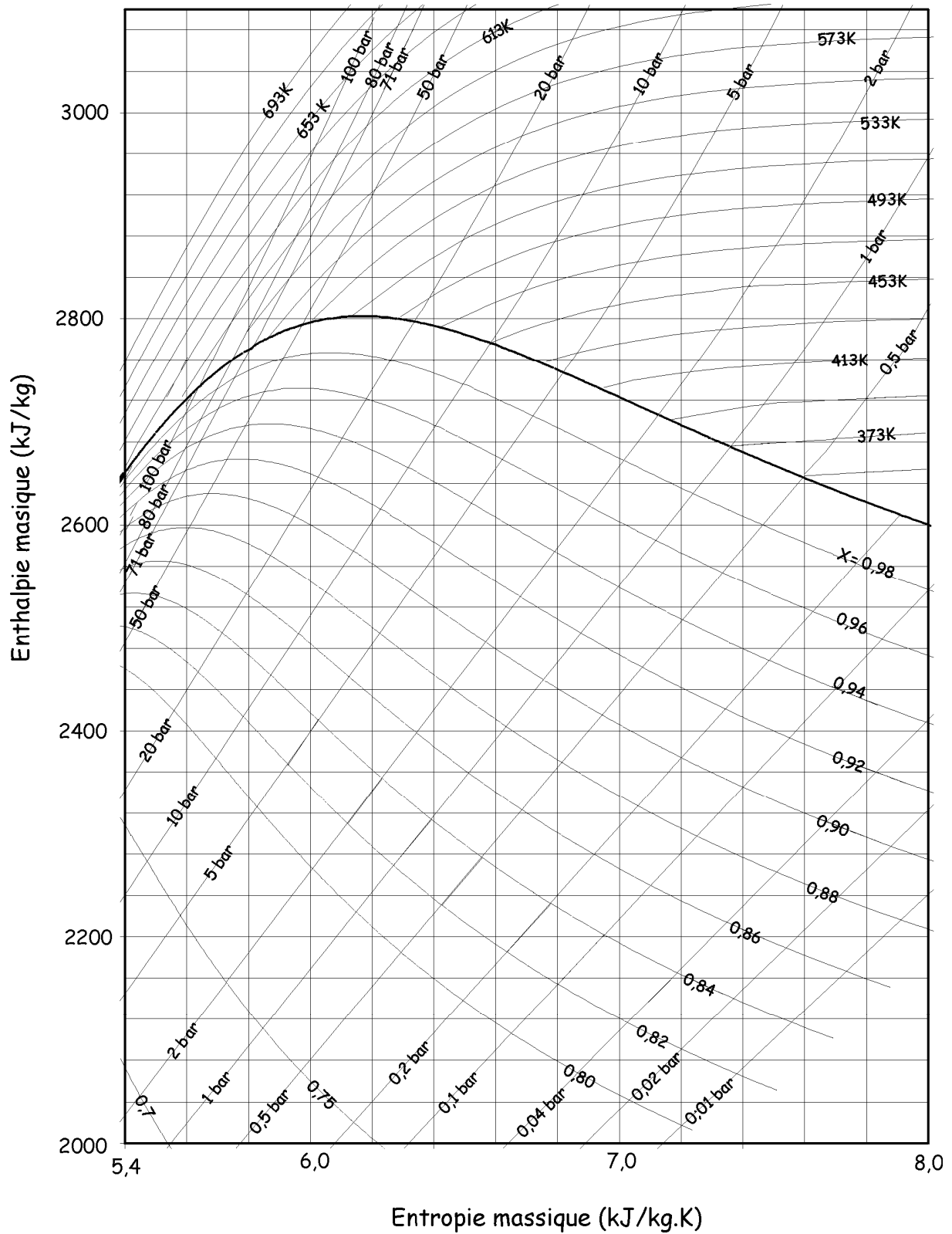
Diagramme entropique de l'eau



Document II.3
Propriétés de l'eau (Région saturée)

Température °C	Pression bar	Volume massique		Enthalpie massique		Entropie massique	
		liquide m³/kg	vapeur m³/kg	liquide kJ/kg	vapeur kJ/kg	liquide kJ/K·kg	vapeur kJ/K·kg
0,01	0,006106	0,0010002	206,3	0	2501	0	9,1544
5	0,005719	0,0010001	147,2	21,05	2510	0,0762	9,0241
10	0,012277	0,0010004	106,42	42,04	2519	0,161	8,8914
15	0,017041	0,001001	77,97	62,97	2528	0,2244	8,7806
20	0,02337	0,0010018	57,84	83,9	2637	0,2964	8,6665
25	0,03168	0,001003	43,4	104,81	2547	0,3672	8,557
30	0,04241	0,0010044	32,93	125,71	2556	0,4366	8,4523
35	0,05622	0,0010061	25,24	146,6	2565	0,5049	8,3519
40	0,07375	0,0010079	19,55	167,5	2574	0,5723	8,2559
45	0,09584	0,0010099	15,28	188,4	2582	0,6384	8,1638
50	0,12335	0,0010121	12,04	209,3	2592	0,7038	8,0753
55	0,1574	0,0010145	9,578	230,2	2600	0,7679	7,9901
60	0,19917	0,0010171	7,678	251,1	2609	0,8311	7,9084
65	0,2501	0,0010199	6,201	272,1	2617	0,8934	7,8297
70	0,3117	0,0010228	5,045	293	2626	0,9549	7,7544
75	0,3855	0,0010258	4,133	314	2635	1,0157	7,6815
80	0,4736	0,001029	3,408	334,9	2643	1,0753	7,6116
85	0,5781	0,0010324	2,828	355,9	2651	1,1342	7,5438
90	0,7011	0,0010359	2,361	377	2659	1,1925	7,4787
95	0,8451	0,0010396	1,982	398	2668	1,2502	7,4155
100	1,0131	0,0010435	1,673	419,1	2676	1,3071	7,3547
105	1,2079	0,0010474	1,419	440,2	2683	1,3132	7,2959
110	1,4326	0,0010515	1,21	461,3	2691	1,4184	7,2387
115	1,6905	0,0010559	1,036	482,5	2696	1,4733	7,1832
120	1,9654	0,0010803	0,8917	503,7	2706	1,5277	7,1298
125	2,3208	0,0010649	0,7704	525	2713	1,5814	7,0777
130	2,7011	0,0010697	0,6683	546,3	2721	1,6354	7,0272
135	3,13	0,0010747	0,582	567,5	2727	1,6569	6,9781
140	3,614	0,0010798	0,5087	589	2734	1,7392	6,9304
145	4,155	0,0010651	0,4481	610,5	2740	1,7907	6,8839
150	4,78	0,0010906	0,3926	632,2	2746	1,8418	6,8383
155	5,433	0,0010962	0,3466	653,9	2753	1,8924	6,794
160	6,18	0,0011021	0,3068	675,6	2758	1,9427	6,7508
165	7,008	0,0011061	0,2725	697,3	2763	1,9924	6,7081
170	7,92	0,0011144	0,2426	719,2	2769	2,0417	6,6636
175	8,925	0,0011208	0,2166	741,1	2773	2,0909	6,6256
180	10,087	0,0011275	0,1939	763,1	2778	2,1395	6,5858
185	11,234	0,0011344	0,1739	785,2	2782	2,1876	6,5465
190	12,553	0,0011415	0,1564	807,5	2786	2,2357	6,5074
195	13,969	0,0011489	0,1409	829,9	2790	2,2834	6,4694
200	15,551	0,0011565	0,1272	852,4	2793	2,3308	6,4318
205	17,245	0,0011644	0,1151	875	2796	2,3777	6,3945
210	19,66	0,0011726	0,1043	897,7	2796	2,4246	6,3577
215	21,062	0,0011812	0,09465	920,7	2800	2,4751	6,3212
220	23,201	0,00119	0,08606	943,7	2802	2,5179	6,2849
225	25,504	0,0011992	0,07837	966,9	2802	2,564	6,2488
230	27,979	0,0012087	0,07147	990,4	2803	2,6101	6,2133
235	30,635	0,0012187	0,06527	1013,9	2804	2,6561	6,178
240	33,48	0,0012291	0,05967	1037,5	2803	2,7021	6,1425
245	36,524	0,0012399	0,05462	1061,6	2803	2,7478	6,1073
250	39,776	0,0012512	0,05006	1085,7	2801	2,7934	6,0721
255	43,25	0,0012631	0,04591	1110,2	2799	2,8394	6,0366
260	46,94	0,0012755	0,04215	1135,1	2796	2,8851	6,0013
265	50,87	0,0012886	0,03872	1160,2	2794	2,9307	5,9657
270	55,05	0,0013023	0,0356	1185,3	2790	2,9764	5,9297
275	59,49	0,0013168	0,03274	1210,7	2785	3,0223	5,8938
280	64,19	0,0013321	0,03013	1236,9	2780	3,0681	5,8573
285	69,18	0,0013483	0,02773	1263,1	2773	3,1146	5,8205
290	74,45	0,0013655	0,02554	1290	2766	3,1611	5,7827
295	80,02	0,0013839	0,02351	1317,2	2758	3,2079	5,7443
300	85,92	0,0014036	0,02164	1344,9	2749	3,2548	5,7049
305	92,14	0,001425	0,01992	1373,1	2739	3,3026	5,6647
310	98,7	0,001447	0,01832	1402,1	2727	3,3508	5,6233
315	105,61	0,001472	0,01683	1431,7	2714	3,3996	5,5802
320	112,9	0,001499	0,01545	1462,1	2700	3,4495	5,5353
325	120,57	0,001529	0,01417	1493,6	2684	3,5002	5,4919
330	128,65	0,001562	0,01297	1526,1	2666	3,5522	5,4412
335	137,14	0,001599	0,01184	1559,8	2646	3,6056	5,3905
340	146,08	0,001639	0,01078	1594,7	2622	3,6605	5,3361
345	155,48	0,001686	0,009771	1632	2595	3,7184	5,2769
350	165,37	0,001741	0,008803	1671	2565	3,7786	5,2117
355	175,77	0,001807	0,007869	1714	2527	3,8439	5,1385
360	186,74	0,001894	0,006943	1762	2481	3,9162	5,053
365	198,3	0,00202	0,00599	1817	2421	4,0009	4,9463
370	210,53	0,00222	0,00493	1893	2331	4,1137	4,7951
374,15	221,297	0,00326	0,00326	2100	2100	4,4296	4,4296

Document II.4
Diagramme de Mollier de l'eau



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1992

Ce problème décrit de façon simplifiée le fonctionnement de quelques parties d'une centrale électronucléaire à eau pressurisée (figure 1).

Les parties I, II, III sont indépendantes les unes des autres et peuvent être traitées dans un ordre quelconque.

I - Etude du circuit primaire

A l'entrée et à la sortie de la cuve du réacteur, ainsi que dans le pressuriseur, la pression est de 155 bar. On relève respectivement à l'entrée et à la sortie de la cuve les températures $t_3 = 284^\circ\text{C}$ et $t_4 = 321^\circ\text{C}$.

- On considère le diagramme (p, t) (Annexe 1 qui est à rendre avec la copie) où
 - p_s est la pression de vapeur saturante de l'eau en bars
 - t est la température de l'eau en degrés Celsius.
 - Indiquer sur ce diagramme le domaine de l'eau liquide et celui de l'eau vapeur en justifiant.
 - Placer, en justifiant, les points 3 et 4 représentant respectivement les états de l'eau à l'entrée et à la sortie de la cuve.
 - Le pressuriseur contient un mélange d'eau liquide et d'eau vapeur. Placer, en justifiant, le point M représentant l'état de l'eau du pressuriseur sur le même diagramme. En déduire la température qui y règne.
- Dans les conditions où elle circule dans la cuve, la capacité thermique massique de l'eau est $c' = 5,8 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Calculer la variation d'enthalpie massique de l'eau entre l'entrée et la sortie de la cuve du réacteur.
- Calculer la valeur du débit massique D_m d'eau nécessaire dans le réacteur pour évacuer une puissance thermique P_f de 2800 MW fournie par la fission.

II - Détente de la vapeur dans la turbine.

- À l'admission dans la turbine, la vapeur est saturante - sèche. Sa pression est $p_5 = 50 \text{ bar}$, sa température t_5 . On suppose que la détente dans la turbine se fait de façon isentropique. A la sortie, la pression p_6 vaut 10 bars et la température est t_6 . Placer sur le diagramme entropique de l'eau (annexe 2 à rendre avec la copie) les points 5 et 6 en justifiant leurs positions. Utiliser le diagramme pour déterminer
 - les valeurs de t_5 et t_6
 - l'état de l'eau à la sortie de la turbine.
- On veut déterminer la température $t_{5'}$ jusqu'à laquelle il faudrait surchauffer la vapeur, sous la pression p_5 , pour que, après détente isentropique dans la turbine de la pression p_5 à la pression p_6 , cette vapeur soit saturante sèche (état 6').
 - Placer sur le diagramme, en justifiant, les points 5' et 6'. En déduire la valeur de la température $t_{5'}$.
 - En considérant que la vapeur entre les états 5' et 6' se comporte comme un gaz parfait pour lequel $\gamma = 1,3$, calculer la valeur de $t_{5'}$. Comparer avec la valeur lue sur le diagramme.

III - Etude générale du rendement.

La centrale (sans l'alternateur) peut être considérée comme un moteur thermique où l'eau décrit un cycle entre deux sources (figure 2)

La source chaude Σ_1 qui est le cœur du réacteur, de température constante $t_1 = 325^\circ\text{C}$.

La source froide Σ_2 qui est un réfrigérant de température constante $t_2 = 15^\circ\text{C}$.

L'eau échange un travail total \mathcal{W} avec les parties mobiles du système.

Selon la convention habituelle, les énergies sont comptées positivement quand le système considéré les reçoit.

- Préciser les signes des chaleurs Q_1 et Q_2 que l'eau échange avec les sources et le signe du travail \mathcal{W} .
- Donner la définition du rendement thermodynamique r du cycle en fonction de \mathcal{W} et de l'une des chaleurs et trouver son expression, en fonction de Q_1 et Q_2 .
- En fonctionnement réel, le rendement vaut $r = 0,33$. Le travail total échangé avec les parties mobiles pendant chaque seconde est égal, en valeur absolue, à la puissance électrique de la centrale, soit 925 MW.
 - Calculer la valeur de la puissance thermique P_1 échangée par le fluide avec la source chaude, cœur du réacteur.
 - Calculer la valeur de la puissance thermique P_2 échangée par le fluide avec la source froide. Le réfrigérant est l'eau d'un fleuve. Sa température n'est qu'en moyenne égale à 15°C . Calculer la valeur du débit massique D_m dans le circuit de refroidissement quand la température de l'eau du fleuve augmente de 10°C entre l'entrée et la sortie.

On donne : capacité thermique massique de l'eau au voisinage de 15°C : $c = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

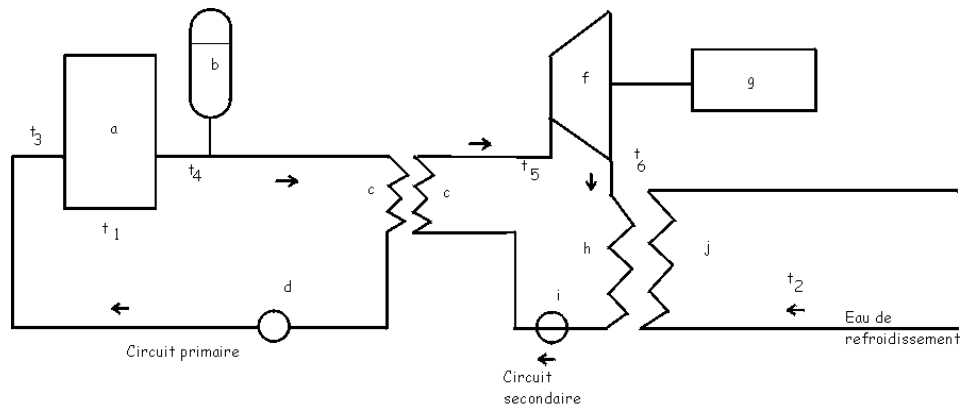


Figure 1

Circuit primaire

- a : cuve du réacteur = source chaude Σ_1
- b : pressuriseur
- c : générateur de vapeur (branche du circuit primaire)
- d : motopompe primaire de circulation d'eau liquide

Circuit secondaire :

- e : générateur de vapeur (branche du circuit secondaire)
- f : turbine
- g : alternateur
- h : condenseur
- i : motopompe secondaire de circulation d'eau liquide
- j : circuit du réfrigérant : source froide Σ_2

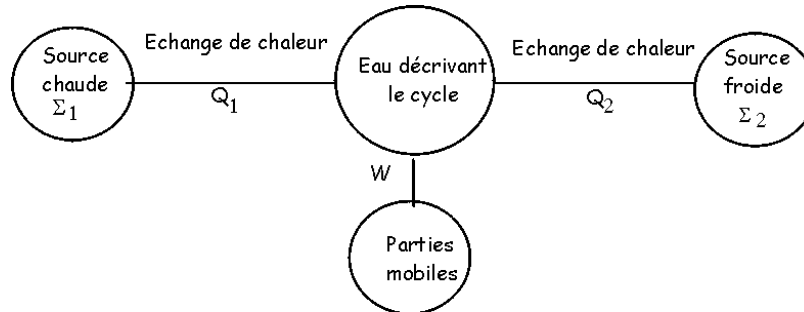
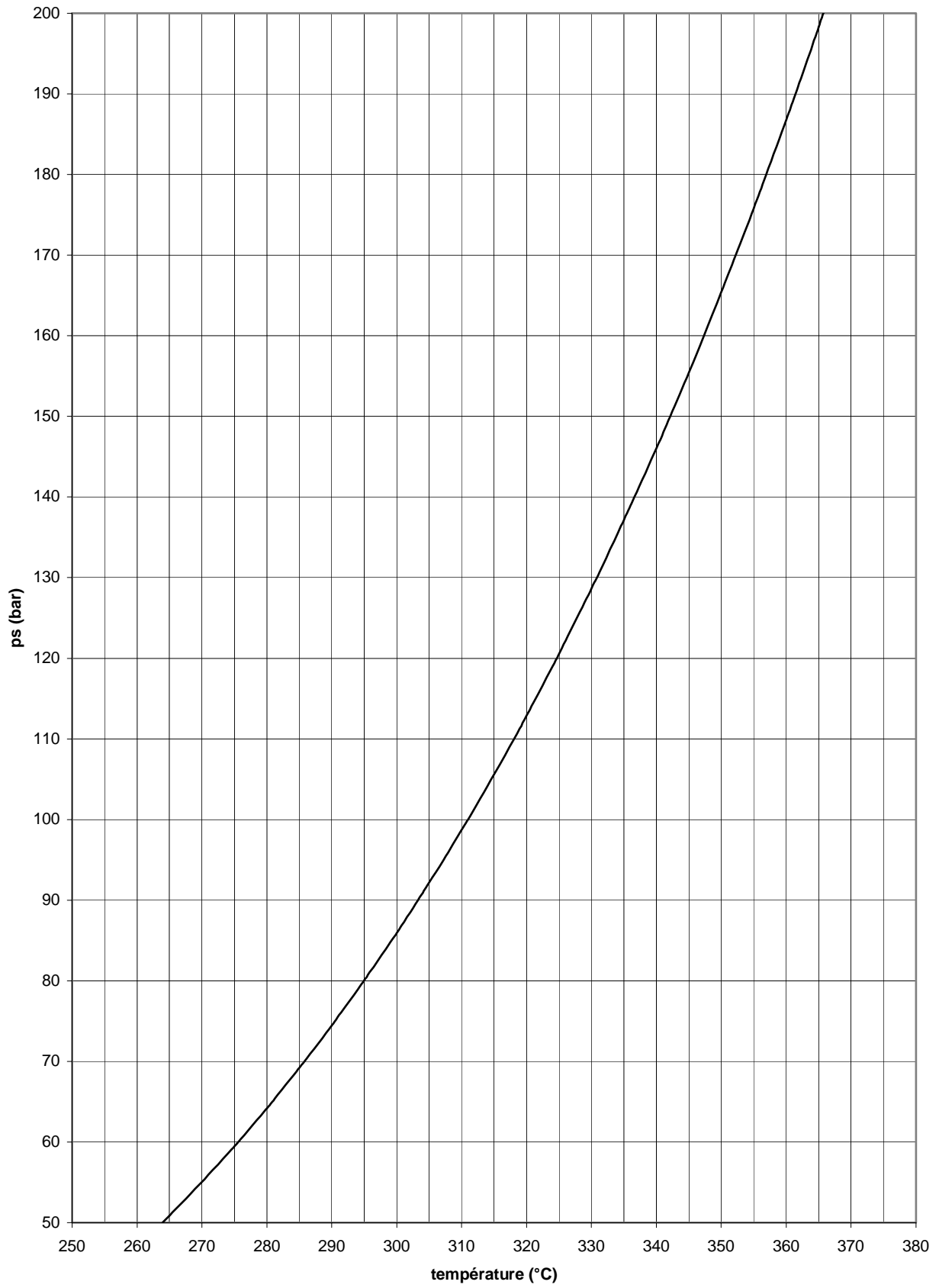


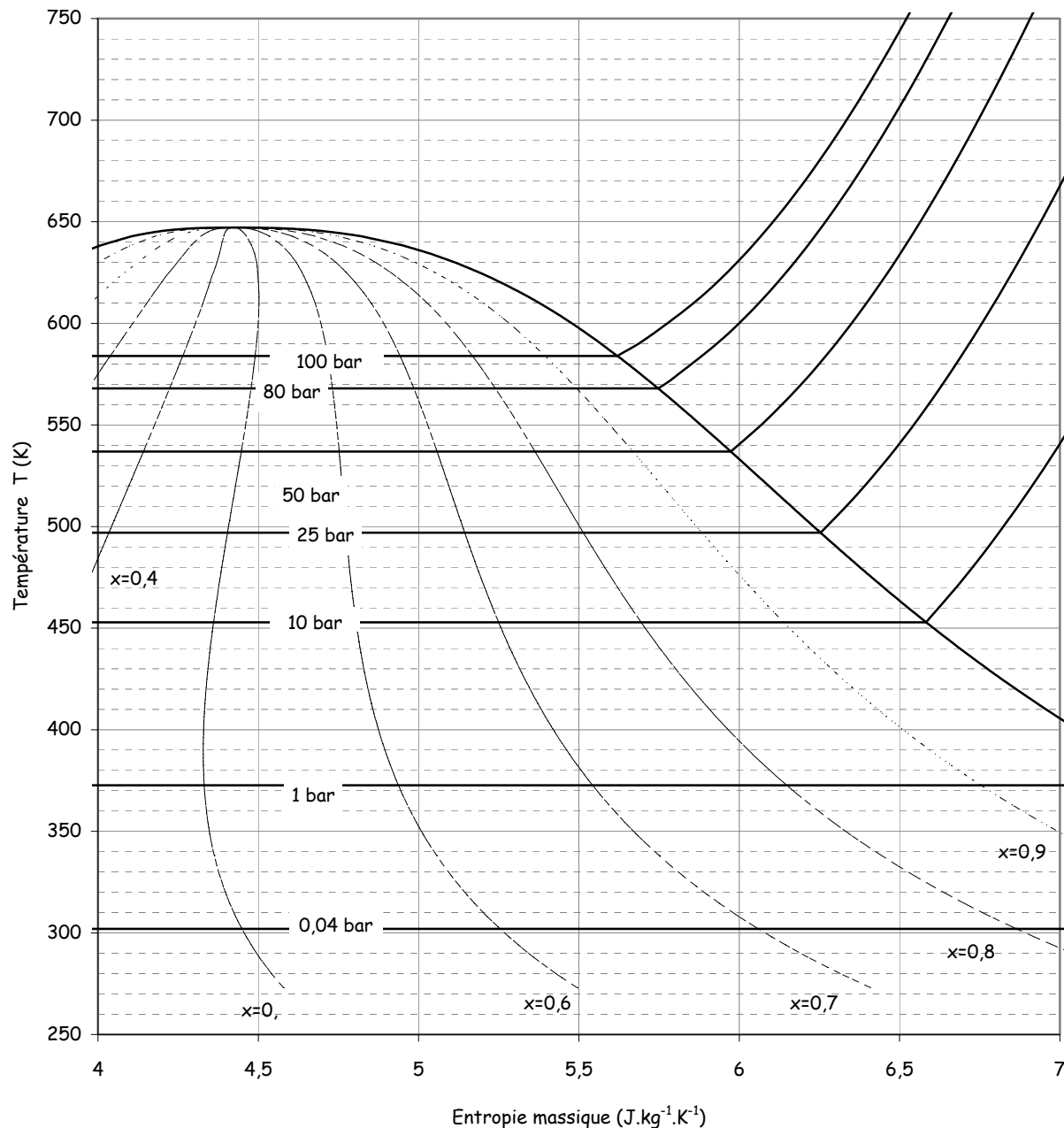
Figure 2
Annexe 1

ps(t)



Annexe 2

Diagramme entropique de l'eau

**BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1999****Etude du cycle de l'eau dans une centrale thermique***PARTIE I : Cycle sans surchauffe*

Dans une centrale thermique, le générateur de vapeur produit de la vapeur saturée qui traverse une turbine où elle se détend avant de se condenser, l'eau condensée retourne au générateur de vapeur à travers une pompe.

L'ensemble est schématisé [figure 1](#).

Les différentes étapes du cycle de l'eau sont les suivantes :

1 → 2 Détente isentropique de l'eau de la pression $p_1 = 50$ bar à la pression $p_2 = 0,2$ bar ; l'eau passant de l'état 1 (vapeur saturante sèche) à l'état 2 (vapeur humide : température T_2 , titre de vapeur x).

2 → 3 Fin de condensation à la pression $p_2 = 0,2$ bar.

3 → 4 Compression isentropique de l'eau liquide de la pression $p_2 = 0,2$ bar à la pression $p_1 = 50$ bar.

4 → 5 → 1 Echauffement isobare de l'eau liquide de la température T_2 à la température T_1 , à la pression $p_1 = 50$ bar puis vaporisation à la température T_1 . Le point 5 étant l'état intermédiaire.

On donne :

- le diagramme de Mollier $h = f(s)$;
 - les enthalpies massiques de l'eau liquide dans les états 3 et 4 : $h_3 = h_4 = 250$ kJ kg⁻¹ ;
 - dans tout le problème, le travail effectué par la pompe sera considéré comme négligeable .
1. Placer, en justifiant votre réponse, les points 1 et 2 dans le diagramme de Mollier; en déduire le titre x de la vapeur au point 2 et les enthalpies massiques de l'eau h_1 et h_2 relatives aux états 1 et 2. Calculer le travail massique w échangé lors de la détente 1 → 2. (Justifier).
 2. Exprimer puis calculer la quantité de chaleur massique q échangée par l'eau lors de l'échauffement isobare à la pression p_1 et de la vaporisation dans le générateur de vapeur (étape 4 → 5 → 1)
 3. Déterminer le rendement thermodynamique η du cycle.
 4. Le générateur de vapeur produisant la vapeur avec le débit $D_m = 400$ t h⁻¹ (tonnes par heure), calculer la puissance fournie à la turbine.

PARTIE II : Cycle avec surchauffes

Le schéma explicatif correspondant est représenté *figure 2*

Afin d'éviter un début de condensation dans la turbine, on surchauffe la vapeur saturante en deux étapes :

- chauffage isobare à p_1 (1 → 1') suivi d'une détente isentropique (1' → 2') l'amenant à l'état de vapeur saturante sèche à la pression $p' = 5$ bar.
 - chauffage isobare à p' (2' → 1'') suivi d'une détente isentropique (1'' → 2'') l'amenant à l'état de vapeur saturante sèche à la pression $p_2 = 0,2$ bar.
1. Placer, en justifiant votre réponse, les points 2', 1', 2'', 1'' sur le diagramme
 2.
 - 2.1. Relever les valeurs de l'enthalpie massique aux quatre points 1', 2', 1'' et 2''.
 - 2.2. Calculer la nouvelle quantité de chaleur massique q' totale échangée au niveau du générateur de vapeur et des surchauffeurs.
 - 2.3. Calculer le nouveau travail massique total w' échangé au niveau des deux turbines.
 3. Déterminer le rendement thermodynamique η' du nouveau cycle et l'augmentation relative de la puissance de l'installation, le débit de vapeur restant inchangé.

FIGURE 1

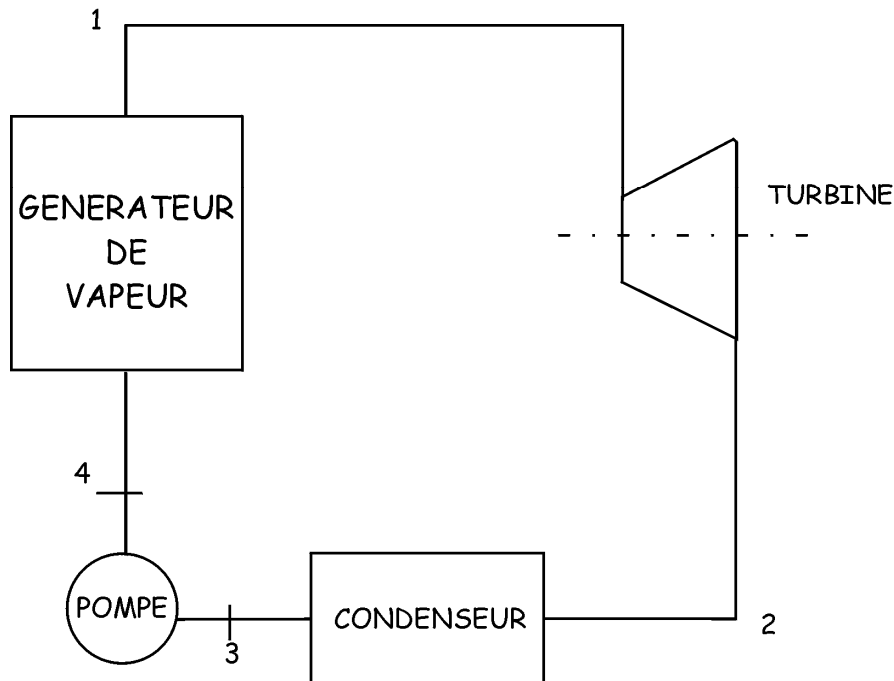


FIGURE 2

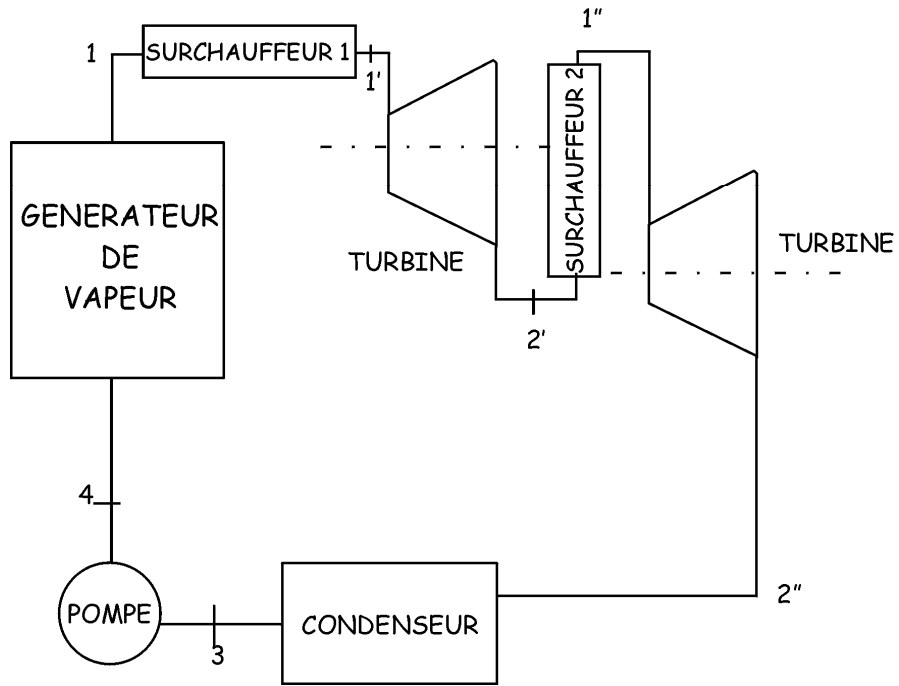
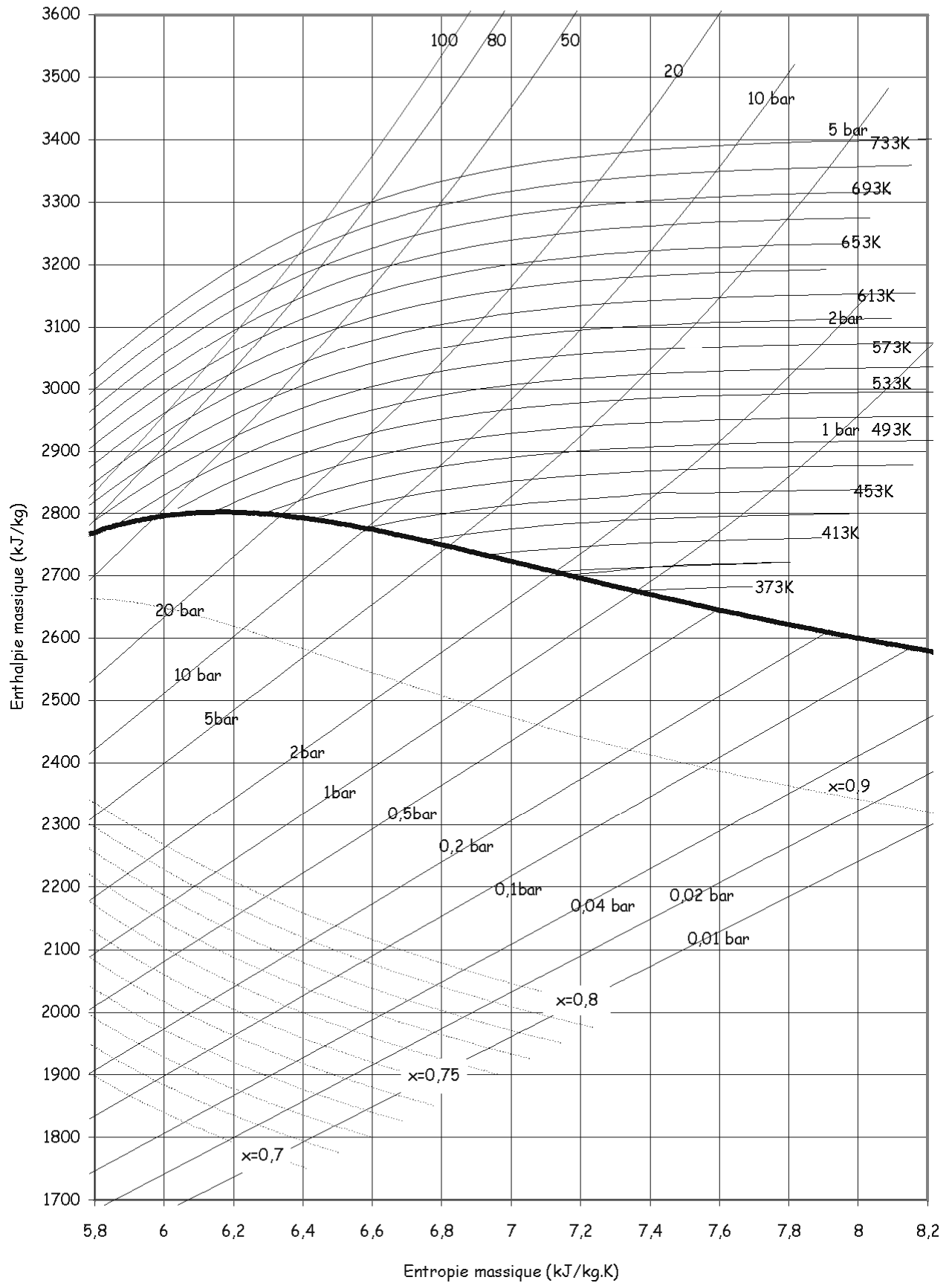


Diagramme de Mollier de l'eau



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2000**:Etude du circuit secondaire d'une centrale nucléaire (tranche 1450 MW)***Description des circuits*

L'ensemble des valeurs numériques nécessaires se trouve sur les schémas.

Dans le circuit secondaire, la vapeur produite par les générateurs entraîne la turbine. L'eau condensée est recyclée après passage dans des réchauffeurs.

La pression dans la partie secondaire des générateurs de vapeur ① est de 71 bar. L'eau peut ainsi bouillir au contact des tubes du générateur de vapeur, eux-mêmes parcourus par l'eau du circuit primaire. Elle en sort à l'état de vapeur saturée sèche.

La vapeur se détend dans la partie haute pression de la turbine ②. La détente de la vapeur en fait baisser la température. Des gouttelettes de condensation apparaissent. Il faut les séparer car leur impact à grande vitesse endommagerait aubes et directrices. Cette opération est faite à la sortie du corps haute pression, dans un « sécheur-surchauffeur » ③. La vapeur se détend ensuite dans les parties moyenne et basse pression de la turbine

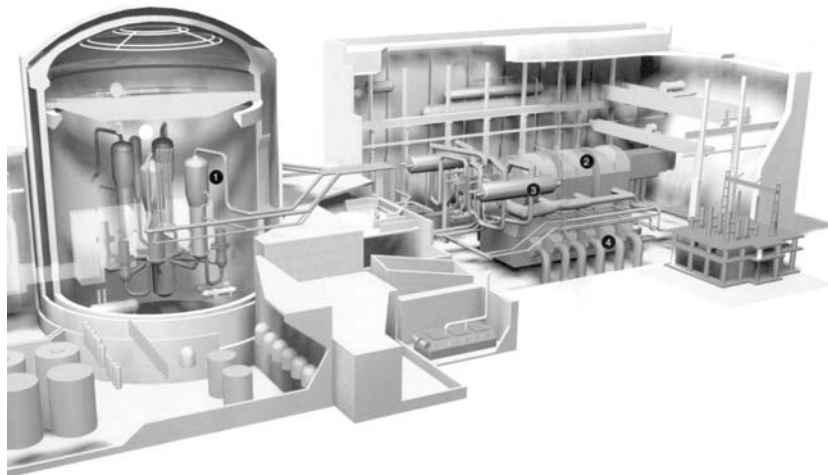
Des prélèvements de vapeur sont effectués à divers niveaux, pour réchauffer les flux retournant à la turbine.

A l'échappement de la turbine, la vapeur se condense sur les tubes du condenseur ④.

A la sortie du condenseur, l'eau du circuit secondaire est reprise par des pompes d'extraction, placées en contrebas du condenseur, au fond d'un puits de plus de 10 m de profondeur. D'autres pompes font monter la pression jusqu'à celle d'alimentation du générateur de vapeur.

L'eau de refroidissement du circuit secondaire est alors dirigée vers le réfrigérant atmosphérique (⑤) où elle est dispersée en fines gouttelettes en pluie face à un courant d'air ascendant. Une faible proportion de cette eau est évaporée, cédant ainsi de la chaleur à l'air.

La centrale nucléaire 1450 MW



① **Générateur vapeur (x 4)**

- hauteur : 21,90 m
- diamètre supérieur : 4,76 m
- diamètre inférieur : 3,70 m
- masse : 421 tonnes

② **Turbine « Arabelle »**

- longueur : 51,205 m
- largeur (hors tout) : 12,80 m
- masse : 2810 tonnes

③ **Sécheur surchauffeur (x2)**

- longueur : 24,80 m
- diamètre : 4,70 m
- masse : 370 tonnes
- température : 180°C
- pression : 10 bar

④ **Condenseur**

- longueur : 37,10 m
- largeur : 21,50 m
- hauteur : 15,49 m
- masse vide : 1893 tonnes
- nombre de tubes : 128856
- surface d'échange : 103227 m²
- débit eau refroidissement : 48,35 m³/s
- temp. entrée eau : 21,5°C
- temp. sortie eau : 35°C

1 Les numéros font référence à l'éclaté de la centrale .

TURBINE « ARABELLE » - CARACTÉRISTIQUES

1 corps haute pression - moyenne pression (HP - MP)

3 corps basse pression (BP)

Caractéristiques de la vapeur :

- Entrée corps HP : 71 bar T = 286,7°C
Débit = 2176 kg/s
- Entrée corps MP : 10,05 bar T = 268,3°C
Débit = 1482 kg/s
- Entrée corps BP : 3,2 bar T = 151,04°C
Débit = 460 kg/s pour chaque corps
- Vitesse de rotation : 1500 tours/min
- Puissance électrique : 1520 MW



Source : EdF (extraits de la brochure N4)

Etude de la turbine

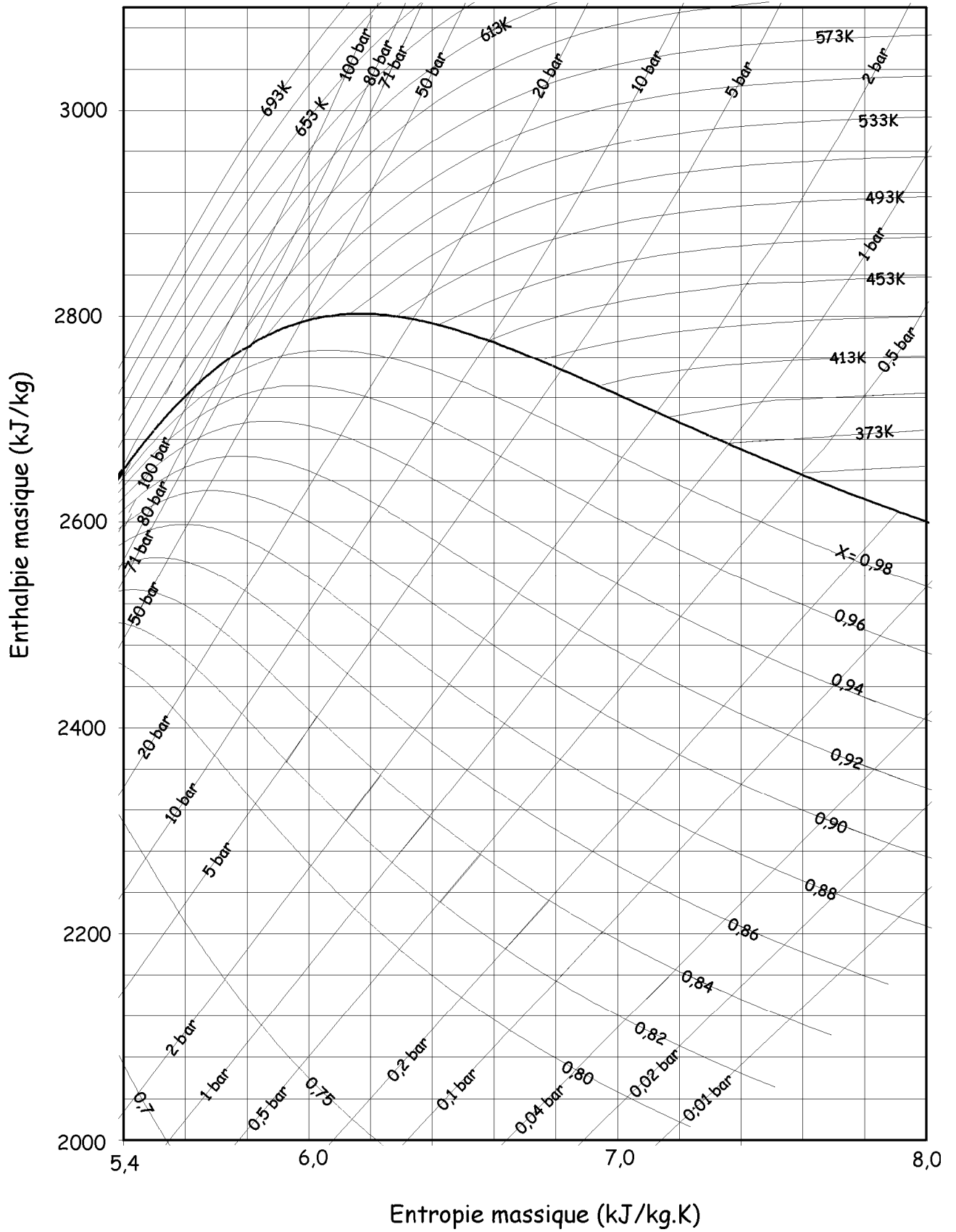
1. Placer sur le diagramme de Mollier le point A correspondant à l'entrée de la vapeur dans le corps HP de la turbine. Relever l'enthalpie massique h_A . Ces données seront récapitulées dans un tableau lors de la question 5.
2. La détente dans le corps HP se fait de manière isentropique. Le mélange eau-vapeur en sort dans les conditions d'entrée dans le sécheur-surchauffeur[⊗]. Placer sur le diagramme le point B, relever l'enthalpie massique h_B .
3. Le sécheur-surchauffeur élève la température du mélange, en le séchant, jusqu'aux conditions d'entrée dans le corps MP. Placer le point C sur le diagramme, et relever l'enthalpie massique h_C .
4. Dans les corps MP et BP la détente est isentropique. La vapeur sort des corps BP à la pression de 0,2 bar. Placer les points D (sortie de MP) et E (sortie de BP). Relever les enthalpies massiques h_D et h_E , ainsi que le titre massique en vapeur du mélange sortant du corps BP : x_E .
5. Reproduire sur votre copie et compléter le tableau suivant :

Point	Pression	Enthalpie massique	Etat physique
Unité			
A			
B			
C			
D			
E			

Représenter sur le diagramme, qui sera rendu avec la copie les transformations précédentes en justifiant les tracés.

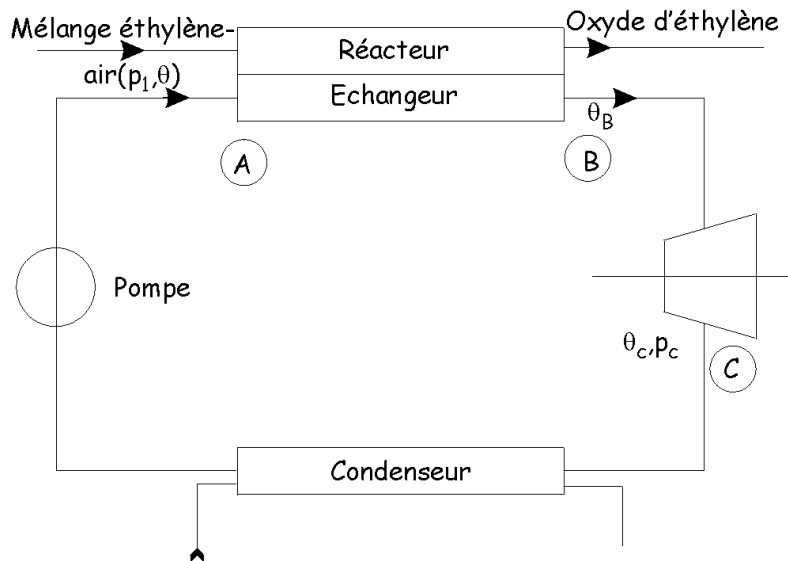
6. On souhaite calculer la puissance totale cédée par la vapeur à la turbine. Pour cela, on utilise le tableau précédent ainsi que le débit assuré par le corps HP à la turbine.
 - 6.1. Calculer la puissance cédée par la vapeur au corps HP
 - 6.2. La puissance au corps MP est de $P_2 = 341$ MW, celle cédée aux corps BP est $P_3 = 621$ MW. Calculer la puissance cédée par la vapeur à la turbine.
 - 6.3. Comparer cette puissance à la puissance électrique de la turbine. Quelles causes expliquent la différence ?

Diagramme de Mollier de l'eau



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2002**Étude d'une unité de fabrication en continu d'oxyde d'éthylène**

L'oxyde d'éthylène est obtenu par oxydation directe sous pression, de l'éthylène par le dioxygène de l'air. Cette réaction est exothermique et l'énergie thermique correspondante Q_1 est transférée à un circuit d'eau, dans un « réacteur échangeur ». Voir schéma ci-dessous



La quantité de chaleur Q_1 est égale à $5,48 \times 10^5$ kJ pour 1 kmol d'oxyde d'éthylène fabriqué.

La pression p dans l'échangeur est égale à 10 bar.

Dans l'échangeur l'eau sort à la température $\theta_B = 300$ °C (point B). Elle subit une détente isentropique dans la turbine jusqu'à une pression p_C . La teneur en liquide en sortie de turbine (C) est égale à 4 %. La liquéfaction se termine dans un condenseur, et l'eau est renvoyée en entrée d'échangeur (A) à l'aide d'une pompe.

Documentation : diagramme de Mollier.

Données : enthalpie massique de l'eau en A : $h_A = 310$ kJ \cdot kg $^{-1}$.
constante des gaz parfaits : $R = 8,32$ J mol $^{-1}$ \cdot K $^{-1}$.

1. Échangeur

- 1.1. En utilisant le diagramme de Mollier, expliquer que l'eau en B est à l'état de vapeur sèche surchauffée.
- 1.2. Déterminer la variation d'enthalpie massique de l'eau entre A et B.
- 1.3. Utiliser le résultat précédent pour montrer que la masse m de vapeur sortant de l'échangeur par kmol d'oxyde d'éthylène fabriqué, est environ égale à 200 kg.

2. Turbine

- 2.1. Représenter sur le diagramme de Mollier la transformation BC.
- 2.2. Déterminer les valeurs de p_C et θ_C en sortie de turbine
- 2.3. Calculer le travail massique échangé entre le fluide et la turbine, le rendement étant de 70%.
- 2.4. En déduire le travail correspondant à la fabrication d'1 kmol d'oxyde d'éthylène.

3. Étude de la compression du mélange éthylène-air.

Le mélange éthylène-air est disponible à la pression $p_1 = 1,0$ bar. Il est comprimé à la température constante $\theta = 25$ °C jusqu'à une pression $p_2 = 15,3$ bar.

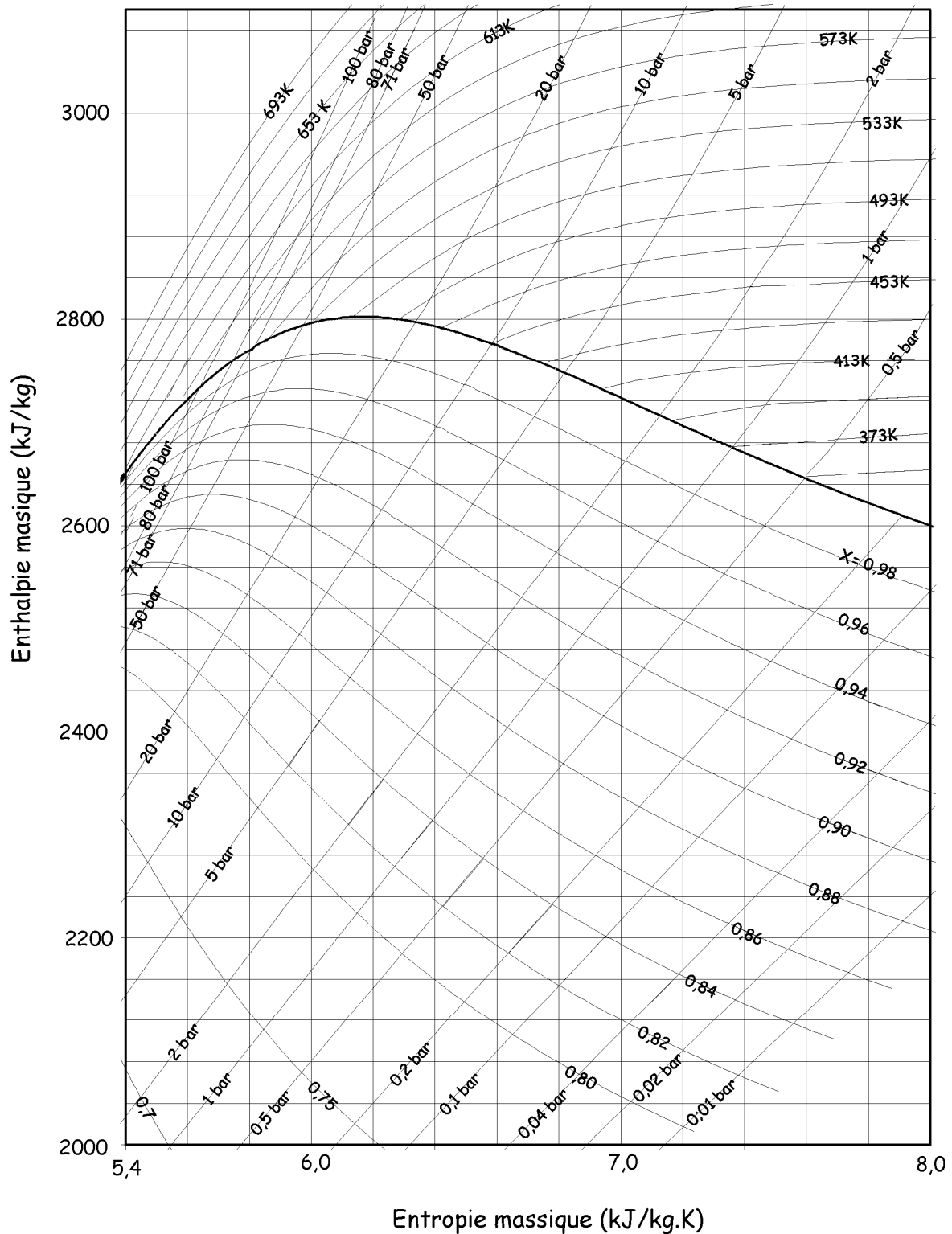
Le travail de compression pour une transformation réversible, à la température constante T , d'une quantité de matière n d'un gaz parfait, d'une pression p_1 à une pression p_2 , est donné par la relation suivante :

$$W = nRT \ln \frac{p_2}{p_1}$$

- 3.1. Sachant que la fabrication d'1 kmol d'oxyde d'éthylène nécessite une quantité de matière totale en mélange éthylène-air égale à 12,3 kmol, en déduire le travail de compression isotherme de ce mélange. Le mélange sera assimilé à un gaz parfait.

Les compresseurs utilisés ayant un rendement égal à 60 %, quel travail doivent-ils réellement fournir

Diagramme de Mollier de l'eau

**BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1998****REMARQUES IMPORTANTES :**

Le sujet comporte deux parties A et B complètement indépendantes. A l'intérieur de ces parties les questions sont regroupées sous des paragraphes (ex : I, II,...). Les paragraphes sont indépendants les uns des autres, ou les résultats des paragraphes précédents, qu'ils utilisent, vous sont donnés. Enfin, à l'intérieur même des paragraphes de nombreuses questions peuvent être résolues sans les précédentes.

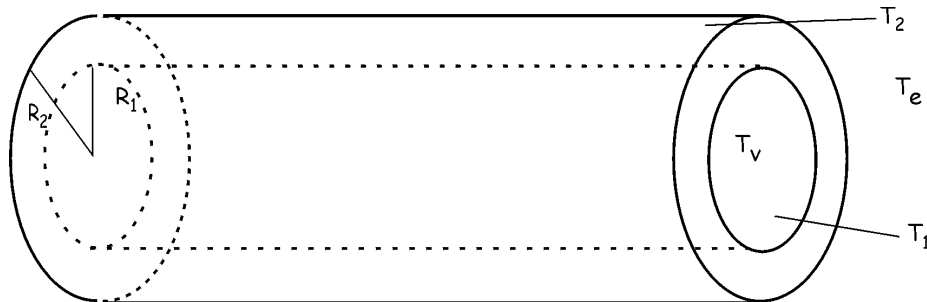
Plusieurs questions de ce problème sont qualitatives et ne nécessitent donc aucun calcul.

Schéma de la centrale thermique étudiée :



PARTIE A : Pertes de chaleur dans les tuyaux d'arrivée de la vapeur

La vapeur surchauffée parvient à la turbine par des tuyaux cylindriques de rayon intérieur R_1 et de rayon extérieur R_2 . Le matériau a une conductivité thermique λ . A l'intérieur, la vapeur d'eau est à une température T_v . La paroi intérieure du tuyau s'élève à une température T_1 et la paroi extérieure à une température T_2 . L'air à l'extérieur est à la température T_e . On appellera L la longueur du tuyau. Nous supposons que le régime est stationnaire.



I. Propagation de la chaleur à travers la paroi du tuyau :

La chaleur se propage à travers la paroi cylindrique par conduction. La densité de courant de chaleur est donnée par la loi de FOURIER : $\vec{j}_c = -\lambda \frac{dT}{dr} \vec{n}$

- Donner la signification physique de la loi citée ci-dessus en précisant qualitativement quels paramètres influent sur le transfert de chaleur. Sur un schéma, représenter \vec{j}_c .
- La quantité de chaleur qui traverse un élément de surface dS de la paroi, chaque seconde, est $d\Phi_c = J_c \cdot dS$. On l'appelle flux de chaleur traversant dS .

Le flux de chaleur $\Phi_c(r)$, traversant le cylindre de rayon r ($R_1 < r < R_2$) et de longueur L , s'exprime par :

$$\Phi_c(r) = -2\pi r L \lambda \frac{dT}{dr}$$

Pourquoi peut on dire que, dans notre cas, Φ_c est indépendant de r ?

En intégrant l'expression obtenue, on montre que :

$$\Phi_c = -2L\pi\lambda \frac{(T_2 - T_1)}{Ln\left(\frac{R_2}{R_1}\right)}$$

Ce résultat n'est pas à démontrer, mais il vous sera utile par la suite.

II. Echanges entre les parois et les fluides :

Les échanges thermiques entre la vapeur d'eau et la paroi intérieure d'une part et entre la paroi extérieure et l'air ambiant d'autre part, sont de type convectifs. Ils suivent une loi de NEWTON, dans laquelle le flux de chaleur traversant un élément dS de la paroi est donné par la relation : $d\Phi = h dS \Delta T$. h est le coefficient de convection et ΔT est la différence de température entre le fluide et la paroi. On supposera que h est le même pour les deux surfaces d'échange.

- Expliciter Φ_{int} , le flux thermique entre la vapeur et la paroi intérieure.
- Expliciter Φ_{ext} , le flux thermique entre la paroi extérieure et l'air ambiant.

III. Calcul des pertes du tuyau :

- Pourquoi peut-on écrire que $\Phi_c = \Phi_{mt} = \Phi_{ext}$? Quelle relation y a-t-il entre ces flux et les pertes de chaleur par unité de temps du tuyau?
- A l'aide des expressions trouvées au I et II exprimer $(T_v - T_1)$, $(T_1 - T_2)$ et $(T_2 - T_e)$.
- En déduire que les pertes de chaleur par unité de temps, Φ valent:
$$\Phi = \frac{2\pi \cdot L \cdot (T_v - T_e)}{\frac{1}{R_1 b} + \frac{L \cdot R_2}{\lambda} + \frac{1}{R_2 b}}$$

- Application numérique : $R_1 = 3,5 \text{ cm}$; $R_2 = 4,0 \text{ cm}$; $L = 1 \text{ m}$; $T_v = 300^\circ\text{C}$; $T_e = 25^\circ\text{C}$; $\lambda = 55,5 \text{ W m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$; $b = 23,3 \text{ W m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$

Calculez Φ .

- Que pensez-vous de cette valeur? Comment peut-on faire pour limiter ces pertes?

PARTIE B : Etude de la partie turbine-condenseur

Les données nécessaires à cette partie sont regroupées ci-dessous.

	Pression (Pa)	Température ($^\circ\text{C}$)
Entrée de la turbine (1)	$2,0 \times 10^6$	300
Sortie de la turbine et entrée du condenseur (2)	$1,5 \times 10^4$	54
Sortie du condenseur (3)	$1,5 \times 10^4$	46

Données thermodynamiques sur la vapeur saturée :

Pression kPa	Temp. $^\circ\text{C}$	Vol. massique $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$		Energie interne $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$		Enthalpie $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	
		Liq. sat.	Vap. Sat.	Liq. sat.	Vap. Sat.	Liq. sat.	Vap. Sat.
5	33	0,001005	28,19	137,81	2420,5	137,82	2561,5
7,5	40	0,001008	19,24	168,78	2430,5	168,79	2574,8
10	46	0,001010	14,67	191,82	2437,9	191,83	2584,7
15	54	0,001014	10,02	225,92	2448,7	225,94	2599,1
20	60	0,001017	7,649	251,38	2456,7	251,40	2609,7
25	65	0,001020	6,204	271,9	2463,1	271,93	2618,2

Données thermodynamiques sur la vapeur surchauffée :

Température $^\circ\text{C}$	Pression : $1,80 \times 10^6 \text{ Pa}$			Pression : $2,00 \times 10^6 \text{ Pa}$		
	vol. mass. $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	Energie int. $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Enthalpie $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	vol. mass. $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$	Energie int. $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$	Enthalpie $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
225	0,11673	2636,6	2846,7	0,10377	2628,3	2835,8
250	0,12497	2686,0	2911,0	0,11144	2679,6	2902,5
300	0,14021	2776,9	3029,2	0,12547	2772,6	3023,5
350	0,15457	2863,0	3141,2	0,13857	2859,8	3137,0
400	0,16847	2947,7	3250,9	0,15120	2945,2	3247,6

Capacité thermique massique de l'eau considérée constante :

$$C_e = 4,18 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$$

Chaleur latente de vaporisation de l'eau :

$$L_v = 2370 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Débit massique de la vapeur en entrée de turbine :

$$Q_{mv} = 1,5 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Débit massique de l'eau de refroidissement dans le condenseur :

$$Q_{me} = 200 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$$

Température de l'eau de refroidissement :

$$T_e = 15^\circ\text{C}$$

- Décrire brièvement le cycle de fonctionnement d'une telle installation.
- On fait l'hypothèse que, lors du passage dans la turbine, la vapeur subit une détente adiabatique. Nous allons nous intéresser aux échanges à ce niveau.
 - Quelle est la caractéristique d'une transformation adiabatique?
 - Le travail des forces de pesanteur ainsi que la variation d'énergie cinétique subie par l'unité de masse du fluide sont supposées négligeables devant les autres quantités d'énergie échangées.
 - Rappeler l'expression de la conservation de l'énergie pour l'unité de masse de gaz passant de la pression P_1 et du volume V_1 à la pression P_2 et au volume V_2 en recevant le travail mécanique W_T de la part de la turbine. Exprimer cette relation en fonction des enthalpies H_1 et H_2 .

2.2.2. Calculer le travail fourni par 1 kg de vapeur d'eau à la turbine lors de son passage.

BTS Industries papetières 2000 :

Les parties A et B sont indépendantes, ainsi que la plupart des questions dans chacune de ces parties.

Dans le procédé kraft, afin d'optimiser la récupération d'énergie lors de l'incinération des résidus organiques et de réduire la pollution de l'air et de l'eau, on concentre la liqueur noire extraite des piles laveuses de pâte écrue dans des évaporateurs à effet multiple pour former une liqueur noire très forte. La majeure partie de l'eau est éliminée dans une série d'évaporateurs exploités à des pressions différentes de telles sortes que les buées sortant d'un étage soient la source de vapeur de l'étage suivant. Le principal avantage d'un tel système est sa capacité d'évaporation élevée, dépassant 5 kg d'eau évaporée par kg de vapeur vive pour un système à sept effets.

Partie A.

Les caractéristiques globales d'un évaporateur à six effets sont les suivantes

	Débit (kg/h)	Température (°C)	Pression relative (kPa)
Vapeur vive	23×10^3	135	213

	Débit de liqueur (kg/h)	% de matières sèches
A l'entrée	$151,2 \times 10^3$	13,9
A la sortie	$40,4 \times 10^3$	52

On donne :

pression atmosphérique $p_{\text{atm}} = 1,0 \text{ bar}$; $p_{\text{normale}} = 76 \text{ cm de Hg} = 1 \text{ atm} = 1,013 \text{ bar}$.

A partir des données précédentes et à l'aide du document 2, répondre aux questions suivantes

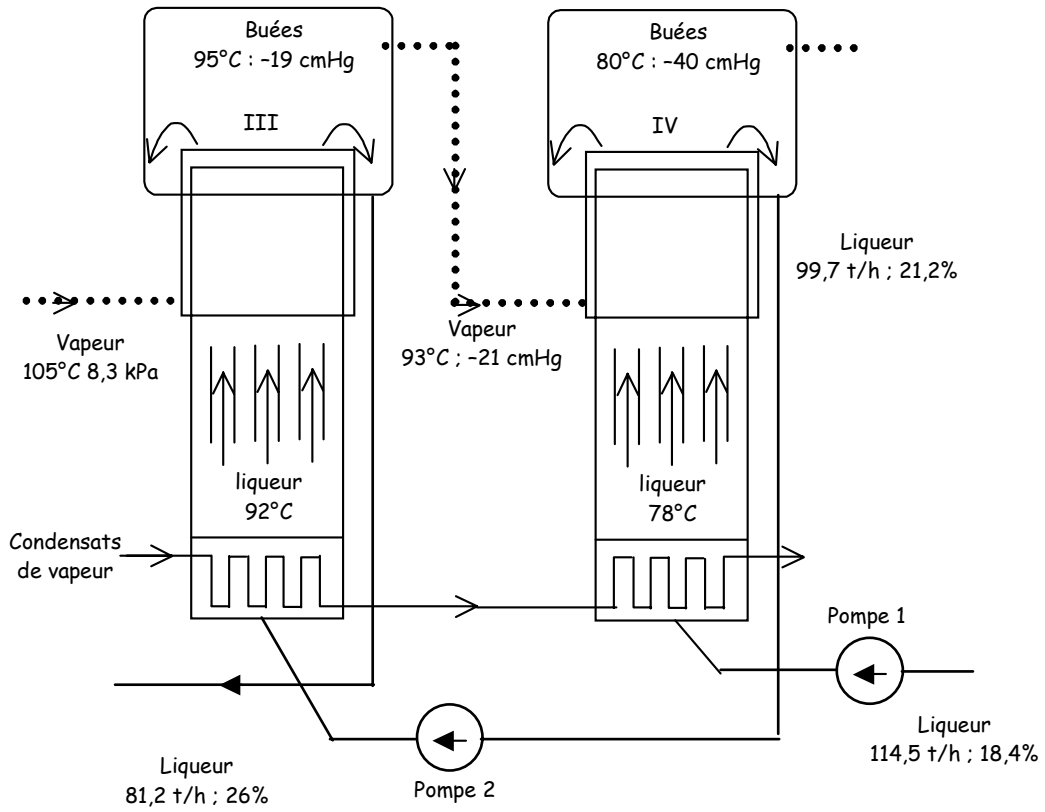
- Calculer la pression absolue de la vapeur vive.
- Cette vapeur vive est-elle sèche ou saturante ? En déduire sa masse volumique ρ .
- Calculer le débit volumique de vapeur vive (en m^3/s).
- Déterminer l'enthalpie massique h_{vap} de la vapeur vive.
 - On suppose qu'à la sortie du circuit de vapeur, on récupère toute l'eau à la température de 50°C , à l'état liquide.
 - Calculer la variation d'enthalpie massique de ce fluide
 - En déduire la puissance thermique fournie par la vapeur (en MW).
- Quel est le débit horaire de matières sèches que contient la liqueur ?
- Calculer la masse d'eau (en kg) évaporée par kg de vapeur vive.

Partie B.

On s'intéresse à l'étage IV de l'évaporateur (document 1).

- Montrer que la pression absolue (en bars) des vapeurs à l'entrée de l'étage IV de l'évaporateur est $0,72 \text{ bar}$.
- Vérifier qu'à l'entrée de l'étage IV, la vapeur est sèche. On fera une interpolation linéaire (voir document 2)
- Calculer la masse d'eau extraite de la liqueur par heure dans l'étage IV.

DOCUMENT 1.



Les pressions indiquées sont des pressions relatives

DOCUMENT 2.

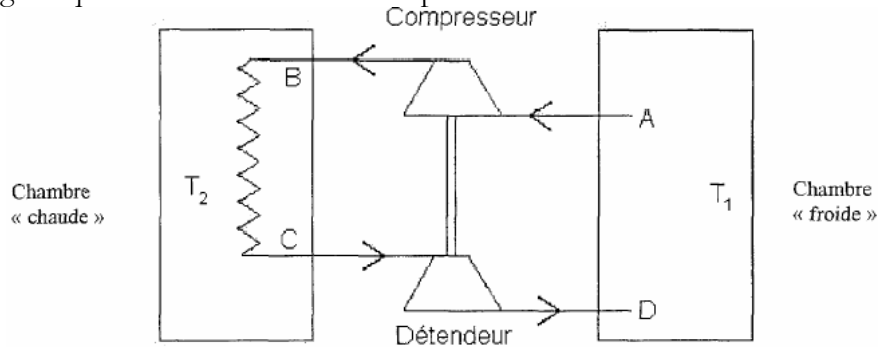
CARACTERISTIQUES DE L'EAU A L'EQUILIBRE LIQUIDE VAPEUR

Température (°C)	Pression absolue (bar)	Volume massique v (m ³ · kg ⁻¹)		Enthalpie massique h (kJ · kg ⁻¹)	
		Liquide	Vapeur	Liquide	Vapeur
0,01	0,0061	0,001000	206,3	0,0	2501
5	0,0087	0,001000	147,2	21,1	2510
10	0,0123	0,001000	106,4	42,0	2519
15	0,0170	0,001001	78,0	63,0	2528
20	0,0234	0,001002	57,8	83,9	2537
25	0,0317	0,001003	43,4	104,8	2547
30	0,0424	0,001004	32,9	125,7	2556
35	0,0562	0,001006	25,2	146,6	2565
40	0,0737	0,001008	19,6	167,5	2574
45	0,0958	0,001010	15,3	188,4	2583
50	0,123	0,001012	12,0	209,3	2592
55	0,157	0,001014	9,58	230,2	2600
60	0,199	0,001017	7,68	251,1	2609
65	0,250	0,001020	6,20	272,1	2817
70	0,312	0,001023	5,05	293,0	2626
75	0,386	0,001026	4,13	314,0	2635
80	0,474	0,001029	3,41	334,9	2643
85	0,578	0,001032	2,83	355,9	2651
90	0,701	0,001036	2,36	377,0	2659
95	0,845	0,001040	1,96	398,0	2667
100	1,013	0,001044	1,67	419,1	2675
105	1,208	0,001047	1,42	440,2	2683
110	1,433	0,001052	1,21	461,3	2691
115	1,690	0,001056	1,04	482,5	2698
120	1,985	0,001060	0,892	503,7	2706
125	2,321	0,001065	0,770	525,0	2713
130	2,701	0,001070	0,668	546,3	2721
135	3,13	0,001075	0,582	567,5	2727
140	3,61	0,001080	0,507	589,0	2734
145	4,16	0,001085	0,446	610,5	2740
150	4,76	0,001090	0,393	632,2	2746
155	5,43	0,001096	0,347	653,9	2752
160	6,18	0,001102	0,307	675,6	2758
165	7,01	0,001108	0,273	697,3	2763
170	7,92	0,001114	0,243	719,2	2768
175	8,93	0,001121	0,217	741,1	2773
180	10,09	0,001128	0,194	763,3	2778
185	11,23	0,001134	0,173	785,2	2782
190	12,55	0,001142	0,156	807,5	2786
195	13,97	0,001149	0,141	829,9	2790
200	15,55	0,001157	0,127	852,4	2793
205	17,25	0,001164	0,115	875,0	2796
210	19,06	0,001173	0,104	897,7	2798

Cycles frigorifiques

BTS Fluides Energies Environnement 2003

Une machine frigorifique à air est schématisée ci-après



Elle est destinée à maintenir dans la chambre « froide » une température T_1 . La pression p est constante. Une masse de 1 kg d'air, prélevée dans la chambre « froide » à la température $T_A = T_1$ est comprimée adiabatiquement. L'air passe ensuite dans un échangeur plongé dans une pièce dite chambre « chaude » dont la température T_2 , supérieure à T_1 , est considérée comme constante. L'air est ensuite détendu adiabatiquement et renvoyé, à la température T_D , dans la chambre « froide » où il va se réchauffer jusqu'à la température T_1 considérée comme constante dans toute la chambre froide.

Cette masse de 1 kg d'air subit donc un cycle, passant successivement par les états A, B, C et D. Précisons que la pression de l'air dans l'échangeur est constante et que sa température en C est celle de la chambre « chaude ». Par ailleurs, le travail fourni par le fluide au cours de sa détente est intégralement utilisé par le compresseur. On considère que l'air se comporte comme un gaz parfait et que les transformations sont réversibles.

On donne les valeurs suivantes:

$$T_1 = 268 \text{ K,}$$

$$T_2 = 293 \text{ K,}$$

$$p_A = 1,0 \text{ bar,}$$

$$p_B = 2,0 \text{ bar}$$

Pour l'air :

$$c_p = 1,0 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1},$$

$$\gamma = 1,4$$

- Déterminer la constante massique r_{air} du gaz parfait pour 1 kg d'air.
- Vérifier que la température T_B de l'air après la compression adiabatique est égale à 327 K.
- Déterminer la température T_D de l'air après la détente adiabatique.
- Déterminer, pour un cycle et par kilogramme d'air, la quantité de chaleur Q_{cycle} reçue. En déduire le travail W_{cycle} reçu (toujours par cycle et par kilogramme d'air).
- Identifier la quantité de chaleur « utile » et calculer le coefficient e de performance de la machine, $e = Q_{\text{utile}} / W_{\text{cycle}}$.
- Quel est le débit d'air nécessaire pour que la machine ait une puissance frigorifique (quantité de chaleur prélevée chaque seconde à la source « froide ») de 1 kW ?

BTS Travaux publics 2004

Pompe à chaleur : Installation de chauffage.

Principe. La chaleur est pompée d'un corps froid et transmise à un corps chaud grâce à un compresseur d'air et à un détendeur. Ce cycle nécessite un apport extérieur d'énergie.

Une pompe à chaleur fonctionne avec deux sources

- une source froide constituée par une nappe souterraine ;
- le circuit de chauffage de l'installation qui constitue la source chaude.

Le fluide utilisé dans cette pompe à chaleur est de l'air assimilable à un gaz parfait de constante $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$, de capacité thermique molaire à pression constante $C_p = 29,1 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$. Le rapport γ des

capacités thermiques à pression constante C_p et à volume constant C_v est tel que $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$

L'air de la pompe à chaleur subit le cycle de transformations suivant :

Passage de l'état initial A à l'état B par une compression adiabatique réversible dans un compresseur.

État A : pression $p_A = 1,0 \times 10^5$ Pa volume V_A température $T_A = 298$ K.
 État B : pression $p_B = 2,2 \times 10^5$ Pa volume V_B température T_B .

Passage de l'état B à l'état C par une transformation isobare pendant laquelle l'air transfère à la source chaude une quantité de chaleur Q_C .

État C : pression $p_C = p_B$ température $T_C = 340$ K.

Passage de l'état C à l'état D par une détente adiabatique réversible.

État D : pression $p_D = p_A$ température T_D .

Passage de l'état D à l'état A par une transformation isobare pendant laquelle l'air reçoit de la source froide une quantité de chaleur Q_{DA} .

1. Détermination de la valeur des grandeurs dans chaque état
 On effectuera les calculs relatifs à une mole d'air ($n = 1$ mol) puis les résultats des calculs de volume, de pression et de température seront reportés dans le tableau de la feuille réponse.
 - 1.1. Calculer V_A .
 - 1.2. En déduire V_B .
 - 1.3. Calculer T_B .
 - 1.4. Calculer V_C .
 - 1.5. Calculer V_D .
 - 1.6. Vérifier alors que $T_D = 271$ K.
2. Détermination du cycle de Clapeyron
 - 2.1. Compléter le cycle de Clapeyron (p, V) sur la feuille réponse en y plaçant les points C et D.
 - 2.2. Préciser le sens de parcours du cycle.
3. On étudie le bilan thermique.
 - 3.1. Calculer les quantités de chaleur échangées Q_{BC} et Q_{DA} .
 - 3.2. Donner la valeur de la quantité de chaleur échangée lors d'une transformation adiabatique.
 - 3.3. En déduire le travail W échangé au cours de la totalité du cycle.
 - 3.4. On définit l'efficacité e de la pompe par le rapport suivant : $e = \frac{Q}{W}$ pour lequel Q est la quantité de chaleur transférée à la source chaude au cours d'un cycle décrit par l'air et W est le travail échangé par l'air au cours de ce même cycle.
 Calculer e et conclure.

Rappel.

- Pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique d'un état caractérisé par les grandeurs (p_A, V_A, T_A) à un état B caractérisé par les grandeurs (p_B, V_B, T_B), on peut écrire

$$p_A \cdot V_A^\gamma = p_B \cdot V_B^\gamma \quad \text{et} \quad T_A \cdot V_A^{\gamma-1} = T_B \cdot V_B^{\gamma-1}$$
- Pour un gaz parfait subissant une transformation isobare $Q = n \cdot C_p \cdot \Delta T$
- Lors d'un cycle de transformations d'un gaz parfait, $\Sigma Q + \Sigma W = 0$

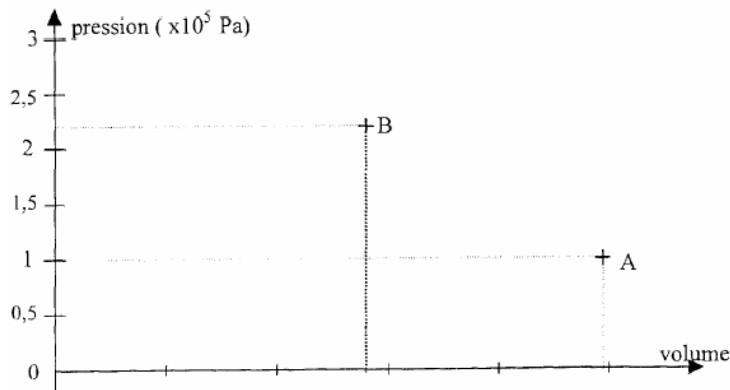
Feuille réponse à joindre à la copie

Tableau des valeurs des grandeurs pression, volume et température.

	Pression (Pa)	Volume (L)	Température (K)
État A	$p_A = 1 \times 10^5$	$V_A =$	$T_A = 298$
État B	$p_B = 2,2 \times 10^5$	$V_B =$	$T_B =$
État C	$p_C = p_B$	$V_C =$	$T_C = 340$

État D	$p_D = p_A$	$V_D =$	$T_D =$
--------	-------------	---------	---------

diagramme de Clapeyron



BTS Domotique 1991

A. On considère une baie vitrée de surface $S = 10 \text{ m}^2$, qui sépare un appartement où la température est $T_i = 20^\circ\text{C}$, de l'extérieur où la température est $T_o = -10^\circ\text{C}$.

On utilise un double vitrage constitué par un ensemble de 2 glaces de 5 mm d'épaisseur, séparées par une lame d'air de 12 mm.

- Calculer la quantité de chaleur Q , qui s'échappe par la baie vitrée en une heure.
 - Calculer la température de la face interne du vitrage.
 - Un hygromètre placé dans la pièce indique 46 % d'humidité relative, (h_r) quelle est la valeur du point de rosée. Se produit-il une condensation sur le vitrage ?
- B. On suppose que les seules pertes qui interviennent sont dues à la baie vitrée, on utilise pour maintenir la température ($T_i = 20^\circ\text{C}$) : une pompe à chaleur, dont le ventilo-évaporateur est situé à l'extérieur ($T_o = -10^\circ\text{C}$). On désigne par Q_c et Q_f les quantités de chaleur échangées avec les sources chaude et froide pendant une heure.
- Calculer $|Q_f/Q_c|$ en admettant un fonctionnement réversible.
 - On suppose que $|Q_c| = 3240 \text{ kJ}$, et que du fait de l'irréversibilité : $|Q_f/Q_c| = 0,39$ en déduire la consommation électrique de la pompe à chaleur pour 1 heure de fonctionnement.
 - Quelle aurait été la consommation d'électricité, si l'on avait utilisé un simple radiateur électrique.

Données

Conductivité thermique du verre :

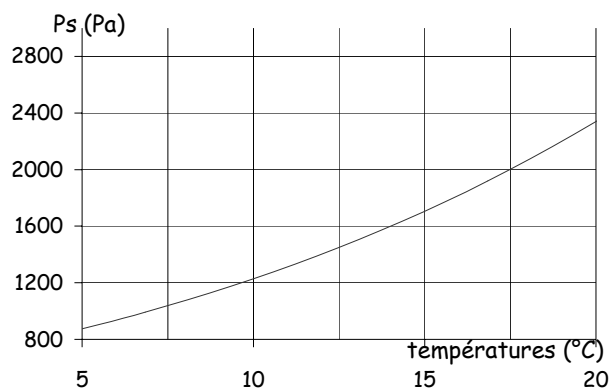
$$\lambda_v = 1,15 \text{ W m}^{-1} \text{ K}^{-1}$$

Résistance thermique de la lame d'air de 12 mm : $R_{\text{air}} = 0,16 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Résistance superficielle interne : $0,11 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Résistance superficielle externe : $0,06 \text{ m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$

Pression de vapeur saturante de l'eau (Pascal) : p_s



On rappelle que $h_r = \frac{\text{pression de vapeur saturante au point de rosée}}{\text{pression de vapeur saturante à la température ambiante}}$

BTS Domotique 1994

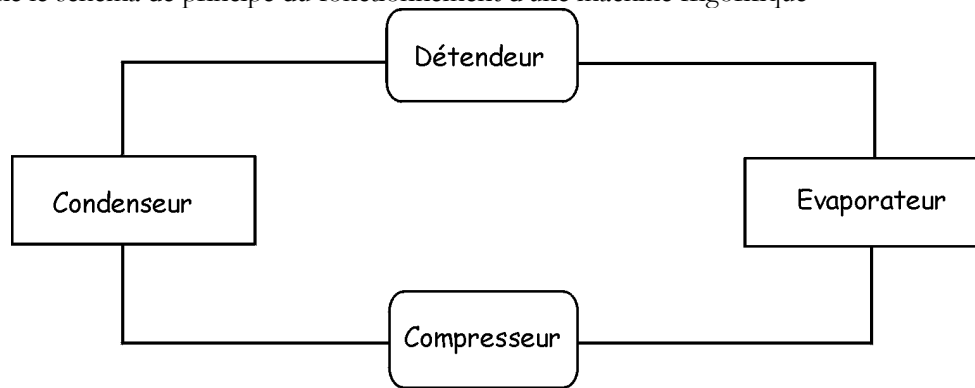
(Pour toute l'étude on supposera que l'on a un fonctionnement réversible).

Étude thermique

Les températures en Kelvin seront notées T et celle en $^\circ\text{C}$ seront notées θ .

Un réfrigérateur fonctionne à une température intérieure $\theta_2 = 4^\circ\text{C}$ dans une pièce à la température $\theta_1 = 19^\circ\text{C}$.

1. On donne le schéma de principe du fonctionnement d'une machine frigorifique



Placer sur ce schéma :

- 1.1. Le sens de parcours du fluide.
 - 1.2. Les chaleurs et travaux échangés par le fluide en précisant leur signe
 - 1.3. Exprimer son efficacité frigorifique e en fonction de T_1 et T_2 .
 - 1.4. Calculer la valeur numérique de e .
2. Un réfrigérateur est initialement ouvert dans une cuisine à la température $\theta_1 = 19^\circ\text{C}$. On le ferme, et sa température intérieure finale sera prise égale à $\theta_2 = 4^\circ\text{C}$.
- 2.1. Sachant que le compresseur possède une puissance P et que la capacité calorifique interne du réfrigérateur vaut C , montrer que l'équation différentielle liant la température T et le temps t mis pour l'atteindre s'écrit :

$$P \cdot dt = -C \cdot \left(\frac{T_1}{T} - 1 \right) \cdot dT$$

- 2.2. En déduire le temps t mis pour obtenir la température θ_2 à l'intérieur.
- 2.3. Calculer numériquement t avec $P = 400 \text{ W}$ et $C = 1,5 \times 10^7 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$
- 2.4. Peut-on, en été, refroidir une pièce en ouvrant un réfrigérateur? Justifier votre réponse

BTS Domotique 1999

Les questions 1., 2. et 3. peuvent être traitées indépendamment.

On admet la relation $T(\text{K}) = \theta(^{\circ}\text{C}) + 273$

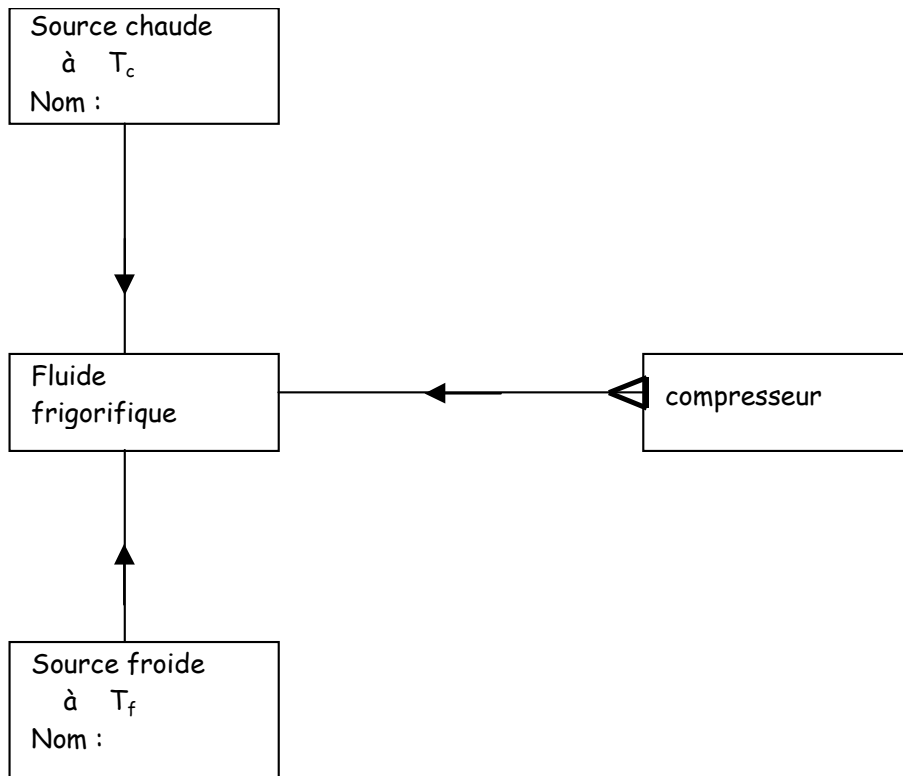
Une installation frigorifique comporte une chambre froide dont les produits sont maintenus à une température de -15°C , alors que la température extérieure est de 18°C . On ne s'intéressera qu'au régime permanent et on supposera que le groupe fonctionne de façon réversible suivant un cycle de Carnot.

On utilisera les indices « c » et « f » pour les quantités de chaleur se rapportant respectivement à la source chaude et à la source froide. Elles seront prises algébriquement et considérées comme positives si elles sont reçues par le fluide.

W et Q désigneront respectivement le travail et la quantité de chaleur échangés avec le fluide réfrigérant.

On donne en annexe un schéma qui doit être rendu, complété, avec votre copie.

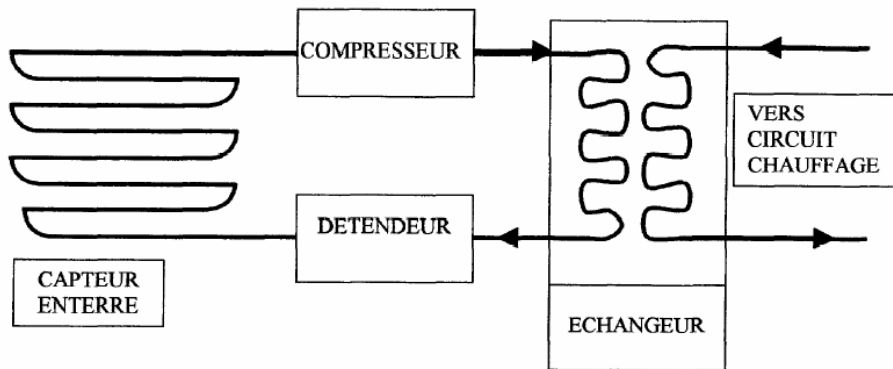
1. Sur ce schéma indiquer :
 - près des traits de liaison, les lettres W , Q_c et Q_f qui conviennent ;
 - le signe de W , Q_c , Q_f en précisant qui reçoit, qui fournit $|W|$, $|Q_c|$, ou $|Q_f|$
 - attribuer à chacune des sources de chaleur son nom : évaporateur ou condenseur.
 - 1.1. Calculer les pertes par conduction thermique à travers les parois de la chambre froide dont le coefficient de transmission thermique global est de $300 \text{ W} \cdot \text{K}^{-1}$.
 - 1.2. En déduire la quantité de chaleur $|Q_f|$ prise à la source froide en une heure.
2. On admettra que $|Q_f| = 36 \times 10^3 \text{ kJ/h}$. Sachant que toutes les transformations sont considérées comme réversible, en appliquant l'égalité de Clausius relative à un cycle de Carnot, calculer la quantité de chaleur Q_c échangée avec la source chaude en une heure.
3. Appliquer le premier principe et en déduire la puissance minimale qui doit être fournie par le compresseur pour maintenir constante la température de la chambre froide.
4. Calculer l'efficacité théorique ε du groupe frigorifique. L'efficacité réelle est assez inférieure. Pourquoi ?



BTS domotique 2003

Utilisation d'une pompe à chaleur (PAC) pour le chauffage individuel

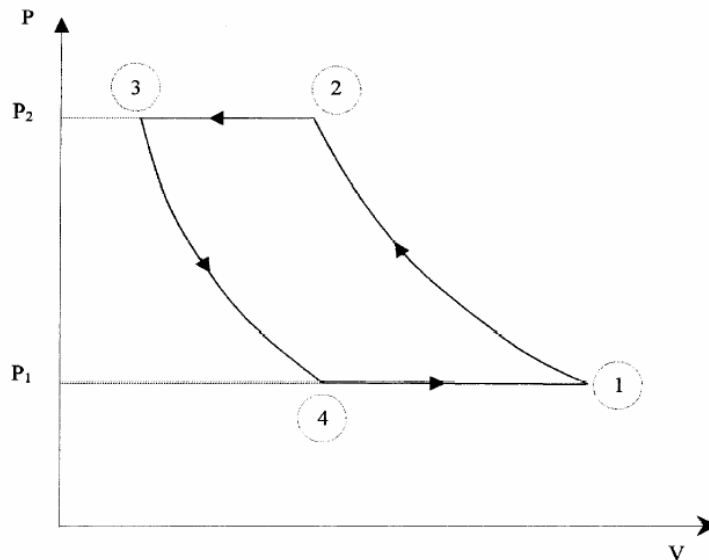
On réalise un chauffage individuel à l'aide d'une PAC. L'installation schématisée ci-dessous comporte un compresseur, un détendeur et deux serpentins qui sont les sièges des échanges thermiques.



La température du sous-sol est de 10°C.

Le fluide caloporteur est de l'air, assimilé à un gaz parfait

On étudie les transformations réversibles de 1 kg d'air décrivant le cycle suivant :



Description du cycle

1-2 Dans le compresseur, la compression est adiabatique et la pression passe de $p_1 = 4 \times 10^5$ Pa à $p_2 = 15 \times 10^5$ Pa. La température, quant à elle passe de $T_1 = 283$ K à T_2 .

2-3 Dans le serpentin, au contact du circuit de chauffage, le refroidissement est isobare et la température passe de T_2 à $T_3 = 323$ K.

3-4 Dans le détendeur, la détente est adiabatique, la pression passant de $p_3 = p_2$ à $p_4 = p_1$, la température passant de T_3 à T_4 .

4-1 Dans le serpentin enterré dans le sous-sol, le réchauffement est isobare, la température augmentant jusqu'à la température T_1 .

On donne:

constante des gaz parfaits $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

capacité thermique massique de l'air à pression constante: $c_p = 1,0 \times 10^3 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

rapport des capacités thermiques massiques de l'air, à pression constante et à volume constant: $\gamma = \frac{c_p}{c_v} = 1,40$

relation des gaz parfaits : $p \cdot V = n \cdot R \cdot T$

On rappelle que lors d'une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait, les relations liant les trois paramètres pression p , température T et volume v sont

$$p \cdot v^\gamma = \text{constante}$$

$$p^{1-\gamma} \cdot T^\gamma = \text{constante}$$

$$v^{\gamma-1} \cdot T = \text{constante}$$

On rappelle que la quantité de chaleur échangée pour un fluide passant de la température T_1 à la température T_2 au cours d'une transformation isobare est donnée par la relation $Q_p = m c_p (T_2 - T_1)$.

On rappelle que l'efficacité théorique d'une machine théorique est $e = \left| \frac{Q_C}{W} \right|$ ou $\left| \frac{Q_F}{W} \right|$ selon la machine.

1. Montrer que $T_2 = 413$ K et que $T_4 = 221$ K
2. Calculer les quantités de chaleur Q_{12} , Q_{23} , Q_{34} et Q_{41} , échangées par une masse d'air de 1 kg au cours de chacune des transformations.
3. Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un cycle.
En déduire le travail W reçu par la masse de 1 kilogramme d'air au cours du cycle.
4. On désigne par e l'efficacité théorique de la pompe à chaleur au cours du cycle.
 - 4.1. Calculer e
 - 4.2. Sachant que les pertes moyennes thermiques de la maison sont de 13 kW, et que la puissance utile du compresseur est de 10 kW, calculer le temps de fonctionnement de la pompe au cours d'une journée.

BTS Domotique 2004

Dans une machine frigorifique dont le schéma de principe est donné Figure 1, une masse m de fluide frigorigène subit le cycle de transformations successives suivant le diagramme Figure 2 (les échelles n'ont pas été respectées)

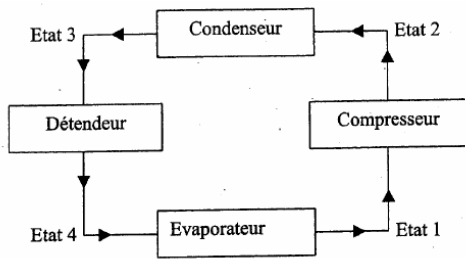


Figure 1

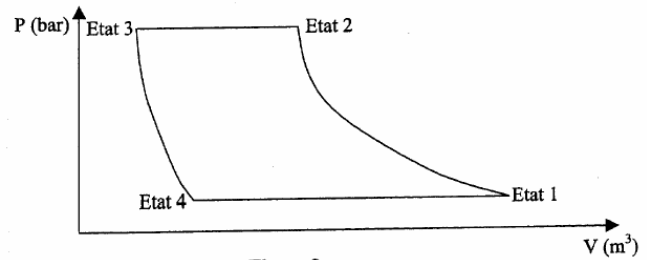


Figure 2

- Le compresseur amène la vapeur saturée sèche de l'état 1 ($\theta_1 = -10^\circ\text{C}$, $p_1 = 3,5 \text{ bar}$) à l'état 2 ($\theta_2 = 40^\circ\text{C}$, $p_2 = 9,1 \text{ bar}$) selon une compression isentropique.
- Le condenseur permet à la vapeur d'atteindre la température de changement d'état puis de se liquéfier totalement (état 3) selon un refroidissement isobare.
- Le détendeur permet au fluide d'atteindre l'état 4 ($p_4 = p_1$ et $\theta_4 = \theta_1$) ; au cours de cette transformation on considère que le fluide n'échange ni chaleur ni travail avec le milieu extérieur, et on admet que son enthalpie reste constante.
- Le vaporisateur permet au fluide de revenir à son état initial (état 1).

Données:

- Enthalpies massiques dans les différents états

$$h_1 = 401 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad h_2 = 428 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \quad h_3 = h_4 = 224 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

- Chaleur latente de vaporisation du fluide dans le condenseur : $L_v = 188 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- Chaleur massique (ou capacité calorifique massique) de la vapeur à pression constante $c_p = 0,800 \text{ kJ} \cdot (\text{kg} \cdot \text{K})^{-1}$
- On rappelle que pour une transformation isobare $\Delta h = q$.

1. Calculer la quantité de chaleur Q_E échangée par 1 kg de fluide au niveau de l'évaporateur.
2.
 - 2.1. Calculer la quantité de chaleur Q_C échangée par 1 kg de fluide au niveau du condenseur.
 - 2.2. La température du changement d'état dans le condenseur est notée θ . Détailler les échanges thermiques entre les états 2 et 3. En déduire l'expression littérale de Q_C en fonction de c_p , θ , θ_2 et L_v .
 - 2.3. Calculer la valeur de θ .
3.
 - 3.1. En utilisant le premier principe de la thermodynamique, montrer que le travail reçu par 1 kg de fluide au cours du cycle est $w = h_2 - h_1$.
 - 3.2. Déterminer le coefficient d'efficacité frigorifique e du cycle.
 - 3.3. Le travail reçu par le fluide est fourni par le compresseur. Déterminer la puissance du compresseur sachant que le débit massique du fluide est $q_m = 0,10 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$.

BTS Industries Céréalières 2001

On considère un surgélateur industriel en continu qui permet d'obtenir des baguettes crues surgelées. Ce surgélateur peut se modéliser par une machine de Carnot, c'est à dire que la machine peut échanger de la chaleur avec S_C la source chaude à la température $\theta_C = 20^\circ\text{C}$ et avec la source froide S_F à la température $\theta_F = -25^\circ\text{C}$. Le débit massique en pâte vaut $D = 15 \text{ kg} \cdot \text{min}^{-1}$. On appellera P_C la puissance thermique échangée entre la machine et la source chaude. On appellera P_F la puissance thermique échangée entre la machine et la source froide. On appellera P_{elec} la puissance électrique reçue par la machine thermique. On notera η le coefficient d'efficacité (ou de performance) de cette machine.

1. Exprimer le coefficient d'efficacité (ou de performance) en fonction de P_F et de P_{elec} . En déduire l'expression de η en fonction de θ_C et de θ_F . Calculer numériquement η .

Les baguettes, lors de leur surgélation, subissent deux transformations :

Etat fluide de capacité thermique massique $c_F = 2,67 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$		solidification		Etat solide de capacité thermique massique $c_S = 1,67 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	
		chaleur latente $L_S = -125,4 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$			
$\theta_C = 20^\circ\text{C}$	→	$\theta_1 = -3^\circ\text{C}$	→	$\theta_1 = -3^\circ\text{C}$	→ $\theta_F = -25^\circ\text{C}$

2. Calculer la puissance thermique à retirer à la pâte.
3. En déduire la puissance électrique consommée par la machine thermique.

BTS Industries céréalières 2002

On souhaite installer le chauffage d'un bâtiment industriel. Deux solutions sont possibles : le chauffage par radiateurs électriques ou par pompe à chaleur.

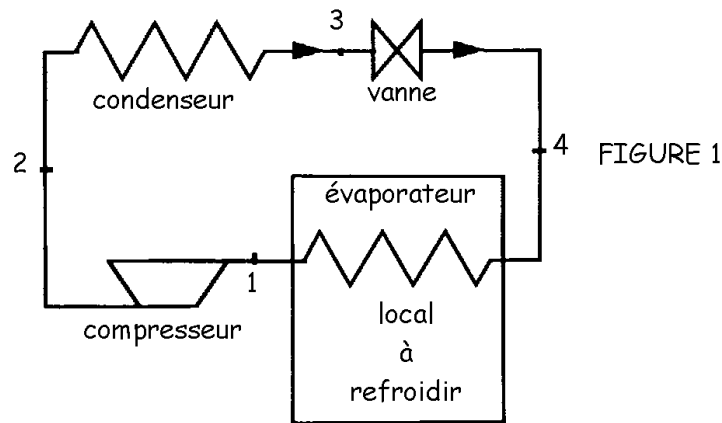
1. Expliquer le principe de fonctionnement d'une pompe à chaleur (un schéma est le bienvenu). Faire un schéma pour illustrer le principe.
2. La pompe à chaleur fonctionne en prenant comme source froide une rivière de température $\theta_f = 10^\circ\text{C}$. La source chaude est constituée par l'intérieur du bâtiment de température $\theta_c = 18^\circ\text{C}$.
 - 2.1. Comment définir le coefficient d'efficacité η ?
 - 2.2. Exprimer η en fonction de θ_c et de θ_f .
 - 2.3. Calculer numériquement η
3. Le bâtiment étant mal isolé, on estime la perte d'énergie à 55 kJ par seconde.
 - 3.1. Que vaut la puissance P_C (puissance échangée entre la pompe à chaleur et la source chaude).
 - 3.2. Dédire de ce qui précède la puissance électrique consommée par la pompe à chaleur.
 - 3.3. Quelle serait la puissance électrique consommée si on chauffait le bâtiment avec des radiateurs ?

Quelle est alors votre conclusion sur le choix du mode de chauffage ?

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1991

On réalise une machine frigorifique dont le fluide frigorifique est le fréon.

Le schéma de cette machine est le suivant :



Le diagramme enthalpie - pression du fréon est représenté sur le document qui est fourni en double exemplaire. L'un d'eux (document 1) sera utilisé par le candidat pour ses essais et l'autre (document 2) sera remis avec la copie (attention au changement d'échelle en abscisse).

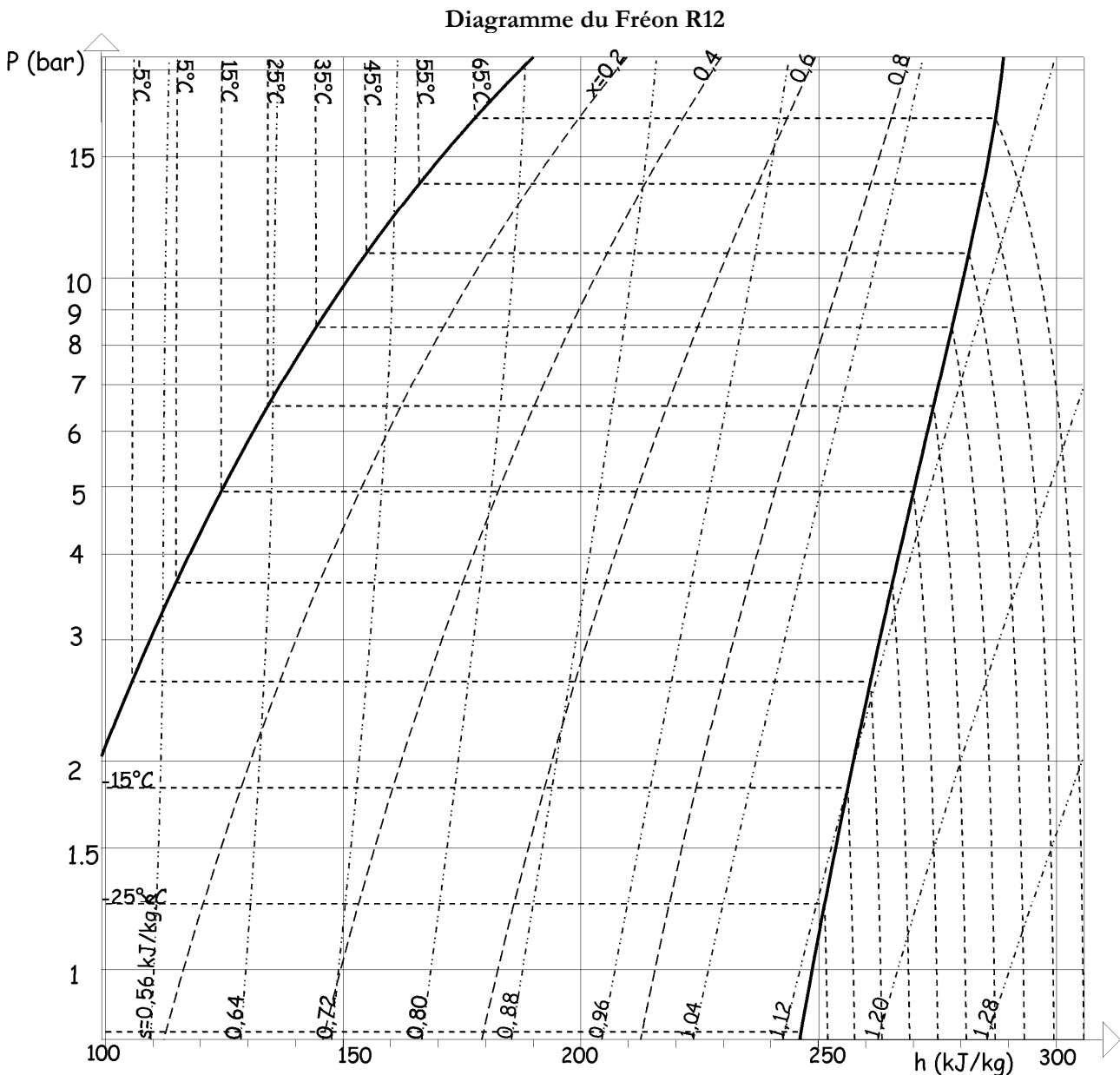
I La vapeur saturante sèche est comprimée isentropiquement de 2,4 bars à 8 bars dans le compresseur (trajet 1-2 sur le schéma ci-dessus).

Elle subit une transformation isobare dans le condenseur jusqu'à liquéfaction totale (trajet 2-3), puis une détente isenthalpique de 8 à 2,4 bars par laminage dans la vanne (trajet 3-4), et enfin une transformation isobare dans l'évaporateur du local à refroidir (trajet 4-1).

1. Quelles sont les indications fournies par le diagramme enthalpie - pression du fréon ?
Tracer le cycle des transformations 1-2-3-4-1 sur ce diagramme (utiliser des couleurs).
2. Calculer la variation de l'enthalpie massique du fluide au cours de l'évaporation.
En déduire la quantité de chaleur retirée au local à refroidir par unité de masse de fluide.
3. Calculer la variation d'enthalpie massique du fluide au cours de la compression.
En déduire le travail massique de compression.
4. Calculer l'efficacité de ce cycle.
Etablir l'efficacité théorique d'une machine frigorifique réversible fonctionnant entre les mêmes températures (T_3 et T_4).
5. La production frigorifique à l'évaporateur étant de 120 000 kJ par heure (soit 120 000 kJ retirés au local à refroidir)
Calculer le débit du fréon. Quelle est la puissance mécanique de l'installation?

II - Pour améliorer les performances de la machine frigorifique fonctionnant entre les mêmes pressions, on réalise un "sous-refroidissement" isobare 3-3' du liquide avant la détente. La température du liquide est alors abaissée à 18°C.

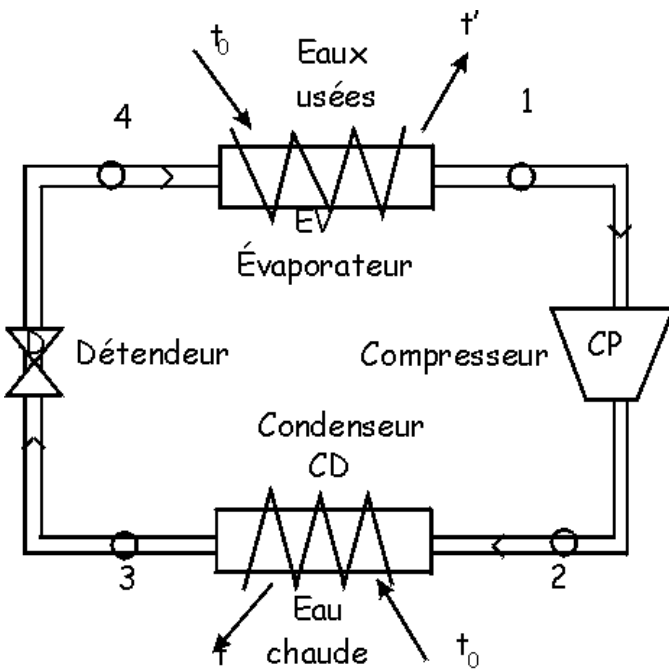
- Placer le point 3' sur le diagramme enthalpie - pression. Après la détente isenthalpique le fluide est à l'état 4'. Placer ce point sur le diagramme.
Sur le diagramme enthalpie - pression du fréon tracer (en couleurs) le cycle des transformations de la nouvelle machine.
On maintient le même débit de 1 000 kg/h.
- Calculer la nouvelle production frigorifique.
Comparer cette installation à la précédente (production frigorifique, efficacité, puissance).



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1995

Ce problème propose l'étude d'une pompe à chaleur alimentant partiellement le circuit d'eau chaude d'une maison à partir de l'énergie thermique extraite des eaux usées.

Un kilogramme du fluide utilisé dans la pompe décrit le cycle représenté sur la figure ci-dessous et sera considéré, en phase vapeur, comme un gaz parfait.



Le fluide est totalement vaporisé à la sortie de l'évaporateur *EV* (point 1) à la température T_1 et la pression p_1 (pression de l'équilibre liquide - vapeur du fluide à cette température).

Il pénètre dans le compresseur *CP* où il subit une compression isentropique. Il en sort à l'état de vapeur sèche, à la pression p_2 et la température T_2 (point 2).

Dans le condenseur *CD* il subit un refroidissement isobare jusqu'à la température T_2 , température de l'équilibre liquide - vapeur du fluide à la pression p_2 , puis une liquéfaction totale (point 3).

Dans le détendeur *D* il est détendu jusqu'à la pression p_1 de manière isenthalpique et partiellement vaporisé. Il subit alors une vaporisation complète dans l'évaporateur à pression constante p_1 .

Description du cycle

La chaleur reçue par le fluide dans l'évaporateur provient d'un circuit d'eaux usées alors que dans le condenseur, le fluide cède de la chaleur au circuit d'eau chaude de la maison.

Données numériques

- $T_1 = 273 \text{ K}$; $T_2 = 305 \text{ K}$, $p_1 = 5 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ $p_2 = 12,6 \cdot 10^5 \text{ Pa}$
- chaleurs latentes de vaporisation du fluide
- $L_1 (T_1) = 206,0 \text{ kJ /kg}$; $L_2 (T_2) = 184,7 \text{ kJ /kg}$;
- constante des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- masse molaire du fluide : $M = 86,5 \text{ g}$;
- rapport des chaleurs massiques $\gamma = C_p / C_v = 1,177$
- chaleur massique du fluide liquide le long de la courbe de saturation : $c = 1,318 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

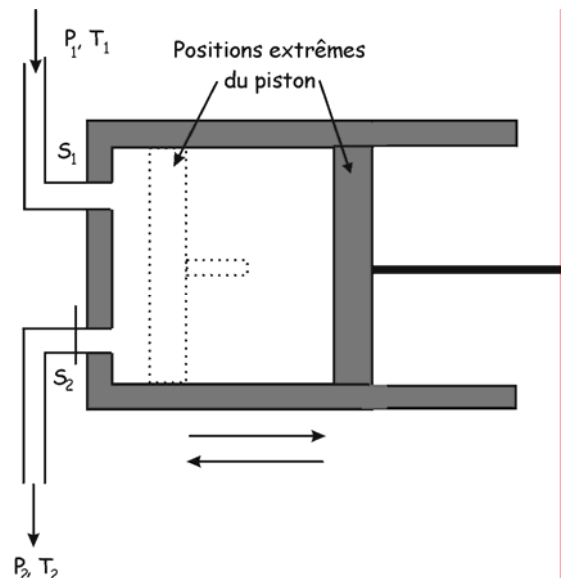
I Etude préliminaire

Représenter qualitativement dans un diagramme entropique (T, S) la courbe de saturation et les points représentatifs de l'état du fluide au cours du cycle (points 1 à 4 et point intermédiaire intéressant).

II - Etude du compresseur

Le compresseur est schématisé ci-contre. La compression s'y déroule en trois étapes :

- Le volume interne du compresseur est initialement nul, la soupape d'admission S_1 ouverte et la soupape de refoulement S_2 fermée. On aspire, à p_1 et T_1 constants un kilogramme de fluide vapeur qui occupe alors un volume V_1 .
 - Les deux soupapes sont fermées, on comprime cette vapeur de façon adiabatique jusqu'à la pression p_2 et la température T_2 , la vapeur occupant alors un volume V_2 .
 - S_2 est ouverte et S_1 fermée. On refoule la vapeur à p_2 et T_2 constants. Le piston revient à sa position initiale.
1. Représenter les trois phases du fonctionnement du compresseur dans un diagramme donnant la pression p en fonction du volume interne V du compresseur.
 2. Vérifier que la constante massique r du fluide vaut $r = 96,2 \text{ J kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
 3. Après avoir établi l'expression du travail échangé entre le fluide et le piston au cours de chaque étape, déterminer celle du travail total W_{tot} valeur massique en fonction de r, γ, T_1 et T_2 .



4. Déterminer l'expression littérale de T_2 en fonction de γ , T_1 , p_1 et p_2 puis celle de W_{tot} en fonction de γ , r , T_1 , p_1 , et p_2 .
Calculer les valeurs de T_2 et W_{tot}

III - Etude du condenseur

Déterminer littéralement et numériquement la chaleur q échangée par l'unité de masse du fluide avec le circuit d'eau chaude (on prendra $T_2 = 314$ K).

IV - Etude du détendeur

Déterminer littéralement et numériquement la fraction massique x de fluide vaporisé à la sortie du détendeur en fonction de c , T_1 , T_2 , L_1

V - Etude de l'évaporateur

En considérant l'évaporateur parfaitement calorifugé, déterminer la chaleur q' échangée par l'unité de masse du fluide avec le circuit d'eaux usées

Faire l'application sachant que $x = 0,205$.

VI - Efficacité

Déterminer l'expression littérale de l'efficacité de cette pompe à chaleur.

Justifier et calculer sa valeur numérique.

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1997

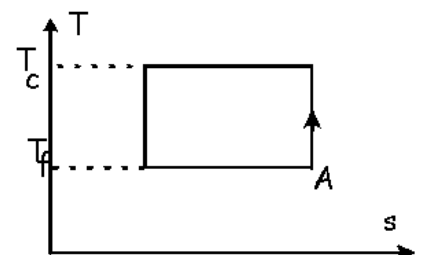
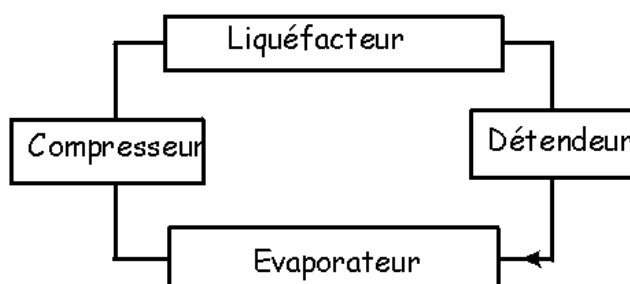
Pour chauffer l'eau, on a choisi d'installer une pompe à chaleur dont le schéma est donné en annexe 3.

Le fluide, du fréon, est à l'état de vapeur à la sortie de l'évaporateur (point A). Il est comprimé dans le compresseur, se condense dans le liquéfacteur, est détendu dans un détendeur où il se vaporise partiellement, puis termine de se vaporiser dans l'évaporateur pour revenir à l'état A . Ce cycle de transformations est représenté sur le diagramme (T, s) en annexe 4 page 6.

1. Quelle partie du dispositif doit-on placer à l'extérieur (source froide à $T_f = -5^\circ\text{C}$), et quelle partie doit-on placer en contact avec le circuit d'eau des radiateurs (source chaude à $T_c = +70^\circ\text{C}$) pour obtenir le chauffage de l'eau ?
2. La pompe à chaleur est supposée en fonctionnement réversible. Montrer que l'efficacité thermique théorique est $e_{th} = \frac{1}{1 - \frac{T_f}{T_c}}$ en écrivant les bilans énergétique et entropique pour l'unité de masse de fréon au cours du cycle de transformations qu'il subit.
3. Calculer la quantité de chaleur fournie en 1 heure par cette pompe à chaleur si le compresseur a une puissance de 5000 W et si la pompe a une efficacité réelle égale au tiers de l'efficacité théorique.
4. Calculer le coût d'une heure de fonctionnement sachant qu'EDF facture le kilowatt – heure à 0,70 F. T.T.C.

Annexe 3 : Pompe à chaleur

Annexe 4 : diagramme (T, s)



BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1998

Système de réfrigération à compression étagée

Pour améliorer la performance d'un système de réfrigération fonctionnant sur une vaste gamme de température, on utilise le principe de la compression étagée.

Un système de réfrigération idéal fonctionnant sur ce principe est décrit sur la figure ci-jointe page 3

Le diagramme représentant la pression p du fluide frigorigène utilisé en fonction de son enthalpie massique h est joint au sujet.

Description du système

- **point 1** : Le fluide frigorigène sort du condenseur à l'état de liquide saturé à $\theta_1 = +38^\circ\text{C}$ et $p_1 = 10$ bar.
- **du point 1 au point 2** : Le fluide est détendu par étranglement dans le détendeur (a) jusqu'à la température $\theta_2 = -20^\circ\text{C}$.

- **du point 2 aux points 3 et 3'** : Dans le séparateur, à -20°C , le liquide est séparé de la vapeur.
- **du point 3 au point 4** : Le liquide est ensuite détendu dans le détendeur (b) jusqu'à la température de l'évaporateur $\theta_4 = -60^{\circ}\text{C}$.
- **du point 4 au point 5** : Le fluide traverse l'évaporateur et sort au point 5 à l'état de vapeur saturée.
- **du point 5 au point 6** : La vapeur sortant de l'évaporateur à $\theta_5 = -60^{\circ}\text{C}$ est comprimée dans le compresseur (a) jusqu'à la pression commune aux points 2 ; 3 ; 3'.
- **aux points 6 ; 3' ; 7** : Cette vapeur (point 6) est ensuite mélangée avec la vapeur (point 3') sortant du séparateur.
- **du point 7 au point 8** : L'ensemble est comprimé dans le compresseur (b) jusqu'à la pression $p_8 = 10 \text{ bar}$.

Hypothèses

- **Les deux compresseurs, les deux détendeurs, le séparateur, le mélangeur, les canalisations sont tous supposés parfaitement calorifugés.**
- **Les pertes de charge dans l'installation sont négligeables.**
- **Les transformations du fluide dans les compresseurs sont supposées isentropiques.**
- **Les détenteurs dans les détendeurs sont isenthalpiques**

QUESTIONS

1. Etude du détendeur (a) : Transformation 1 \rightarrow 2

- 1.1. Placer le point 1 sur le diagramme du fluide frigorigène utilisé (page 4) En déduire l'enthalpie massique h_1 du fluide.
- 1.2. En appliquant le premier principe de la thermodynamique au détendeur, déterminer la valeur de l'enthalpie massique h_2 du fluide au point 2.
Placer le point 2 sur le diagramme et relever les valeurs de la pression p_2 et la fraction massique de gaz x_2 au point 2.

2. Etude du séparateur : points 2 ; 3 ; 3'.

Placer sur le diagramme les points 3 et 3'

Relever les valeurs des enthalpies massiques h_3 et $h_{3'}$.

3. Etude du détendeur (b) : Transformation 3 \rightarrow 4

- 3.1. A l'aide du premier principe, déterminer la valeur de l'enthalpie massique du fluide h_4 au point 4.
- 3.2. Placer le point 4 sur le diagramme et en déduire par lecture la valeur de la fraction massique de gaz x_4 au point 4.

4. Etude de l'évaporateur : Transformation 4 \rightarrow 5

- 4.1. Placer le point 5 sur le diagramme et en déduire la valeur de l'enthalpie massique du fluide h_5 au point 5.
- 4.2. En appliquant le premier principe à l'évaporateur, déterminer la valeur de la chaleur massique échangée par le fluide, q_{45} .

5. Etude du compresseur (a) : Transformation 5 \rightarrow 6

- 5.1. Placer le point 6 sur le diagramme et en déduire la valeur de l'enthalpie massique du fluide h_6 au point 6.
- 5.2. A l'aide du premier principe, déterminer la valeur du travail massique w_{56} échangé par le fluide à la traversée du compresseur (a).

6. Etude du compresseur (b) : Transformation 7 \rightarrow 8.

On prendra pour la suite $h_7 = 396 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ et $t_7 = -8^{\circ}\text{C}$ (h_7 et t_7 enthalpie massique et température correspondantes au point 7)

- 6.1. Placer les points 7 et 8 sur le diagramme et en déduire la valeur de l'enthalpie massique h_8 du fluide au point 8.
- 6.2. En appliquant le premier principe de la thermodynamique, déterminer w_{78} travail massique échangé par le fluide, lors de cette transformation.

7. Etude du condenseur : Transformation 8 \rightarrow 1.

En appliquant le premier principe, déterminer la chaleur massique échangée par le fluide q_{81} .

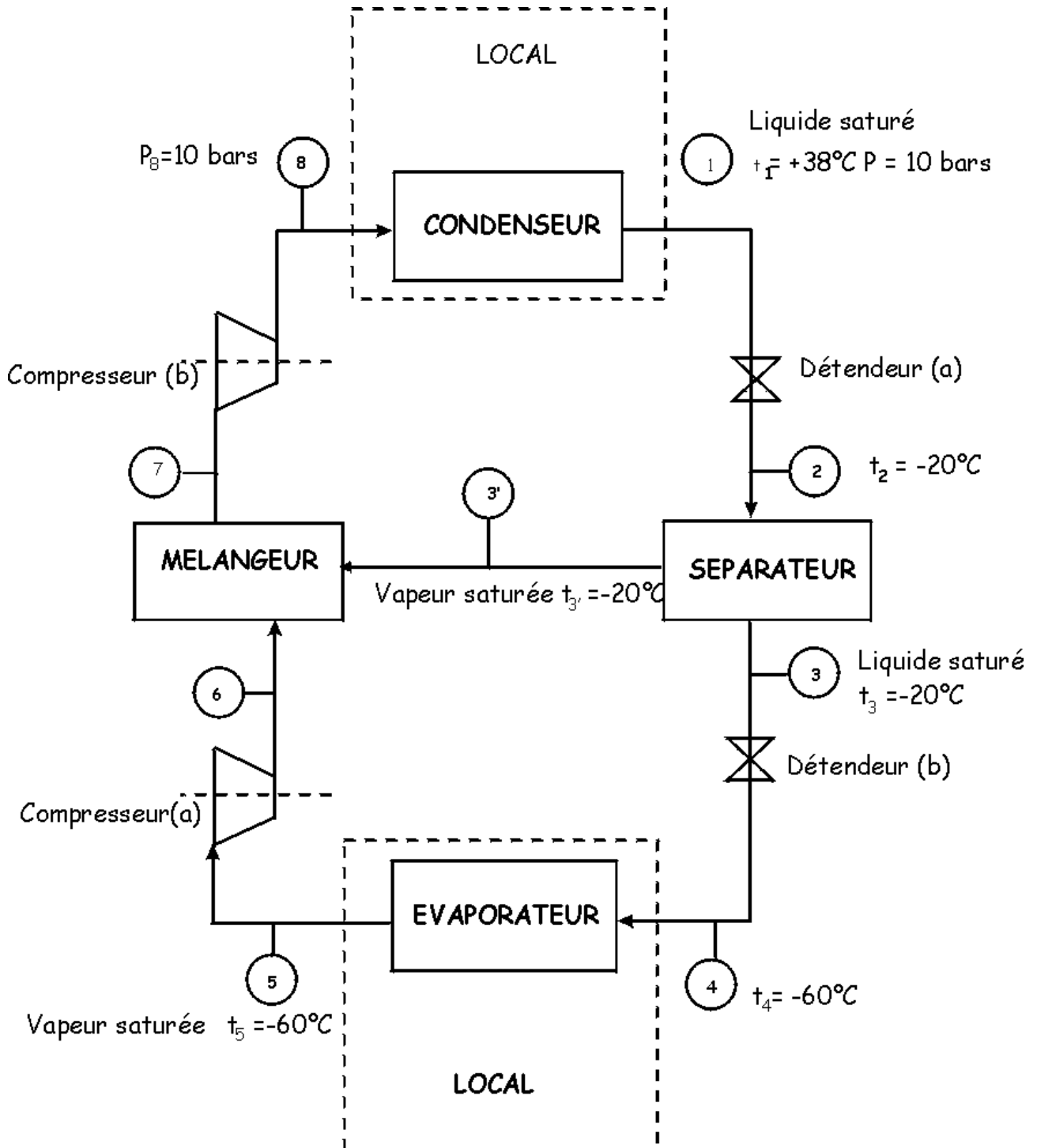
8. Bilan énergétique de l'installation

- 8.1. Pour 1 kg de fluide arrivant au séparateur, calculer le travail total reçu par le fluide au cours d'un cycle. (Attention ! Seulement une partie du fluide traverse le compresseur (a).)
- 8.2. Sachant que le but de l'installation est de refroidir un local, donner la définition de l'efficacité de l'installation encore appelée coefficient de performance $COP_{\text{réel}}$, puis la calculer.
- 8.3. Système de réfrigération fonctionnant suivant le cycle de Carnot :

Calculer l'efficacité d'un système de réfrigération idéal fonctionnant suivant le cycle de Carnot (COP_{Carnot}) entre les mêmes températures extrêmes $+38^\circ\text{C}$ et -60°C .

En déduire le rendement de l'installation défini ci-après : $\eta = \frac{COP_{réel}}{COP_{Carnot}}$

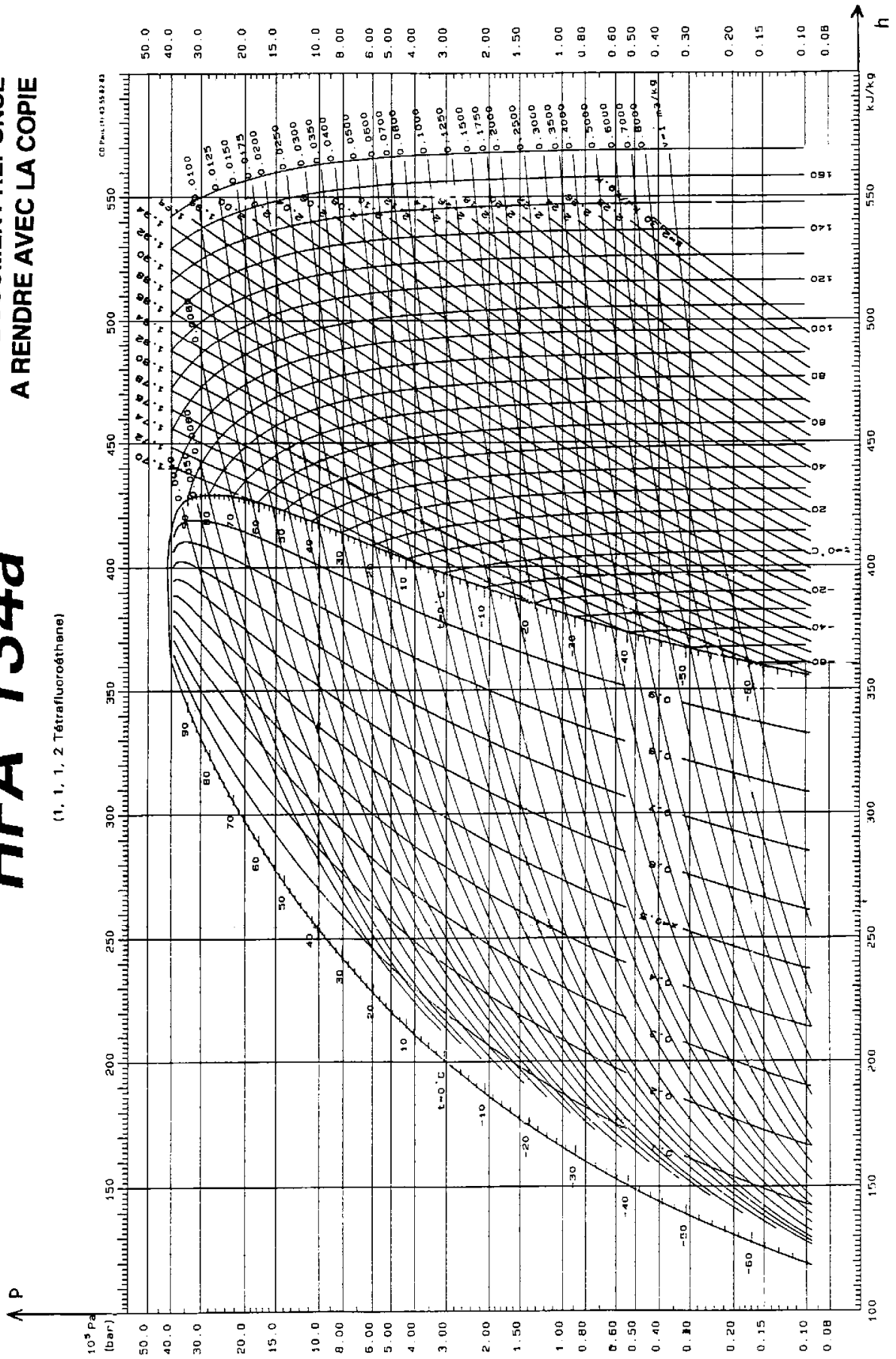
Commenter le résultat.



HFA 134a

DOCUMENT REPONSE
A RENDRE AVEC LA COPIE

(1, 1, 1, 2 Tétrafluoroéthane)

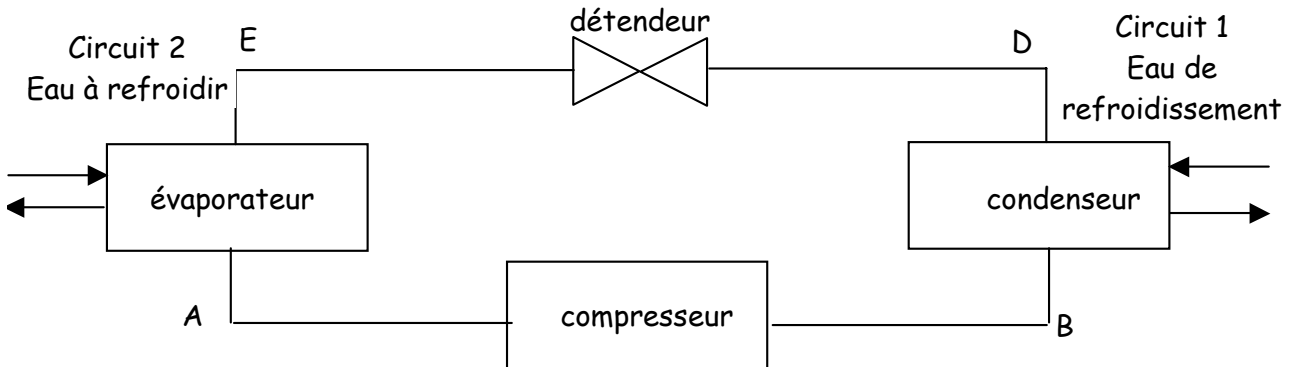


Enthalpie massique

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2003.**ÉTUDE D'UN GROUPE FRIGORIFIQUE**

La réaction chimique de polymérisation permettant la synthèse industrielle du polychlorure de vinyle (PVC) est une réaction exothermique. Pour contrôler la température du milieu réactionnel, on utilise un circuit d'eau refroidie par le groupe frigorifique que l'on se propose d'étudier.

Dans ce groupe frigorifique, un fluide frigorigène (ici le fréon 22), décrit le cycle fermé de transformations suivant et schématisé sur la figure ci-dessous.



- Dans le compresseur, le fréon initialement dans l'état A sous forme de vapeur saturée (ou saturante sèche), subit une compression adiabatique irréversible jusqu'à l'état B. ($p_B = 10 \text{ bar}$ $h_B = 450 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$).
- Dans le condenseur, la transformation est isobare. Le fréon est d'abord refroidi (jusqu'à l'état C) puis complètement liquéfié jusqu'à l'état de liquide saturant (état D). Le condenseur est un condenseur à eau. l'énergie est prise au fréon par l'eau du circuit de refroidissement (circuit 1 sur la figure).
- Dans le détendeur, le fréon subit une détente isenthalpique (jusqu'à l'état E).
- Dans l'évaporateur, il termine sa vaporisation lors d'une transformation isobare (retour à l'état A). L'échange thermique correspondant est effectué avec l'eau du circuit 2.

Données

$$p_A = 5,5 \text{ bar}, p_B = 10 \text{ bar}, h_B = 450 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$$

Puissance absorbée sur l'arbre du compresseur $P_c = 1\,000 \text{ kW}$.

Capacité thermique massique de l'eau $c = 4\,185 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Masse volumique de l'eau: $1\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Les questions 2, 3, 4 et 5 peuvent être traitées indépendamment l'une de l'autre.

1. Questions préliminaires.
 - 1.1. Placer sur le diagramme enthalpique joint en *annexe 1* (à rendre avec la copie) les points A, B, C, D, et E. En déduire les valeurs numériques des enthalpies massiques h_A, h_C, h_D , et h_E correspondantes.
 - 1.2. Sous quels état(s) physique(s) le fréon se trouve-t-il à la sortie du compresseur ? à la sortie du détendeur ? En utilisant le diagramme déterminer les proportions massiques des états physiques éventuellement coexistants.
2. Étude du compresseur.
 - 2.1. Calculer le travail mécanique (technique) w_C échangé par unité de masse de fréon lors de sa compression.
 - 2.2. Calculer le débit massique.
3. Étude du condenseur.
 - 3.1. Calculer la quantité de chaleur q_{BC} cédée par unité de masse de fréon lors de son refroidissement dans le condenseur. Lire sur le diagramme enthalpique la valeur de la température d'entrée θ_B et la valeur de la température de fin de refroidissement θ_C .
En déduire une valeur numérique de la capacité thermique massique du fréon gazeux, en admettant qu'il se comporte comme un gaz parfait.
 - 3.2. Déterminer la valeur de la chaleur latente de vaporisation L_v du fréon sous 10 bar.
4. Étude de l'évaporateur.
 - 4.1. Calculer la quantité de chaleur q_{EA} échangée par unité de masse de fréon dans l'évaporateur.
 - 4.2. L'eau du circuit à refroidir subit une baisse de température de $5,7 \text{ }^\circ\text{C}$ lorsque son débit est de 600 m^3 par heure. En déduire la valeur du débit massique du fréon dans l'évaporateur.
5. Étude de l'efficacité thermique de l'installation.

Établir l'expression de l'efficacité thermique ϵ de l'installation puis calculer sa valeur numérique

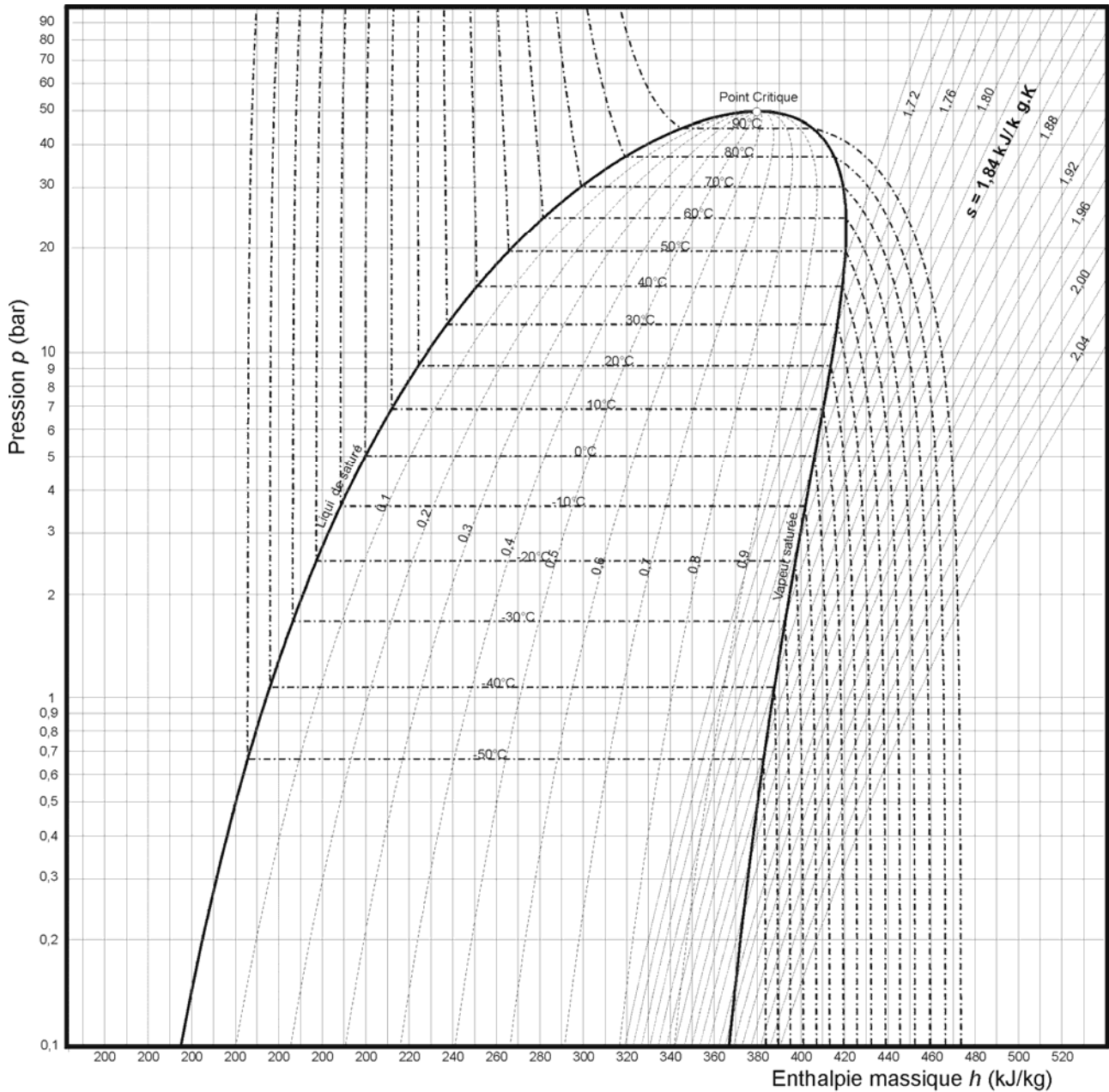
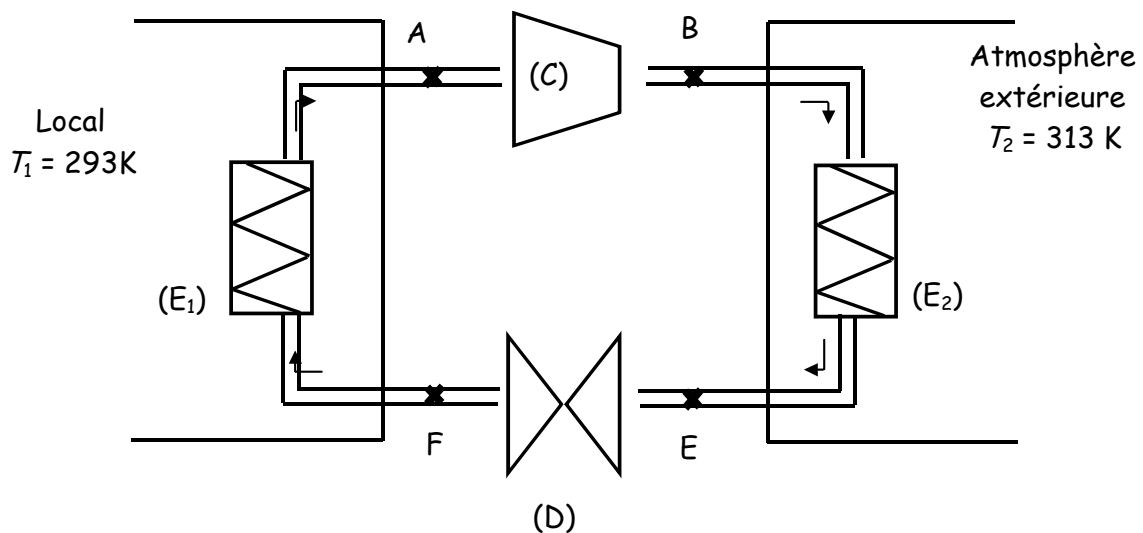


Diagramme du Fréon R22

BTS Chimiste 2001

Dans un local fermé, on souhaite maintenir une température $T_1 = 293$ K tandis que l'air extérieur est à la température $T_2 = 313$ K.

Pour cela, on considère une machine frigorifique dont le schéma de principe est représenté ci-après



Le fluide qui décrit le cycle est de l'hélium, assimilé à un gaz parfait pour lequel $\gamma = \frac{5}{3}$, la capacité thermique massique à pression constante $c_p = 5260 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ et la masse molaire $M = 4,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

Le fluide traverse successivement

- un compresseur (C) où le fluide subit une compression adiabatique réversible qui l'amène de A (T_1, p_1) à l'état B (T_3, p_2).
- un échangeur (E_2) où la quantité de chaleur échangée entre le fluide et la source chaude est Q_2 , ce qui amène le fluide dans l'état E (T_2, p_2).
- une vanne de détente (D) où le fluide subit une détente adiabatique réversible qui l'amène dans l'état F (T_4, p_1).
- un échangeur (E_1) où la quantité de chaleur échangée entre le fluide et la source froide est Q_1 ce qui ramène le fluide dans l'état initial A (T_1, p_1).

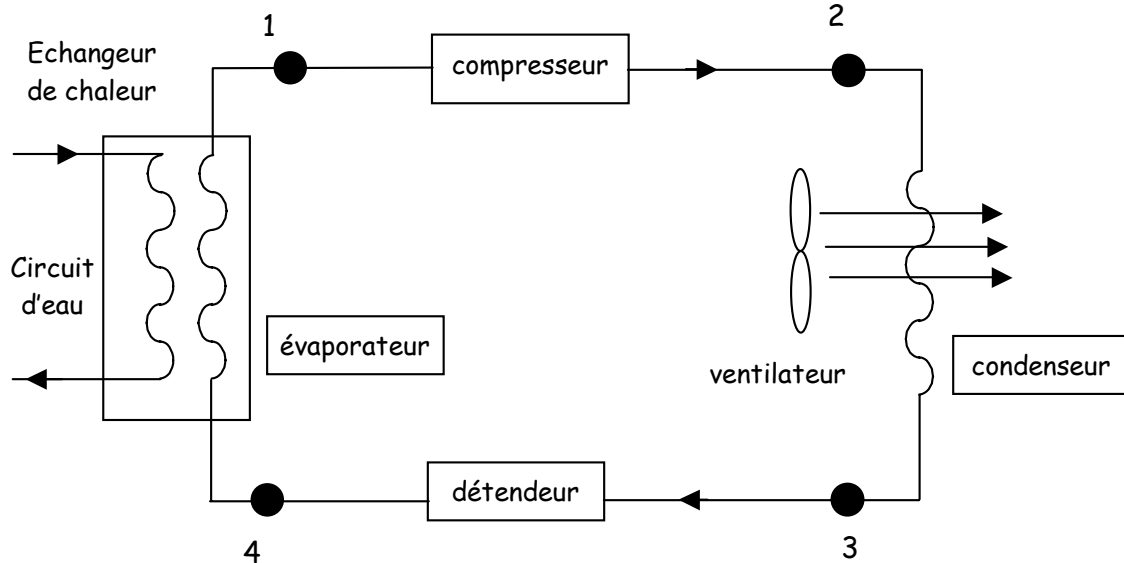
On donne

$$p_1 = 2,0 \times 10^5 \text{ Pa} \quad p_2 = 3,0 \times 10^5 \text{ Pa} \quad R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}.$$

1. Calculer les températures T_3 et T_4 des états B et F.
2. Donner l'allure du cycle en coordonnées (p, V). Préciser le sens de parcours du cycle. Conclure.
3. Calculer les valeurs des quantités de chaleur Q_1 et Q_2 échangées par une masse $m = 1,0 \text{ kg}$ d'hélium lors de la traversée des échangeurs (E_1) et (E_2).
4. Comme le compresseur (C) fonctionne en régime d'écoulement continu, le travail utile W_u échangé par l'hélium est égal à sa variation d'enthalpie.
 - 4.1. Déterminer le travail utile W_u échangé au cours d'un cycle par une masse $m = 1,0 \text{ kg}$ d'hélium.
 - 4.2. Calculer l'efficacité de l'installation : $e' = \frac{Q_1}{W_u}$.
5. La puissance thermique évacuée pour climatiser le local étant $P_{\text{th}} = 2,6 \text{ kW}$, calculer la puissance minimale du moteur qui actionne le compresseur.
6. Calculer la masse d'hélium qui doit, par seconde, décrire le cycle afin de climatiser le local.

BTS Fluides Energies Environnement 2002 Epreuve de Physique

On s'intéresse à un système de production d'eau glacée dont le schéma de principe est donné ci-dessous.



Le fluide frigorigène utilisé est le R12. A l'état gazeux il sera considéré comme un gaz parfait dont les constantes sont $r = 68,8 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ et $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,2$.

Le cycle théorique est le suivant (on n'envisage pas les surchauffes et sous-refroidissements)

- En 1, le fluide est entièrement gazeux : $p_1 = 3,5 \text{ bar}$ et $\theta_1 = 5^\circ \text{ C}$. Il subit alors une compression adiabatique qui l'amène à la pression $p_2 = 10,8 \text{ bar}$ et à la température θ_2 .
- Entre 2 et 3, à pression constante, la vapeur se refroidit jusqu'à la température $\theta_3 = 45^\circ \text{ C}$ et se condense entièrement.
- Entre 3 et 4, détente isenthalpique du fluide, qui l'amène à la pression $p_4 = 3,5 \text{ bar}$ et $\theta_4 = 5^\circ \text{ C}$.
- En 4, entrée dans l'évaporateur et retour à l'état 1.

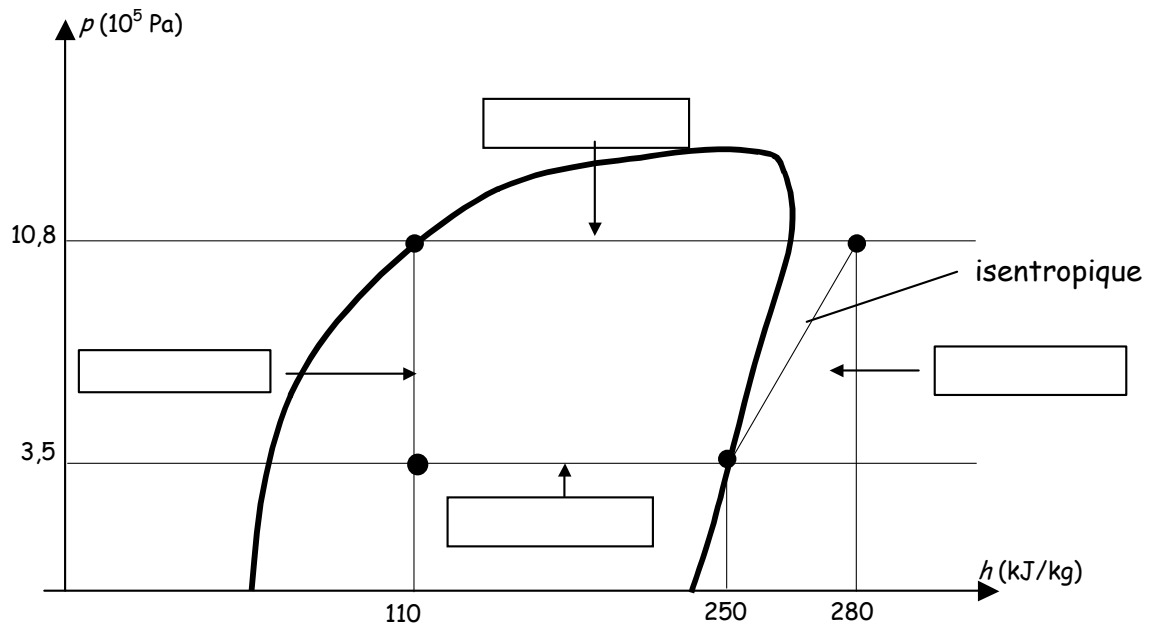
Toutes les transformations seront considérées comme réversibles. Les questions 1. et 2. sont indépendantes.

1. On raisonne pour une masse $m = 1,0 \text{ kg}$ de fluide.

- 1.1. Ecrire l'équation d'état des gaz parfaits en utilisant la constante massique r du fluide; préciser les unités des grandeurs utilisées.
- 1.2. Calculer le volume occupé (en L) par 1 kg de vapeur R12 dans l'état 1 ($p_1 = 3,5 \text{ bar}$ et $\theta_1 = 5^\circ \text{ C}$).
- 1.3. La compression étant isentropique (adiabatique réversible), quelle relation existe-t-il entre p_1 , V_1 , p_2 et V_2 (relation de Laplace) ? Calculer le volume V_2 occupé par 1 kg de vapeur R12 dans l'état 2 ($p_2 = 10,8 \text{ bar}$).
- 1.4. Calculer θ_2 .

2. Sur le document joint, qui est à rendre avec la copie, on donne un extrait du diagramme pression, enthalpie (p, h) de l'équilibre " liquide - vapeur " du R12. Cet extrait comporte quelques valeurs relatives au système étudié.

- 2.1. Dessiner, sur le document réponse, le cycle théorique du fluide et l'orienter ; placer les états 1, 2, 3, 4 correspondant à ceux du schéma de principe. Remplir les cadres avec les mots : compresseur, détendeur, condenseur et évaporateur.
- 2.2. Dans quel élément du circuit, le fluide échange-t-il du travail ? Quel est, du point de vue du fluide, le signe de ce travail ? Quelle en est, pour 1,0 kg de fluide, la valeur ? Justifier.
- 2.3. Dans quel élément du circuit, le fluide rejette-t-il de la chaleur vers le milieu extérieur ? Quelle est, pour 1 kg de fluide, la quantité de chaleur rejetée ? Justifier.
- 2.4. Entre quels états le fluide reçoit-il de la chaleur ? Quelle est, pour 1 kg de fluide, la quantité de chaleur reçue ? Justifier.
- 2.5. Définir et calculer le C.O.P. (coefficient de performance aussi appelé efficacité frigorifique ε) théorique de cette machine de production d'eau glacée.



BTS Maintenance Industrielle: 1995, Nouméa

Une pompe à chaleur fonctionne entre deux sources : une nappe souterraine qui constitue la source froide et l'eau du circuit de chauffage qui constitue la source chaude.

Le fluide utilisé dans cette pompe à chaleur est de l'air assimilable à un gaz parfait de constante $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$, de capacité thermique molaire à pression constante $C_p = 29,1 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Le rapport des capacités thermiques molaires à pression constante C_p et à volume constant C_v vaut $\gamma = 1,4$.

L'air de la pompe à chaleur décrit le cycle de transformations réversibles suivant :

- Passage de l'état initial A , à l'état B par une compression adiabatique dans un compresseur
 - état A : pression : $p_A = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, volume V_A , température $T_A = 298 \text{ K}$;
 - état B : pression : $p_B = 2,2 \times 10^5 \text{ Pa}$, volume V_B , température T_B .
- Passage de l'état B à l'état C par une transformation isobare pendant laquelle l'air reçoit de la source chaude une quantité de chaleur Q_1 .
 - état C : pression $p_C = p_B$, température $T_C = 340 \text{ K}$
- Passage de l'état C à l'état D par une détente adiabatique
 - état D : pression $p_D = p_A$, température T_D
- Passage de l'état D à l'état A par une transformation isobare laquelle l'air reçoit de la source froide une quantité de chaleur Q_2 .

On effectuera les calculs relatifs à une mole d'air.

1. Placer les points B , C , D sur la figure a du document réponse.
2. Calculer les volumes V_A et V_B .
3. Calculer les températures T_B et T_D .
4. Pour chaque cycle décrit par une mole d'air, calculer :
 - 4.1. les quantités de chaleur Q_1 et Q_2 ,
 - 4.2. le travail W reçu au cours de la totalité du cycle.
5. L'efficacité ε de la pompe à chaleur est le rapport de la quantité de chaleur reçue par la source chaude au cours d'un cycle décrit par l'air, et du travail reçu par l'air au cours de ce même cycle.
 - 5.1. Exprimer ε en fonction de Q_1 et W . Calculer sa valeur.
 - 5.2. Justifier le choix de cette définition.

Document -réponse

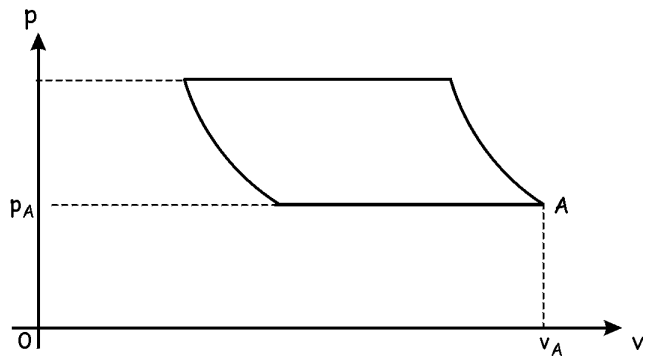
RAPPELS :

Pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique réversible d'un état A (p_A, V_A, T_A) à un état B (p_B, V_B, T_B), on peut écrire :

$$p_A V_A^\gamma = p_B V_B^\gamma$$

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

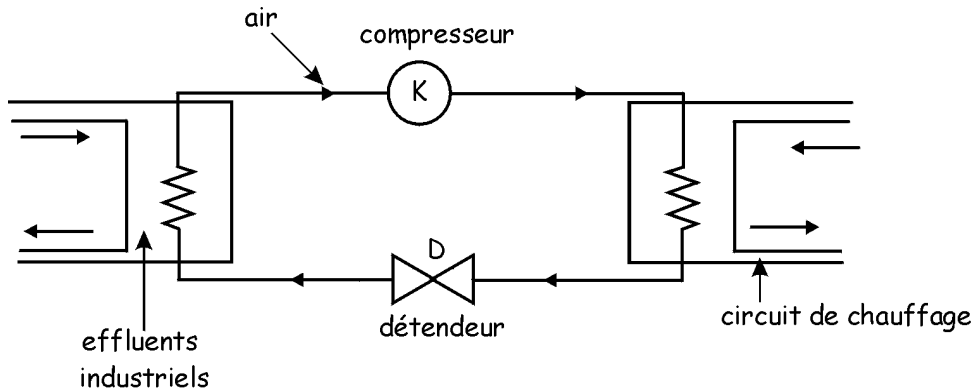
avec $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$



BTS Maintenance Industrielle: 1996, Métropole

On s'intéresse à une pompe à chaleur qui participe au chauffage de locaux, en prélevant de la chaleur aux effluents liquides à température élevée d'une installation industrielle, avant leur rejet dans une rivière qui recevra des effluents à température plus faible.

L'installation représentée ci-dessous comporte : un compresseur, un détendeur et deux serpentins qui sont le siège des échanges thermiques, avec les effluents d'une part, et avec l'eau d'un circuit de chauffage d'autre part.



Le fluide frigorigène est de l'air, assimilé à un gaz parfait.

On étudie les transformations réversibles de 1 kg d'air qui décrit le cycle suivant :

1-2 : dans le compresseur : compression adiabatique, la pression passant de $p_1 = 10^5$ Pa à $p_2 = 2 \times 10^5$ Pa et la température passant de $T_1 = 310$ K à T_2 .

2-3 : dans le serpentin au contact du circuit de chauffage ($V_3 < V_2$) : refroidissement isobare, la température passant de T_2 à $T_3 = 330$ K.

3-4 : dans le détendeur : détente adiabatique, la pression passant de $p_3 = p_2$ à $p_4 = p_1$. la température passant de T_3 à $T_4 = 271$ K.

4-1 : dans un serpentin plongé dans les effluents industriels : échauffement isobare jusqu'à la température T_1 .

On donne :

- constante du gaz parfait : $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- capacité thermique massique de l'air à pression constante : $C_p = 1000 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- rapport des capacités thermiques massiques de l'air, à pression constante et à volume constant :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_V}$$

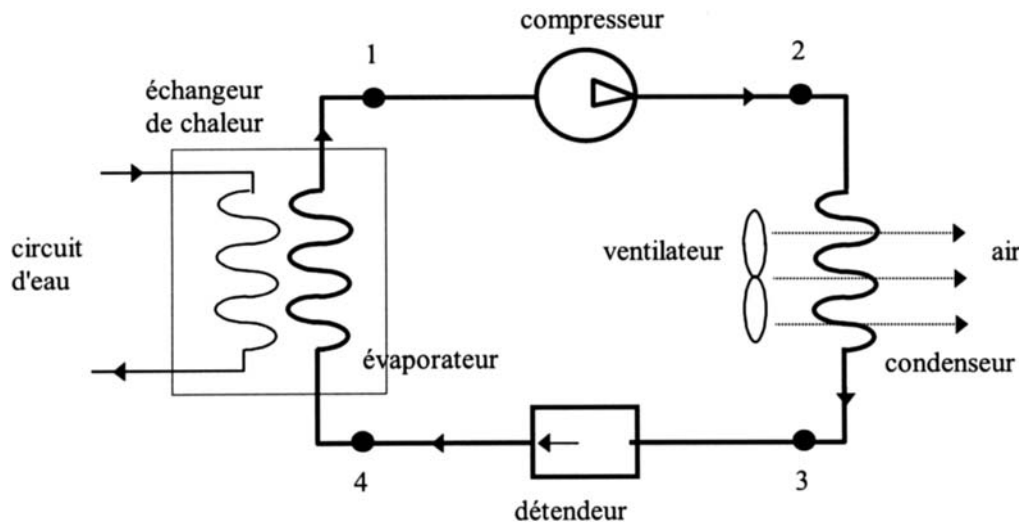
- On rappelle que lors de la transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait : $pV^\gamma = \text{constante}$.

1. Représenter l'allure du cycle décrit par l'air sur un diagramme de Clapeyron (p, V). Indiquer par des flèches le sens des transformations.
2. Montrer que $T_2 = 378$ K.
3. Calculer les quantités de chaleur échangées par une masse de 1 kg d'air au cours de chacune des 4 transformations.
4. Quelle est la variation de l'énergie interne de l'air qui décrit le cycle ? Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un cycle.

5. En déduire le travail W reçu par la masse de 1 kilogramme d'air, au cours du cycle.
6. On désigne par e l'efficacité de la pompe à chaleur, c'est-à-dire le rapport de la quantité de chaleur reçue par la source chaude et du travail reçu par l'air, au cours d'un cycle. Calculer e .

BTS Maintenance Industrielle 1998, Métropole

On effectue l'étude d'un système destiné à réfrigérer de l'eau. Le schéma de principe est donné à la figure ci-dessous. Le fluide subissant le cycle thermodynamique est du fréon. Le circuit est représenté en trait épais. 1, 2, 3, 4 sont les points du circuit correspondants aux entrées et sorties de chaque élément. Un ventilateur soufflant de l'air sur le condenseur assure le refroidissement du dispositif. L'évaporateur et le circuit d'eau sont mis en contact thermique par un échangeur de chaleur, représenté en pointillé. Le circuit d'eau est représenté en trait fin :



La vapeur de fréon sera considérée comme un gaz parfait. On désigne respectivement par p et T sa pression et sa température.

Les caractéristiques thermodynamiques du fréon sont les suivantes :

- Masse molaire du fréon : $M = 121 \text{ g.mol}^{-1}$.
- Chaleur latente massique de vaporisation du fréon : $L = 130 \text{ kJ.kg}^{-1}$ à 310 K .
- Capacité thermique molaire à pression constante du fréon gazeux : $C_p = 49,9 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Rapport des capacités thermiques molaires à pression constante et à volume constant du fréon :

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,2$$

- Constante d'état des gaz parfaits : $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.
 - Au point 1 le fréon est totalement gazeux : $p_1 = 1,9 \times 10^5 \text{ Pa}$; $T_1 = 272 \text{ K}$.
 - Au point 2 le fréon est totalement gazeux : $p_2 = 8,5 \times 10^5 \text{ Pa}$; T_2 .
 - Au point 3 le fréon est totalement liquide : $p_3 = p_2$; $T_3 = 310 \text{ K}$.
 - Au point 4 le fréon est partiellement gazeux : $p_4 = p_1$; T_4 .

1. La masse de fréon circulant en un point du circuit en une minute est $m = 2,25 \text{ kg}$.
 - 1.1. En déduire que le nombre de moles de fréon passant en un point du circuit en une minute est $n = 18,6$.
 - 1.2. Quel volume V_1 ces n moles de fréon occupent-elles à l'état gazeux sous la pression $p_1 = 1,9 \times 10^5 \text{ Pa}$ et à la température de $T_1 = 272 \text{ K}$? On exprimera le résultat en litres.
2. On suppose que la transformation réalisée dans le compresseur est adiabatique et réversible. Calculer, en litres, le volume V_2 occupé par ces n moles de fréon à la pression p_2 . En déduire que T_2 est égale à 349 K .
On rappelle que pour une transformation adiabatique réversible d'un gaz parfait : $p_1 V_1^\gamma = p_2 V_2^\gamma$
3. Dans le condenseur, le fréon subit un refroidissement à l'état gazeux de T_2 à T_3 , puis une liquéfaction à la température T_3 .
 - 3.1. Calculer la quantité de chaleur Q_a échangée par le fréon gazeux, en une minute, lors de son refroidissement de T_2 à T_3 . (Préciser le signe de Q_a)
 - 3.2. Calculer la quantité de chaleur Q_b échangée par le fréon, en une minute lors de sa liquéfaction totale (Préciser le signe de Q_b)
 - 3.3. On rappelle que la chaleur latente massique de vaporisation du fréon est $L = 130 \text{ kJ.kg}^{-1}$ à 310 K .

3.3.1. En déduire la quantité de chaleur Q_{23} échangée par le fréon, en une minute, dans le condenseur pour son refroidissement et sa liquéfaction.

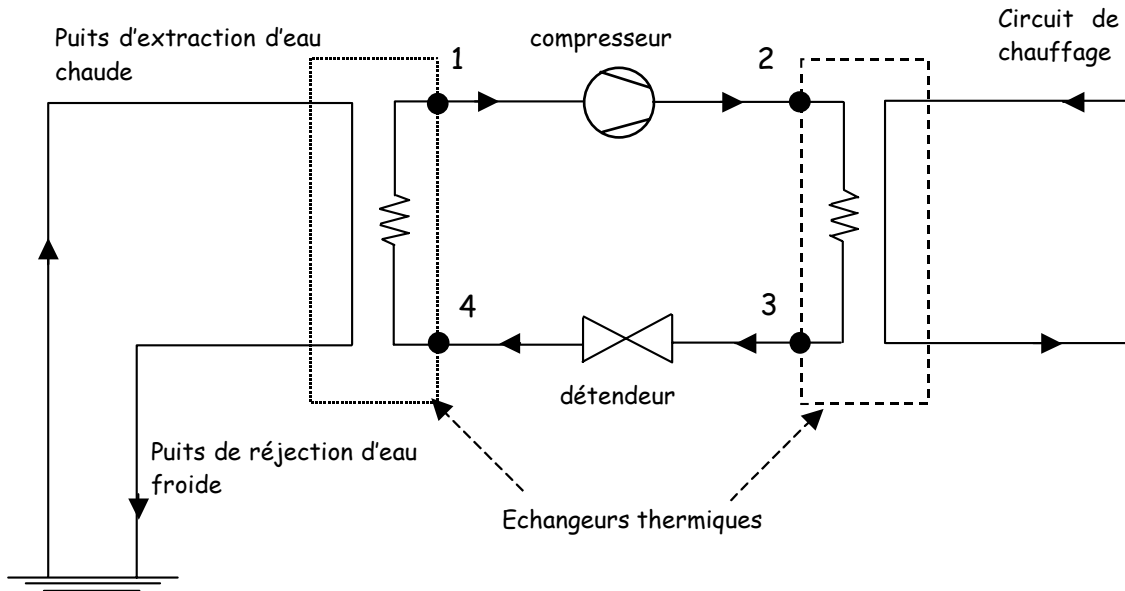
3.3.2. Quel est le signe de Q_{23} ? Que représente ce signe?

4. Dans l'évaporateur, la valeur algébrique de quantité de chaleur Q_{41} reçue par le fréon, en une minute, est $Q_{41} = 240$ kJ. En déduire le débit maximal de l'eau, si l'on veut abaisser la température de celle-ci de $5,0$ ° C. On exprimera ce débit en litres par minute.

On donne : capacité thermique massique de l'eau: $c_{\text{eau}} = 4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

BTS Maintenance Industrielle 2000 Nouméa

Pour exploiter une nappe géothermique et contribuer au chauffage d'une habitation, on utilise une pompe à chaleur à compresseur (figure).



Les circuits d'eau d'extraction de la nappe géothermique et du circuit de chauffage ne sont pas pris en compte dans ce problème.

Le fluide utilisé dans cette pompe à chaleur est de l'air assimilable à un gaz parfait. Il s'écoule en régime permanent et à vitesse réduite et l'on peut supposer que toutes les transformations sont réversibles.

L'air de la pompe à chaleur décrit le cycle de transformations réversibles suivant :

- Pris initialement à la pression $p_1 = 1,0 \times 10^5$ Pa et à la température $T_1 = 303$ K (état 1), l'air est comprimé de manière adiabatique dans un compresseur. A la fin de la compression, la pression de l'air est $p_2 = 2,5 \times 10^5$ Pa et sa température est T_2 (état 2).
- En passant dans un échangeur thermique, l'air échange sous la pression constante p_2 une quantité de chaleur Q_{23} avec le circuit de chauffage. A la sortie de l'échangeur thermique, la température de l'air est $T_3 = 313$ K.
- L'air subit ensuite une détente adiabatique à la fin de laquelle sa pression est $p_4 = p_1 = 1,0 \times 10^5$ Pa et sa température est $T_4 = 241$ K.

Enfin, en passant dans un nouvel échangeur thermique, l'air échange sous la pression constante p_1 une quantité de chaleur Q_{41} avec le circuit d'eau de la nappe géothermique. Ainsi, l'air se retrouve dans son état initial (p_1, T_1) à la sortie de cet échangeur thermique.

On effectuera les calculs relatifs à une mole d'air.

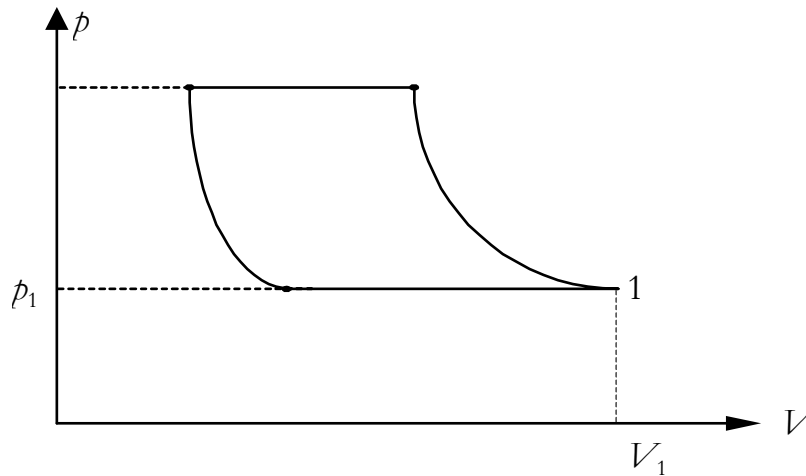
1. Placer les états 1, 2, 3 et 4 et flécher le sens de parcours du cycle sur le diagramme de Clapeyron : document-réponse.
2. Calculer les volumes V_1 et V_2 occupés par une mole d'air dans les états 1 et 2 du cycle.
3. Calculer la température T_2 .
4. Calculer les quantités de chaleur Q_{23} et Q_{41} échangées par une mole d'air au cours d'un cycle.
5. On note W le travail échangé par 1 mole d'air au cours d'un cycle.
 - 5.1. Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un cycle.
 - 5.2. En déduire l'expression de W en fonction de Q_{23} et Q_{41} puis calculer sa valeur.
6. L'efficacité e de la pompe à chaleur est la valeur absolue du rapport de la quantité de chaleur reçue par la source chaude au cours d'un cycle décrit par l'air, et du travail reçu par l'air au cours de ce même cycle. Exprimer e en fonction de Q_{23} et W . Calculer sa valeur.

Rappels:

- La constante des gaz parfait vaut : $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- La capacité thermique molaire de l'air à pression constante est : $C_p = 29,1 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- Le rapport des capacités thermiques molaires à pression constante C_p et à volume constant C_v est $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,4$.
- Pour un gaz parfait subissant une transformation adiabatique réversible d'un état **A** (p_A, V_A, T_A) à un état **B** (p_B, V_B, T_B), on peut écrire :

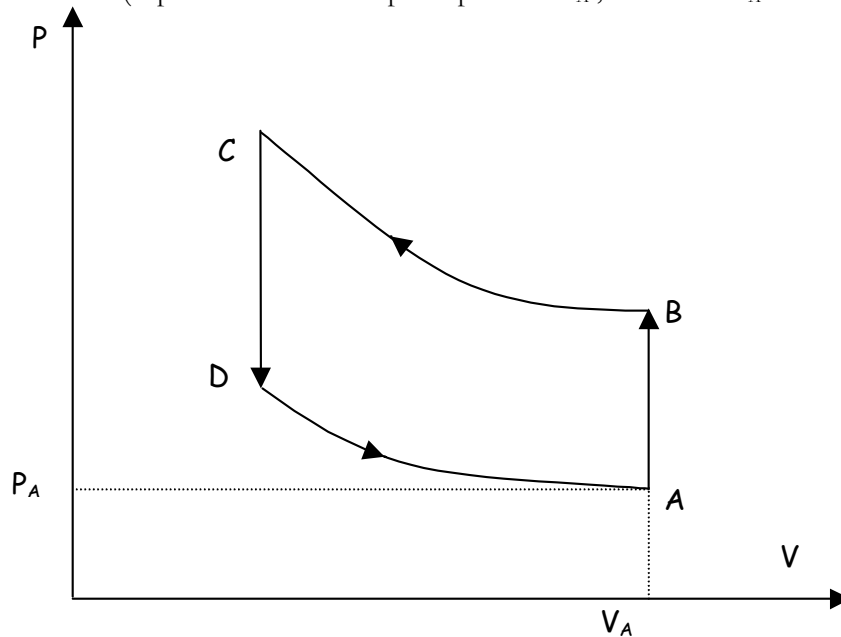
$$p_A \cdot V_A^\gamma = p_B \cdot V_B^\gamma \quad \text{et} \quad T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1}$$

DOCUMENT REPONSE
(à rendre avec votre copie)



BTS Maintenance Industrielle 2001 Nouméa

Soit une pompe à chaleur dans laquelle de l'air (assimilable à un gaz parfait) décrit le cycle ABCDA constitué par les transformations suivantes (le point A étant défini par la pression P_A ; le volume V_A et la température T_A):



- A B : chauffage isochore jusqu'à la température T_B .
- B C : compression isotherme, le volume en C étant V_C .
- C D : refroidissement isochore jusqu'à la température T_A .

D A : détente isotherme.

1. Calculer les quantités de chaleur Q_{AB} ; Q_{BC} ; Q_{CD} et Q_{DA} échangées par l'air au cours des transformations AB ; BC ; CD et DA . Vérifier que $Q_{AB} = -Q_{CD}$.
 - 1.1. Calculer les travaux W_{AB} ; W_{BC} ; W_{CD} et W_{DA} échangés par l'air au cours des quatre transformations du cycle.
 - 1.2. Calculer le travail total W_{cycle} échangé par l'air au cours du cycle. Quel est son signe ? En déduire le sens de l'échange du travail entre l'air et le milieu extérieur.
 - 1.3.
 - 1.3.1. L'efficacité e de la pompe à chaleur s'exprime en fonction de la grandeur Q_{BC} et W_{cycle} . Préciser l'expression de e en fonction des températures.
 - 1.3.2. Calculer la valeur numérique de e avec les données précédentes.

On donne : $P_A = 1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$; $V_A = 1,40 \text{ m}^3$; $T_A = 263 \text{ K}$; $T_B = 293 \text{ K}$; $V_C = 0,38 \text{ m}^3$.

Nombre de moles d'air mises en jeu : $n = 64$ moles

Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

La capacité thermique molaire à volume constant de l'air, C_v , est constante et vaut $20,8 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Formulaire :

$$\text{Transformation isotherme : } Q_{1 \rightarrow 2} = n R T \ln \frac{V_2}{V_1} ;$$

$$\text{Transformation isochore : } Q_{1 \rightarrow 2} = n C_v (T_2 - T_1).$$

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1996

Quelques données numériques sont précisées en fin d'énoncé.

1. Un congélateur est placé dans une cuisine. Il fonctionne entre deux sources de chaleur. L'intérieur du congélateur est à -18°C , la température moyenne de la pièce est de 20°C .
 - 1.1. En supposant le congélateur idéal fonctionnant de façon réversible selon un cycle de Carnot, définir son efficacité e (ou coefficient de performance). L'exprimer en fonction des quantités de chaleur échangées. Montrer qu'elle n'est fonction que des températures des deux sources. Calculer sa valeur numérique.
 - 1.2. Le congélateur étudié n'a qu'une efficacité e' égale à 3,3.

On y introduit 2 litres d'eau à 20°C , qui sont transformés en glace à -18°C . Calculer :

 - la quantité d'énergie fournie au moteur du congélateur pendant cette transformation.
 - la chaleur libérée dans la pièce où est placé ce congélateur.
2. Le fonctionnement du congélateur est représenté par le schéma ci-dessous (figure 1)

Le fluide frigorigène (fréon), à l'état de vapeur saturante sèche (état 1), entre à la pression de 123,7 kPa, dans le compresseur où il subit une transformation adiabatique réversible 1-2.

Le compresseur refoule le fluide dans le condenseur à la pression de 800 kPa.

À la sortie du condenseur il est entièrement liquide, à la pression 800 kPa (état 3).

Il se détend ensuite dans un tube capillaire (transformation 3-4) avant de traverser l'évaporateur à pression constante (transformation 4-1).

 - 2.1. Placer les points 1, 2, 3, 4, sur le schéma (figure 1) et le diagramme (s, T) (figure 2) où s représente l'entropie massique du fluide. Préciser les états physiques du fluide dans les états 1, 2, 3, 4.
 - 2.2. La détente dans le tube capillaire calorifugé se fait sans variation d'énergie cinétique notable du fluide. Elle se fait à enthalpie constante. En déduire l'enthalpie massique h_4 du fluide dans l'état (4).
 - 2.3. Représenter le cycle de Carnot du congélateur idéal de la question 1. 1. sur le diagramme s, T .
 - 2.4. Définir le titre en vapeur x d'un mélange liquide - vapeur. Exprimer l'enthalpie massique h d'un tel mélange en fonction de x , h_{vap} , et h_{liq} . En déduire le titre en vapeur du fluide dans l'état (4).
 - 2.5. Calculer la quantité de chaleur échangée par 1 kg de fluide dans l'évaporateur.
 - 2.6. Le congélateur peut extraire 1,5 kJ par seconde au compartiment froid en fonctionnement normal. En déduire le débit massique de fluide dans l'installation.

Données :

- chaleur latente de fusion de la glace : $333 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$
- capacité thermique massique de l'eau liquide : $4180 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- capacité thermique massique de la glace : $2100 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Extrait des tables thermodynamiques du fréon :

θ_{sat} (°C)	p (kPa)	h_{liq} (kJ/kg)	h_{vap} (kJ/kg)
-25	123,7	13,315	176,352
32,7	800	67,195	200,452

h_{liq} et h_{vap} sont les enthalpies massiques du liquide saturant et de la vapeur saturante.

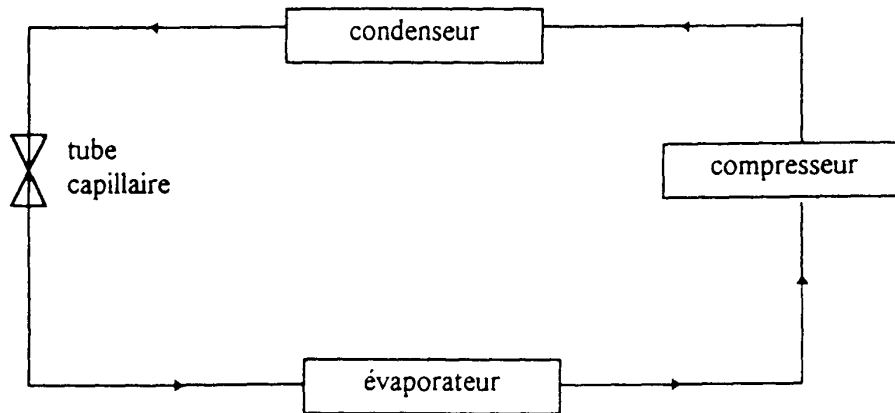


Figure 1

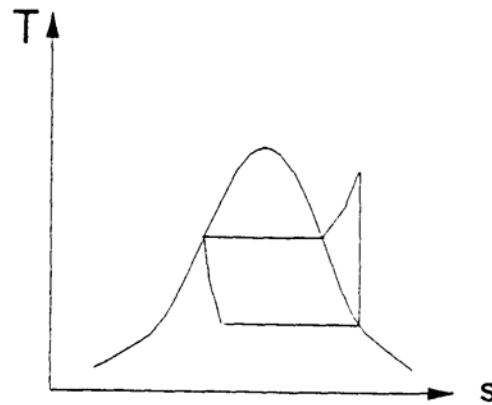


Figure 2

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999

Pour compenser des pertes de chaleur, on envisage d'utiliser une pompe à chaleur fonctionnant entre deux sources de chaleur: l'extérieur (à 0°C) et l'intérieur de l'habitation (à 19°C).

1. Calculer l'efficacité maximale d'une pompe à chaleur ditherme fonctionnant entre deux sources de chaleur aux températures T_f et $T_c > T_f$. On fera la démonstration en précisant dans quelles conditions le calcul est valable. Donner la valeur numérique de l'efficacité.
2. L'efficacité de la pompe réelle est de 40% de la pompe idéale. Calculer la puissance que consommerait la pompe réelle pour compenser les pertes thermiques supposées égales à 550 W.

Air humide et conditionnement**BTS Productique bois 2003**

Dans cet problème, on s'intéresse au système de chauffage d'un séchoir haute température représenté en annexe. La source de chaleur est un brûleur à gaz, à flamme directe. Le gaz utilisé est du propane. La flamme est en contact direct avec l'air qui circule à travers les piles de bois.

Le mélange carburant - comburant (propane- oxygène) est réalisé grâce à un ventilateur centrifuge. Les deux autres ventilateurs assurent la circulation de l'air à travers les piles de bois.

Caractéristique du séchoir

- capacité de séchage : 27 m^3 de bois

Caractéristiques du brûleur

- puissance thermique $P_{th} = 700 \text{ kW}$
- rendement énergétique $r = 87,5$

Temps de séchage.

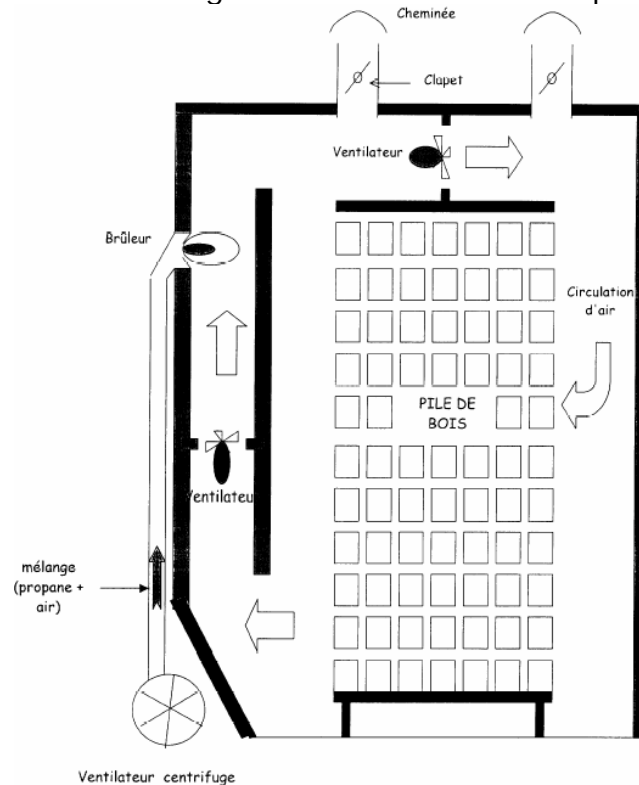
On veut sécher 27 m^3 de pin maritime duquel il faut retirer 11 tonnes d'eau.

On ne tient pas compte ici de la phase de préchauffage qui a permis de chauffer le bois de la température ambiante jusqu'à 100°C .

On part donc du bois humide à 100°C . L'eau se vaporise à 100°C . Sa chaleur latente de vaporisation est L_v .

On donne : $L_v = 2260 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$.

1. Calculez l'énergie calorifique Q_{27} nécessaire pour sécher les 27 m^3 de pin. Exprimez le résultat en mégajoules.
2. Calculez le temps de séchage des 27 m^3 de pin.

Système de chauffage d'un séchoir haute température**BTS Economie Sociale et Familiale 2000**

Etude de fer à repasser

1. Chauffage de l'eau du réservoir

Sous une pression de 3 bars, la température de vaporisation de l'eau est de 132°C .

- 1.1. Calculer la quantité de chaleur Q_1 nécessaire à l'échauffement d'1,5 litre d'eau liquide de 20°C à 132°C .
- 1.2. Déterminer la quantité de chaleur Q_2 nécessaire à la vaporisation de cette eau.
- 1.3. L'énergie électrique consommée est de 1,4 kWh. Calculer le rendement de l'appareil.

2. Caractéristiques hygrométriques de l'air ambiant

La pièce fermée dans laquelle on effectue le repassage a pour dimensions $3\text{ m} \times 4\text{ m} \times 2,50\text{ m}$, la température de l'air ambiant est de 20°C et l'humidité relative de l'atmosphère de la pièce est de 50%.

2.1. Définir : « humidité relative de l'atmosphère ».

2.2. A l'aide des données

- déterminer la masse d'air sec contenu dans la pièce,
- déduire la masse de vapeur d'eau qui entraînera la saturation de l'atmosphère de ce local.

2.3. Donner la valeur de l'humidité relative après deux heures de repassage qui auront libéré dans la pièce une masse de vapeur d'eau égale à 1,5 kg.

Données

- | | |
|--|--|
| - Température de l'air dans la pièce: | $\theta_{\text{air}} = 20^\circ\text{C}$ |
| - Température de l'eau stockée dans la pièce : | $\theta_{\text{eau}} = 20^\circ\text{C}$ |
| - Masse volumique de l'eau à 20°C : | $\rho_e = 1,0\text{ kg} \cdot \text{L}^{-1}$ |
| - Masse volumique de l'air à 20°C : | $\rho_a = 1,2\text{ kg m}^{-3}$ |
| - Masse de vapeur d'eau saturante à 20°C (pour 1 kg d'air) | $m_s = 14,7\text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ |
| - Capacité thermique massique de l'eau: | $c_{\text{eau}} = 4,18\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ |
| - Chaleur latente de vaporisation de l'eau : | $L_v = 2260\text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ |

BTS Domotique 1991

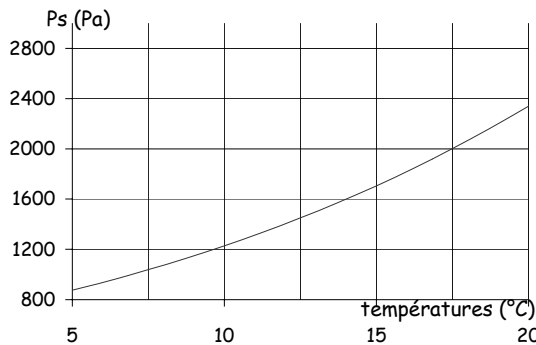
On considère une baie vitrée de surface $S = 10\text{ m}^2$, qui sépare un appartement où la température est $\theta_i = 20^\circ\text{C}$, de l'extérieur où la température est $\theta_o = -10^\circ\text{C}$.

On utilise un double vitrage constitué par un ensemble de 2 glaces de 5 mm d'épaisseur, séparées par une lame d'air de 12 mm.

La température de la face interne du vitrage est $\theta = 10^\circ\text{C}$

Un hygromètre placé dans la pièce indique 46 % d'humidité relative, (h_r) quelle est la valeur du point de rosée ? Se produit-il une condensation sur le vitrage ?

Donnée

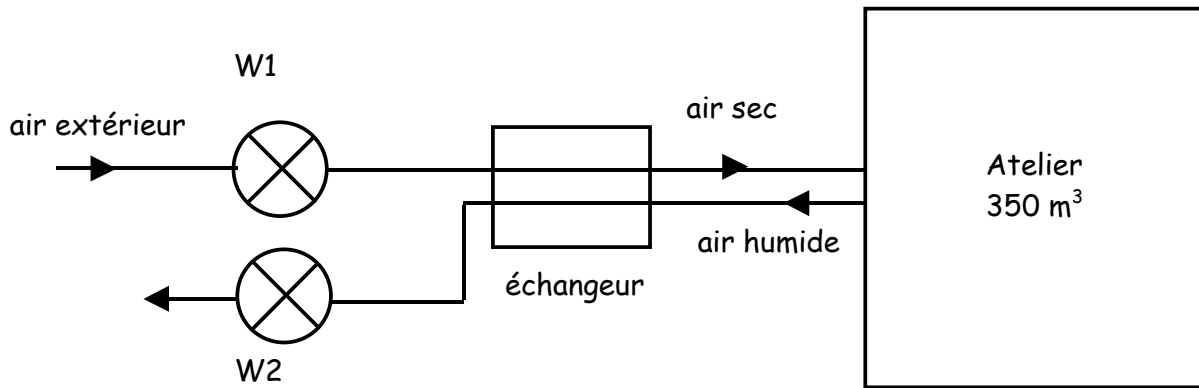


Pression de vapeur saturante de l'eau (Pascal) : p_s

On rappelle que $h_r = \frac{\text{pression de vapeur saturante au point de rosée}}{\text{pression de vapeur saturante à la température ambiante}}$

BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 2001

L'objet du problème est l'étude du contrôle de l'humidité de l'air dans un atelier de fabrication de tapis synthétiques. L'humidité doit être maintenue constante pour assurer la régularité de la fabrication. L'installation est schématisée sur la figure ci-dessous.



W1 et W2 ventilateurs

On prendra $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ (constante des gaz parfaits).

Dans cette partie on étudie l'hygrométrie de l'air contenu dans l'atelier, de volume 350 m^3 .

- Quels sont les deux principaux gaz entrant dans la composition de l'air sec ?
Dans la suite du problème ce mélange est considéré comme un corps pur de masse molaire $M_{\text{air}} = 29 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- A l'intérieur de l'atelier la température de $\theta_1 = 21 \text{ }^\circ\text{C}$, la pression est $p = 101,3 \text{ kPa}$.
 - Dans un premier temps on suppose que l'atmosphère de l'atelier ne contient que de l'air sec, considéré comme un gaz parfait.
Donner l'expression littérale et numérique de la masse m_{sec} de cet air.
 - Dans un deuxième temps on tient compte de l'humidité.

L'air humide est considéré comme un mélange idéal de gaz parfaits, le premier est l'air sec de masse molaire M_{air} et le deuxième est la vapeur d'eau de masse molaire $M_{\text{eau}} = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

On définit l'humidité relative H_r (ou degré hygrométrique) par $H_r = \frac{p_v}{p_s}$ où p_v est la pression partielle de la

vapeur d'eau dans le mélange et p_s la pression de vapeur saturante de l'eau à la même température.

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau à $21 \text{ }^\circ\text{C}$: $p_s = 2,505 \text{ kPa}$.

Sachant que l'humidité relative de l'atelier est $H_r = 0,4$, calculer littéralement puis numériquement

- 2.2.1. Les pressions partielles de la vapeur d'eau p_v et de l'air sec p_a
- 2.2.2. Les masses de vapeur d'eau m_v et d'air sec m_a .
- 2.2.3. La masse d'air humide m_{humide} dans l'atelier.

- Durant la nuit, l'atelier n'étant plus chauffé, la température intérieure descend à $\theta_2 = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, la pression restant constante.

On donne la pression de vapeur saturante de l'eau à $5 \text{ }^\circ\text{C}$: $p'_s = 0,8721 \text{ kPa}$.

- 3.1. Si toute l'eau restait sous forme de vapeur, quelle serait la pression p'_v de la vapeur ?
- 3.2. En réalité la pression partielle de la vapeur d'eau ne peut pas dépasser la valeur p'_s et il y a donc condensation. Calculer la masse d'eau condensée m_e .
- 3.3. Quelle est alors l'humidité relative de l'atmosphère de l'atelier à cette température ?

BTS Bâtiment 1994

Les murs latéraux d'un local industriel maintenu à la température constante $\theta_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Le local dont le volume global est $V = 1600 \text{ m}^3$ contient de l'eau à l'état de vapeur.

On assimilera la vapeur d'eau à un gaz parfait de masse molaire $M = 18 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$.

- On constate que la pression de la vapeur d'eau à l'intérieur du local est égale à $10,8 \text{ mm}$ de mercure. Déterminer la valeur de cette pression en unité internationale.
- Exprimer puis calculer la masse d'eau à l'état de vapeur contenue dans le local.

Données:

- masse volumique du mercure $\rho = 13600 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- accélération de la pesanteur $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$
- constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$.

BTS Industries céramiques 2003

Un fabricant commercialise de la faïence préparée par le procédé suivant :

Délayage → filtre pressage → séchage → concassage

Séchage de galettes filtre-pressées

La masse des galettes filtre-pressées est de 1587 kg.

L'humidité moyenne des galettes est de 20% sur sec, à l'entrée du séchoir. On souhaite obtenir une humidité finale de 2% sur sec.

1. Ces galettes sont placées dans le séchoir, calculer la masse d'eau à évacuer.
2. L'air nécessaire au séchage des galettes est aspiré de l'extérieur par un ventilateur, passe par un réchauffeur d'air et est ainsi porté à une température plus élevée.

Cet air chaud traverse le séchoir, y absorbe l'eau et le quitte dans un certain état (air évacué).

La pression dans le séchoir est de 99000 Pa.

Etat de l'air	Température	Humidité relative
Air extérieur	19°C	0,7
Air chaud	90°C	
Air évacué	30°C	0,9

- 2.1. Calculer le pouvoir séchant de l'air. On rappelle la définition du pouvoir séchant de l'air : c'est la masse d'eau évacuée par unité de masse d'air sec utilisé dans le séchoir.
- 2.2. Calculer la masse d'air extérieur nécessaire au séchage des galettes.
- 2.3. Calculer la quantité d'énergie nécessaire au séchage d'une galette.

On supposera que c'est la quantité d'énergie nécessaire pour porter l'air de l'extérieur de 19°C à 90°C avec la même humidité absolue.

Données

Constante des gaz parfaits $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$

Masse molaire de l'eau = 18 g mol^{-1}

Masse molaire de l'air = 29 g mol^{-1}

Humidité absolue : $x = \frac{18}{29} \frac{\varepsilon \cdot p_{VS}}{p - \varepsilon \cdot p_{VS}}$

- avec ε : humidité relative
- p_{VS} : pression vapeur saturante de l'eau
- p : pression totale

Pour une masse d'air sec de 1 kg, l'enthalpie de l'air humide est de la forme

$$\Delta H = C_{\text{air}} \cdot \Delta \theta + x \cdot (C_{\text{vapeur d'eau}} \cdot \Delta \theta + L_v) \text{ avec } \Delta \theta = \theta - \theta_0 \text{ et } \theta_0 = 0^\circ \text{C}$$

C_{air} : chaleur massique de l'air = $1,00 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

$C_{\text{vapeur d'eau}}$: chaleur massique de l'eau = $1,90 \text{ kJ kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$

L_v : chaleur de vaporisation de l'eau à $0^\circ\text{C} = 2500 \text{ kJ kg}^{-1}$

Pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température

T (en °C)	p_s (en Pa)
19	2196
30	4241
90	70110

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2000

Etude du réfrigérant d'une centrale nucléaire (tranche 1450 MW)

Description des circuits

L'ensemble des valeurs numériques nécessaires se trouve sur les schémas.

Dans le circuit secondaire, la vapeur produite par les générateurs entraîne la turbine. L'eau condensée est recyclée après passage dans des réchauffeurs.

La pression dans la partie secondaire des générateurs de vapeur ① est de 71 bar. L'eau peut ainsi bouillir au contact des tubes du générateur de vapeur, eux-mêmes parcourus par l'eau du circuit primaire. Elle en sort à l'état de vapeur saturée sèche.

La vapeur se détend dans la partie haute pression de la turbine ②. La détente de la vapeur en fait baisser la température. Des gouttelettes de condensation apparaissent. Il faut les séparer car leur impact à grande vitesse

2 Les numéros font référence à l'éclaté de la centrale

endommagerait aubes et directrices. Cette opération est faite à la sortie du corps haute pression, dans un « sécheur-surchauffeur » ③. La vapeur se détend ensuite dans les parties moyenne et basse pression de la turbine

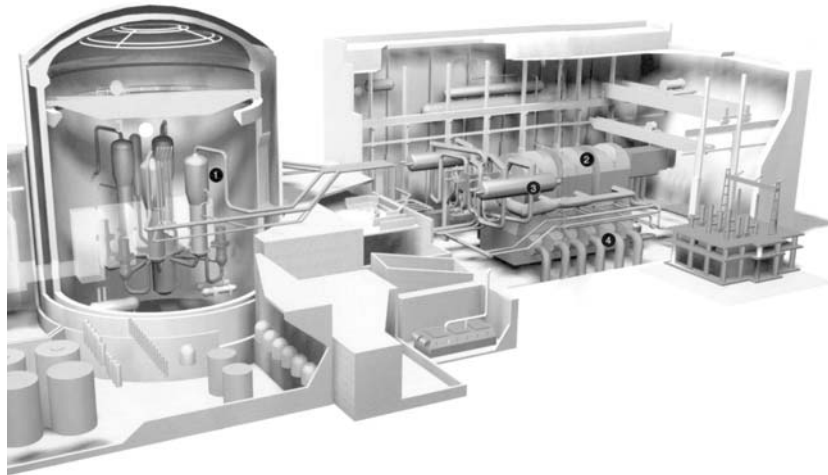
Des prélèvements de vapeur sont effectués à divers niveaux, pour réchauffer les flux retournant à la turbine.

À l'échappement de la turbine, la vapeur se condense sur les tubes du condenseur ④.

À la sortie du condenseur, l'eau du circuit secondaire est reprise par des pompes d'extraction, placées en contrebas du condenseur, au fond d'un puits de plus de 10 m de profondeur. D'autres pompes font monter la pression jusqu'à celle d'alimentation du générateur de vapeur.

L'eau de refroidissement du circuit secondaire est alors dirigée vers le réfrigérant atmosphérique (⑤) où elle est dispersée en fines gouttelettes en pluie face à un courant d'air ascendant. Une faible proportion de cette eau est évaporée, cédant ainsi de la chaleur à l'air.

La centrale nucléaire 1450 MW



① Générateur vapeur (x 4)

- hauteur : 21,90 m
- diamètre supérieur : 4,76 m
- diamètre inférieur : 3,70 m
- masse : 421 tonnes

② Turbine « Arabelle »

- longueur : 51,205 m
- largeur (hors tout) : 12,80 m
- masse : 2810 tonnes

③ Sécheur surchauffeur (x2)

- longueur : 24,80 m
- diamètre : 4,70 m
- masse : 370 tonnes
- température : 180°C
- pression : 10 bar

④ Condenseur

- longueur : 37,10 m
- largeur : 21,50 m
- hauteur : 15,49 m
- masse vide : 1893 tonnes
- nombre de tubes : 128856
- surface d'échange : 103227 m²
- débit eau refroidissement : 48,35 m³/s
- temp. entrée eau : 21,5°C
- temp. sortie eau : 35°C

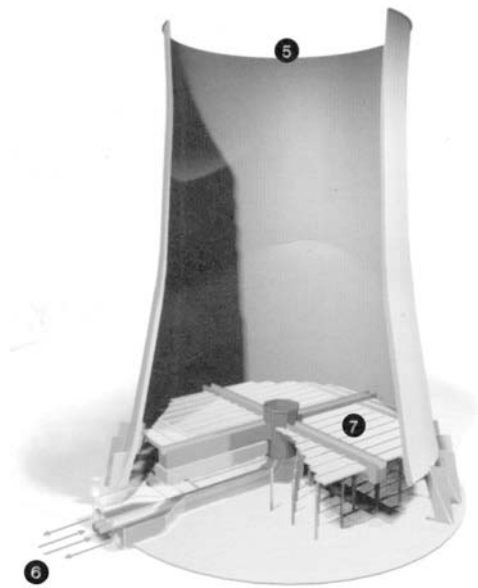
Source : EdF (extraits de la brochure N4)

Etude du réfrigérant atmosphérique

Données : masse volumique de l'eau liquide $\rho_{\text{eau}} = 1,0 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

masse volumique de l'air à 18°C $\rho_{\text{air}} = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$

1. La chaleur enlevée au condenseur est évacuée dans le réfrigérant atmosphérique. Relever le pourcentage et le débit volumique d'eau évaporée. Quelle est le débit massique d'eau évaporée ?
2. Nous ferons l'hypothèse d'une arrivée d'air à 18°C et 30 % d'humidité relative. Cet air ressort à 34°C et 100 % d'humidité relative. Relever sur le diagramme psychrométrique les titres massiques en eau de l'air entrant et sortant. En déduire le débit massique de l'air nécessaire pour évacuer l'eau évaporée.
3. Relever sur le diagramme psychrométrique les enthalpies de l'air entrant et sortant, par kg d'air sec. En déduire la puissance évacuée par évaporation dans le réfrigérant atmosphérique.
4. Calculer le débit volumique de l'air entrant (en assimilant l'air entrant à de l'air sec). Déduire des caractéristiques géométriques du réfrigérant atmosphérique la vitesse de l'air entrant, en m s^{-1} et en km h^{-1} .



Le réfrigérant atmosphérique

⑤ Réfrigérant atmosphérique

- diamètre base coque : 134,45 m
- diamètre sortie : 87,83 m
- hauteur entrée d'air : 14,10 m
- hauteur totale : 172 m
- épaisseur de la coque de 1,71 m (base) à 0,27 m (sortie)

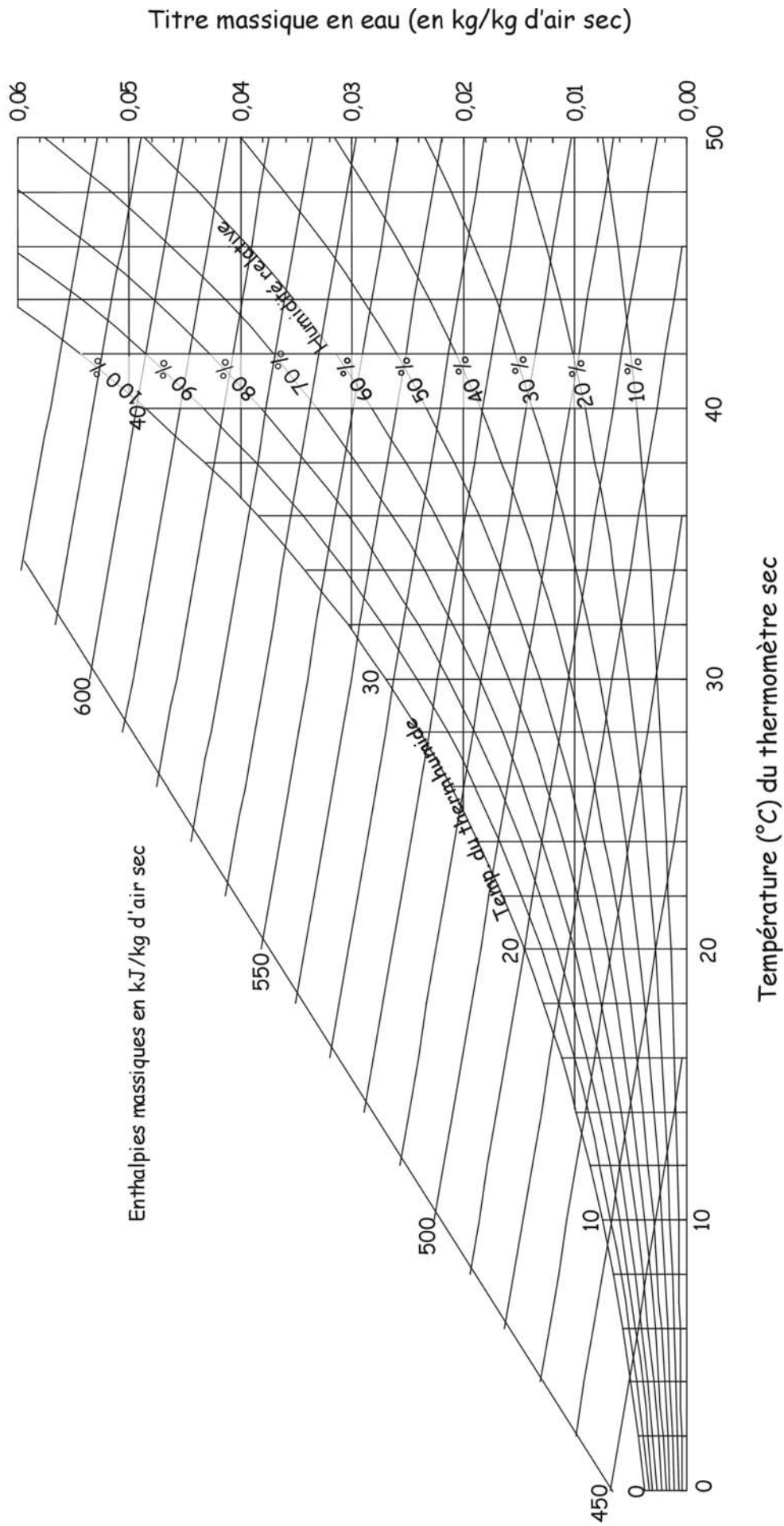
⑥ Entrée-sortie d'eau de refroidissement

⑦ Zone d'échange eau/air

- débit d'eau à refroidir : 174000 m^3/h (48,35 m^3/s)
- température d'eau chaude (entrée) : 35°C
- température d'eau refroidie (sortie) : 21,5°C
- perte par évaporation : 0,75 m^3/s (soit 1,5 %)

Source : EdF (extraits de la brochure N4)

Diagramme psychrométrique

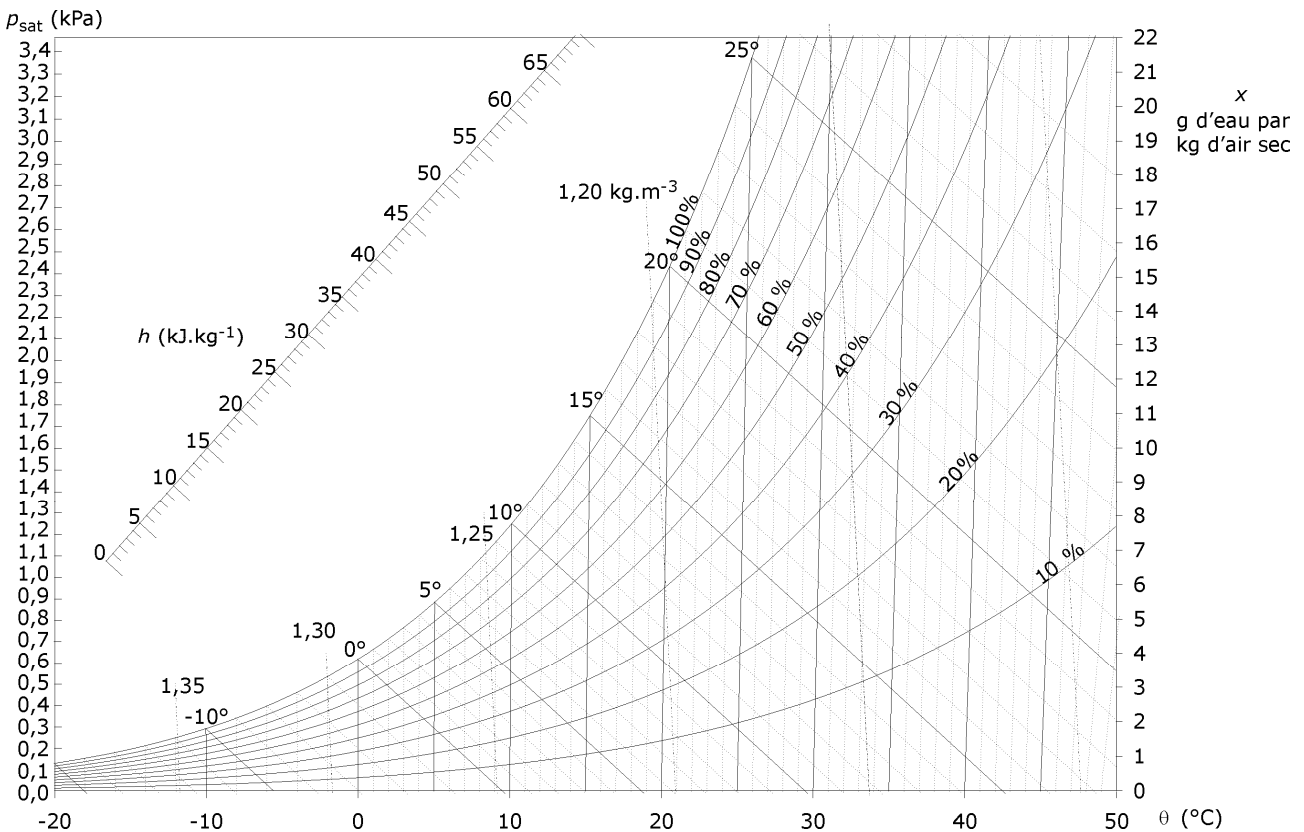


BTS Industries papetières 2004**Exploitation du diagramme de l'air humide**

L'air d'un atelier contenant une machine à papier est renouvelé.

Il entre de l'air frais et relativement sec : $\theta_A = 10^\circ\text{C}$; humidité relative HR_A ou $\phi_A = 60\%$; pression atmosphérique normale (1013 mbar).

1. Situer cet état (A) sur le diagramme de l'air humide..
2. En déduire la masse de vapeur d'eau par kilogramme de cet air (humidité absolue HA_A ou teneur en eau x_A) et son humidité saturante HS_A à cette température.
3. Au contact de la machine à papier cet air se réchauffe et absorbe de la vapeur: sa température passe à $\theta_B = 26^\circ\text{C}$ et son humidité relative à $HR_B = 85\%$.
 - 3.1. Situer cet état (B)
 - 3.2. Quelle masse de vapeur d'eau aura absorbé 1 kg de cet air entre les états (A) et (B) ?
 - 3.3. Déduire du graphe la variation d'enthalpie de cet air entre ces deux états.
4. Cet air monte dans l'atelier et vient en contact avec les tôles du toit à $\theta_c = 10^\circ\text{C}$.
 - 4.1. En utilisant le diagramme montrer que le refroidissement de l'air au contact des tôles doit se traduire par un phénomène de condensation.
 - 4.2. A quelle température θ_c cette condensation commencera-t-elle ?
 - 4.3. Déterminer la masse d'eau condensée par kg d'air si la température de l'air chute jusqu'à $\theta_D = 15^\circ\text{C}$.



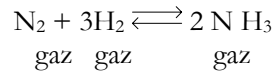
Dynamique des fluides compressibles

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1988

Cette épreuve est composée d'un problème comportant deux parties.

Le document n°2 est à rendre avec la copie.

La synthèse du gaz ammoniac est réalisée dans un réacteur chimique. L'équation-bilan de la réaction est la suivante



Pour obtenir un bon rendement, on réalise cette synthèse sous pressions relativement élevées.

1. Dans cette partie, on négligera la vitesse de l'ammoniac dans le dispositif expérimental schématisé sur le document n°1, et on considère une masse d'ammoniac de un kilogramme.

1.1. L'ammoniac est produit avec un débit de 1500 kg h^{-1} . Il sort du réacteur à une température $t_1 = 150^\circ\text{C}$ et sous une pression $p_1 = 75 \text{ bar}$.

Il traverse alors une vanne, en effectuant une détente isenthalpique, qui amène sa pression à une valeur $p_2 = 25 \text{ bar}$.

1.1.1. Sur le diagramme de Mollier ci-joint (document n°2), placer le point A représentant l'état du gaz à la sortie du réacteur.

1.1.2. A l'aide de ce même diagramme placer le point B représentant l'état du gaz à la sortie de la vanne.

1.1.3. En déduire la température t_2 du gaz à cette sortie.

1.2. L'ammoniac traverse ensuite un réfrigérant dans lequel il est refroidi sous pression constante p_2 jusqu'à atteindre un taux de vapeur $x = 0,25$. Il est alors stocké dans un réservoir placé dans une grande enceinte pressurisée à une pression $p_{\text{ext}} = 6 \text{ bars}$, pour des raisons de sécurité, les rejets de l'ammoniac dans l'atmosphère étant interdits.

1.2.1. Placer le point C , représentant l'état du gaz à la sortie du réfrigérant sur le diagramme de Mollier. En déduire la température t de l'ammoniac dans le réservoir de stockage.

1.2.2. Toujours à l'aide du diagramme, calculer la quantité de chaleur cédée par l'ammoniac au réfrigérant, en kilojoules par kilogramme.

N.B. A chaque utilisation du diagramme de Mollier, il est demandé de justifier les réponses et les valeurs trouvées.

2. On a fixé sur le réservoir une soupape de sécurité qui doit permettre d'évacuer la totalité du débit d'ammoniac produit dans le réacteur, en cas d'incident. On peut assimiler cette soupape de sécurité à une tuyère convergente et considérer la détente dans la soupape comme isentropique.

A la suite d'un incident, l'ammoniac liquide s'est entièrement vaporisé dans le réservoir, sous la pression de 25 bars, et l'on est en présence de vapeur saturante d'ammoniac.

2.1. Quelle est la pression p_4 de l'ammoniac au col de la tuyère, après la détente ?

On rappelle l'expression de la pression critique p_c d'une vapeur au col d'une tuyère convergente :

$$p_c = p_1 \left(\frac{2}{\gamma + 1} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma - 1}}, \text{ avec } p_1 : \text{pression dans le réservoir, } \gamma : \text{rapport des capacités calorifiques massives}$$

respectivement à pression constante et à volume constant. On prendra $\gamma = 1,30$.

En déduire la température t_4 au col de la tuyère.

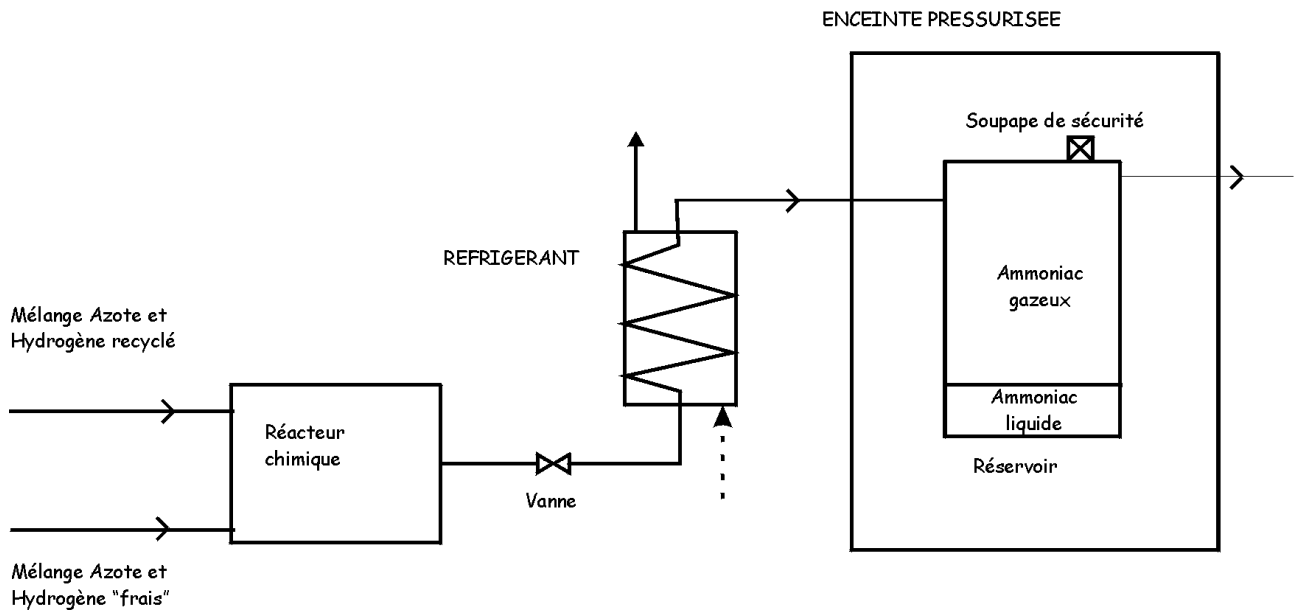
2.2. Calculer, à l'aide du diagramme de Mollier, la masse volumique de l'ammoniac au niveau du col.

2.3. Calculer la vitesse de l'ammoniac au niveau du col. (on négligera la vitesse de l'ammoniac gazeux dans le réservoir). On utilisera l'équation de conservation de l'énergie (théorème de Barré de St Venant).

2.4. En déduire la section du col de la tuyère.

DOCUMENT N°1

SCHEMA DE PRINCIPE SIMPLIFIE D'UNE INSTALLATION DE PRODUCTION D'AMMONIAC



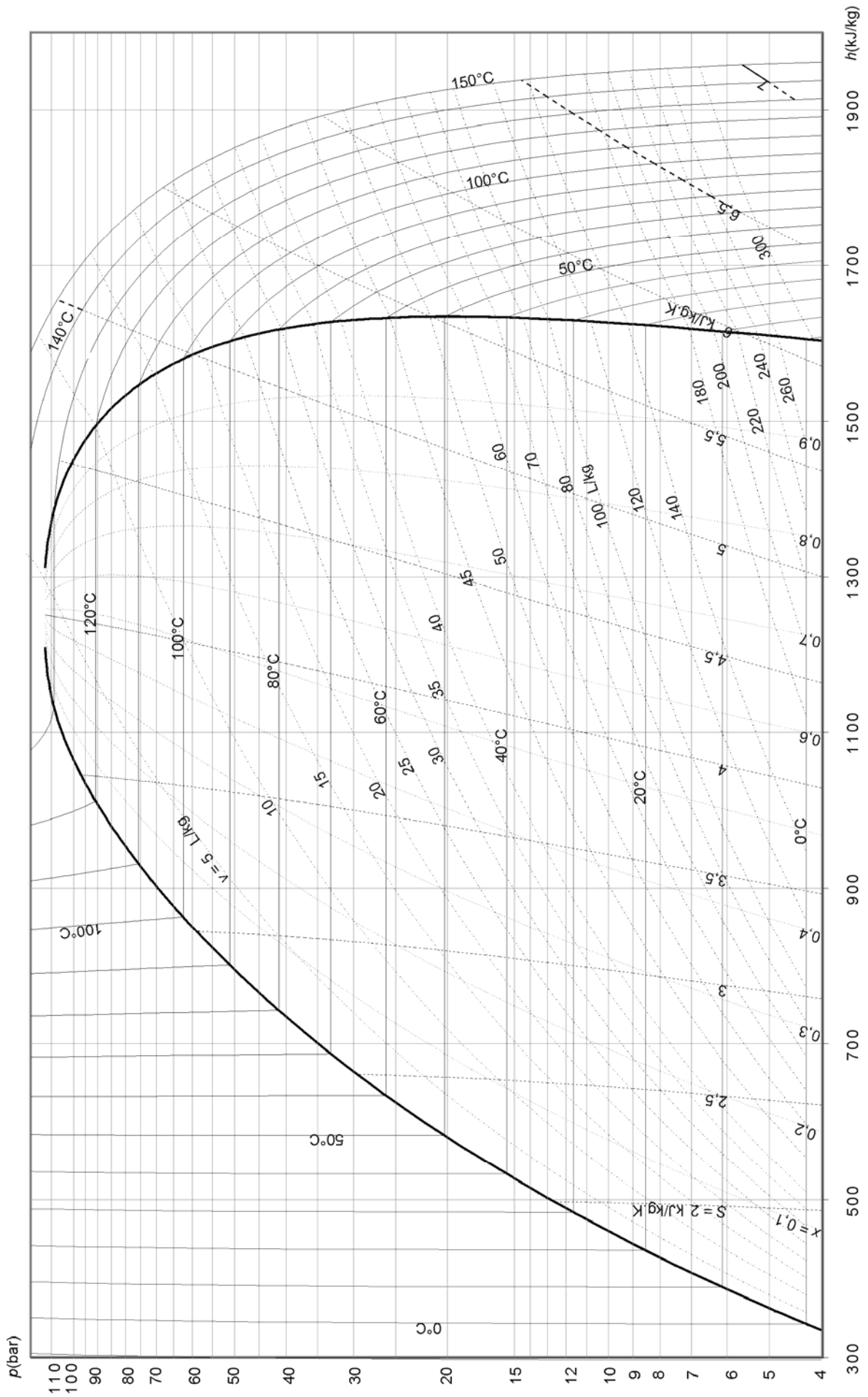


Diagramme de l'ammoniac

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 1990

L'air qui pénètre dans un turbo-réacteur (voir figure) subit une compression (dans le compresseur), puis passe dans la chambre de combustion où est injecté le combustible (kérosène), Les gaz brûlés se détendent dans la turbine (qui entraîne le compresseur), puis dans la tuyère,

On admet qu'il n'y a pas de différence notable, du point de vue thermodynamique, entre l'air aspiré et les gaz rejetés par le réacteur (la combustion s'effectue toujours avec un excès d'air important et on peut négliger la masse du carburant injecté devant celle de l'air),

On raisonne donc sur de l'air assimilé à un gaz parfait décrivant le cycle théorique de Joule suivant :

- 1 → 2 compression isentropique, $T_1 = 300 \text{ K}$; $p_1 = 1 \text{ bar}$; $p_2 = 5 \text{ bar}$
- 2 → 3 combustion isobare, $T_3 = 1080 \text{ K}$
- 3 → 5 détente isentropique dans la turbine (3 → 4), puis dans la tuyère (4 → 5)
- 5 → 1 transformation isobare "de retour",

On suppose que le réacteur- est au banc d'essai, donc fixe, et on néglige toutes les vitesses hormis la vitesse d'éjection C_5 au niveau de la tuyère,

On prendra : $\gamma = c_p/c_v = 1,4$

1. Donner l'allure du cycle sur les diagrammes (p, v) et (T, S) ,
2. Calculer les températures T_2 et T_5 ,
- 3.

3.1. Calculer le rendement thermodynamique du cycle en fonction des températures T_1, T_2, T_3, T_5 .

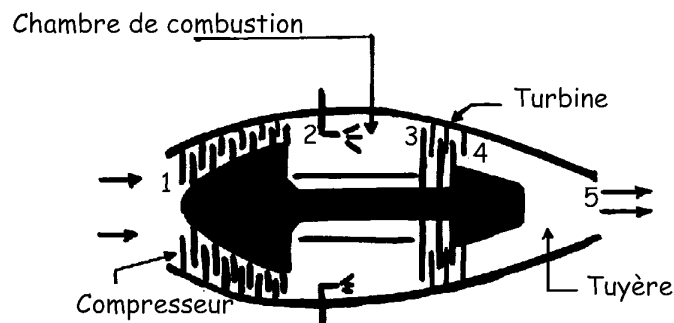
3.2. Application numérique,

Dans le compresseur et la turbine, ont lieu des transformations thermodynamiques dites "avec transvasement" : le fluide pénètre dans la machine, échange avec elle du travail et de la chaleur, puis quitte le dispositif,

On peut montrer que, pour le compresseur (transformation 1→2), la variation d'enthalpie massique de l'air peut s'écrire : $\Delta h_{12} = h_2 - h_1 = w_c + q_c$

De même, pour la turbine (transformation 3→4), on écrira à $\Delta h_{34} = h_4 - h_3 = w_T + w_T$

4. Calculer le travail w_c fourni par les aubages du compresseur à l'unité de masse du fluide,
5. En admettant que le compresseur restitue exactement le travail que lui a fourni la turbine, calculer l'enthalpie massique h_4 de l'air dans l'état 4 et sa pression p_4 ,
6. En appliquant à la tuyère l'équation de conservation de l'énergie pour les écoulements isentropiques, calculer la vitesse c_5 d'éjection des gaz brûlés,
7. Le théorème des quantités de mouvement appliqué au système air- turbo-réacteur, permet de montrer que la poussée du réacteur peut s'écrire $F = q_m c_5$, q_m étant le débit massique de l'air, Calculer F pour $q_m = 40 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$
8. Pour accroître la poussée, on peut injecter du kérosène dans le gaz d'échappement pour une nouvelle combustion utilisant l'oxygène encore disponible (postcombustion), Si, dans ces nouvelles conditions, on atteint une température $T_4 = 1680 \text{ K}$, quelle sera la nouvelle poussée du réacteur ?
(pour cette question on prendra $c_p = 1,1 \text{ kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$,



Propriétés de l'air

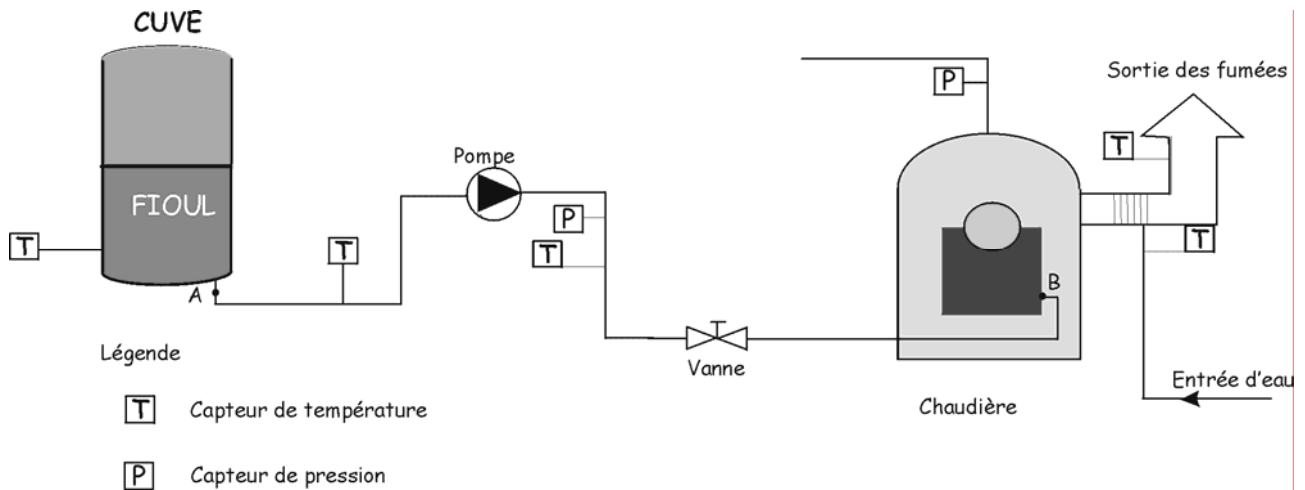
T	h	T	h	T	h
K	kJ kg^{-1}	K	kJ kg^{-1}	K	kJ kg^{-1}
100	99,76	490	492,74	880	910,56
110	109,77	500	503,02	890	921,75
120	119,79	510	513,32	900	932,94
130	129,81	520	523,63	910	944,15
140	139,84	530	533,98	920	955,38
150	149,86	540	544,35	930	966,64
160	159,87	550	554,75	940	977,92
170	169,89	560	565,17	950	989,22
180	179,92	570	575,57	960	1000,53
190	189,94	580	586,04	970	1011,88
200	199,96	590	596,53	980	1023,25
210	209,97	600	607,02	990	1034,63
220	219,99	610	617,53	1000	1046,03
230	230,01	620	628,07	1020	1068,89
240	240,03	630	638,65	1040	1091,85
250	250,05	640	649,21	1060	1114,85
260	260,09	650	659,84	1080	1137,93
270	270,12	660	670,47	1100	1161,07
280	280,14	670	681,15	1120	1184,28
290	290,17	680	691,82	1140	1207,54
300	300,19	690	702,52	1160	1230,9
310	310,24	700	713,27	1180	1254,34
320	320,29	710	724,01	1200	1277,79
330	330,34	720	734,20	1220	1301,33
340	340,43	730	745,62	1240	1324,89
350	350,48	740	756,44	1260	1348,55
360	360,58	750	767,30	1280	1372,25
370	370,67	760	778,21	1300	1395,97
380	380,77	770	789,10	1320	1419,77
390	390,88	780	800,03	1340	1443,61
400	400,98	790	810,98	1360	1467,5
410	411,12	800	821,94	1380	1491,43
420	421,26	810	832,96	1400	1515,41
430	431,43	820	843,97	1420	1539,44
440	441,61	830	855,01	1440	1563,49
450	451,83	840	866,09	1460	1587,61
460	462,01	850	877,16	1480	1611,8
470	472,25	860	888,28	1500	1635,99
480	482,48	870	899,42		

BTS Contrôle Industriel et Régulation Automatique 2001**Etude d'un réseau vapeur**

On veut étudier une installation de chauffage industrielle constituée de 5 chaudières dont les rôles sont différents.

Dans cette étude, on s'intéressera uniquement à une des chaudières à vapeur.

On donne sur le **document n° 1** le schéma de principe de l'installation simplifiée.



Document 1 : schéma de l'installation

La chaudière est alimentée en fioul lourd, stocké dans une cuve cylindrique d'une capacité de 900 m³. Il est acheminé vers les chaudières par une pompe centrifuge à travers une conduite de diamètre $D = 65$ mm. Pendant son transfert il traverse un échangeur à plaques (non représenté sur le schéma) qui élève la température jusqu'à 65 °C.

Cette opération est nécessaire car elle augmente considérablement la fluidité du fioul, évitant des problèmes liés à une trop forte viscosité lors de l'acheminement dans la conduite et l'injection dans le brûleur.

La viscosité cinématique moyenne du fioul à la température de 65 °C est égale à $\nu = 45 \times 10^{-6}$ m² s⁻¹, sa masse volumique $\rho = 883$ kg/m³

Pour alimenter une telle installation, le débit volumique nécessaire est de 1,2 m³/h La pression en A est à un instant donné égale à $p_A = 1,6$ bar.

La pression en B au niveau de l'injecteur à plein régime est quant à elle égale à $p_B = 20$ bar.

L'eau liquide est injectée dans le ballon supérieur (repère 1), puis circule à travers des tubes (rep. 2) jusqu'au ballon inférieur (rep. 3). L'eau passe de nouveau dans des tubes (rep. 4) pour rejoindre le ballon supérieur et se transformer à sa sortie en vapeur.

Les tubes sont placés dans le foyer de combustion afin d'être en contact direct avec la source de chaleur créée par le brûleur et ainsi faire bouillir l'eau pour produire de la vapeur.

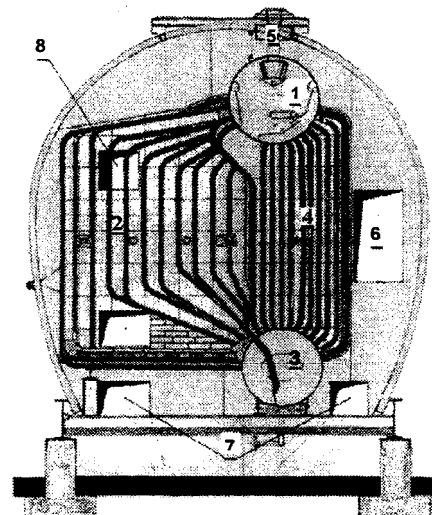
Les bouches (rep. 6 et 7) permettent d'évacuer les fumées produites par la combustion.

En cas de surchauffe dans le foyer, une soupape de sécurité (rep. 8) permet l'évacuation de la vapeur sous pression.

Dans le régime normal de fonctionnement de la chaudière, l'eau qui entre dans la chaudière est vaporisée de façon isobare sous une pression de 6 bar.

Elle ressort de la chaudière à l'état de vapeur saturante sèche (document).

Document : vue en coupe d'une chaudière vapeur



1. Sur le diagramme de Mollier **à rendre avec la copie**, placer le point D correspondant à la vapeur en sortie de chaudière et préciser la température T_D . Justifier.
2. Une sécurité placée sur le dispositif vapeur permet en cas de surpression d'évacuer la vapeur dans l'atmosphère, la pression seuil d'ouverture de la soupape est tarée à $p_s = 10$ bar. Pour tester ce dispositif on bloque la vapeur dans la chaudière et on maintient le chauffage, la transformation peut alors être considérée comme isochore.

La vapeur d'eau est assimilée à un gaz parfait.

Montrez que dans ces conditions la température T_s de cette dernière, au moment de l'ouverture de la soupape est voisine de 450 °C.

3. Placez le point S sur le diagramme de Mollier.

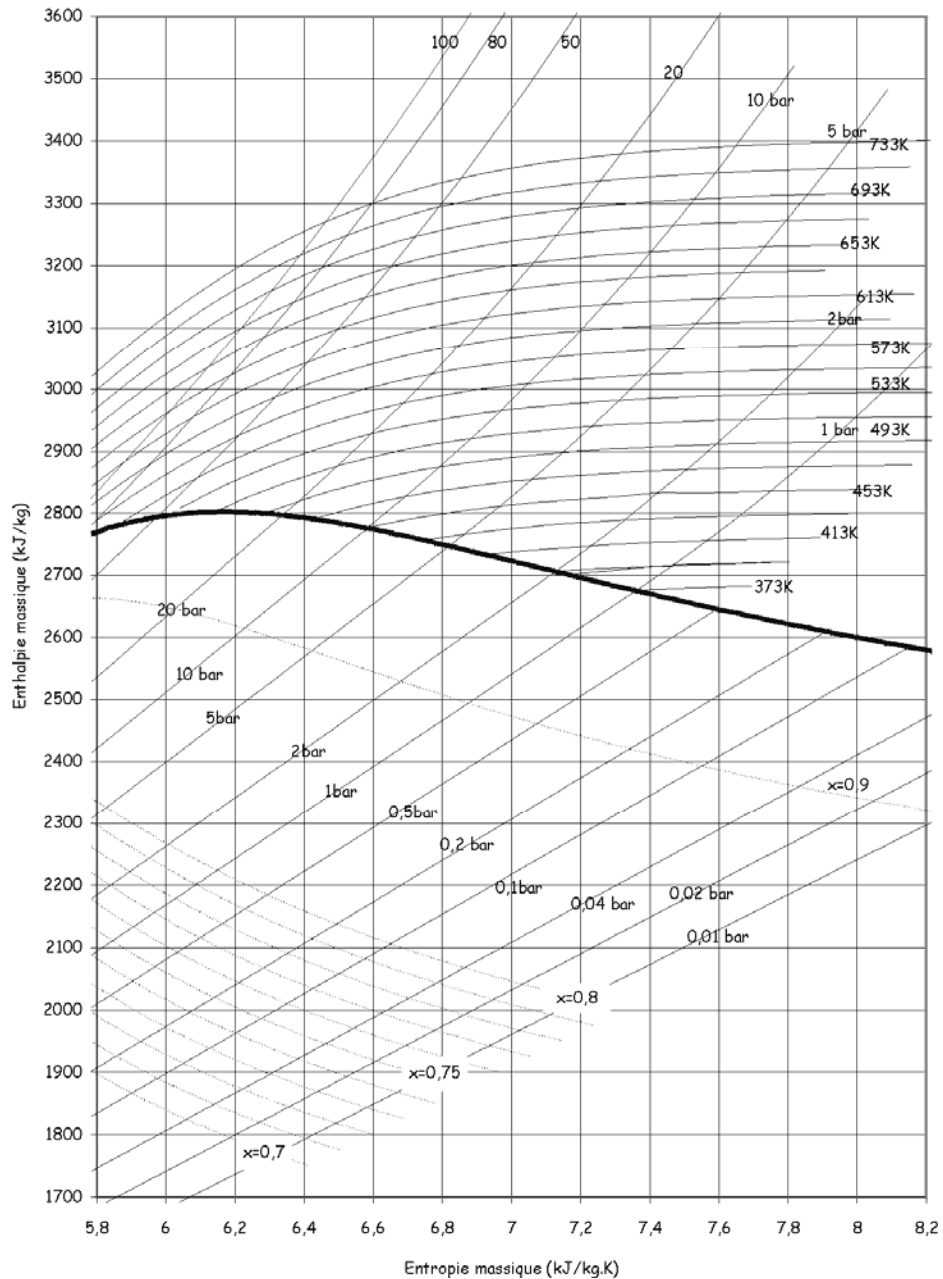
La soupape peut-être assimilée à une tuyère convergente, la pression critique au niveau du col est donnée par la formule

$$p_c = p_s (2/(\gamma+1))^{1/\gamma-1}$$

Pour cette question on donne $\gamma = 1,22$. Calculez p_c .

4. Si l'on admet que la détente est isentropique, placez le point E sur le diagramme de Mollier, en déduire l'état de la vapeur en fin de transformation (nature, température).

Diagramme de Mollier de l'eau



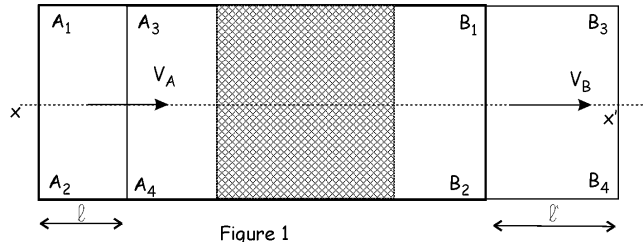
BTS Techniques Physiques pour l'Industrie et le Laboratoire 1999

On considère un écoulement stationnaire dans une conduite présentant une symétrie de révolution autour de l'axe $x'x$. L'écoulement est supposé unidimensionnel, c'est à dire que les paramètres du gaz ne dépendent que de l'abscisse x .

Dans tout le problème, le gaz considéré sera supposé parfait d'équation d'état $\frac{p}{\rho} = r \cdot T$, où p désigne la pression, ρ la masse volumique, T la température et $r = \frac{R}{M}$ (avec R la constante molaire des gaz et M la masse molaire du gaz). On désigne par U l'énergie interne, H l'enthalpie, q_m le débit massique, c_p et c_v les capacités thermiques massiques à pression et volume constant, supposées indépendantes de la température et $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$.

1. Donner la définition de l'enthalpie.
 - 1.1. Rappeler l'unité des capacités thermiques massiques.
 - 1.2. Expliquer pourquoi on peut écrire, dans le cas d'un gaz parfait :

$$dU = m \cdot c_v \cdot dT \text{ et } dH = m \cdot c_p \cdot dT.$$



2. Ecoulement avec perte de charge à travers une conduite de section constante.

Dans le tube de section S (figure 1), un tampon de laine de verre crée une chute de pression dans le gaz en mouvement. On admet qu'à une distance suffisante du tampon l'écoulement est laminaire : on appelle P_A la pression en amont du tampon et P_B la pression en aval.

On s'intéresse à la transformation $(A) \rightarrow (B)$ qui fait passer le gaz du volume délimité par $A_1A_2B_2B_1$ au volume délimité par $A_3A_4B_4B_3$.

 - 2.1. Montrer que les vitesses d'écoulement, \vec{v}_A en zone amont et \vec{v}_B en zone aval, sont uniformes.
 - 2.2. Montrer que la masse m du gaz de la tranche de fluide $A_1A_2A_4A_3$ de largeur ℓ est égale à celle de la tranche de fluide $B_1B_2B_4B_3$ de largeur ℓ' .
 - 2.3. Calculer le travail W_{AB} reçu par le gaz au cours de la transformation $(A) \rightarrow (B)$ en fonction de P_A, P_B, S, ℓ, ℓ' .
 - 2.4. Etablir la relation entre la variation d'énergie interne $(U_B - U_A)$ du gaz, le travail W_{AB} et la quantité de chaleur Q reçus par le gaz au cours de la transformation $(A) \rightarrow (B)$.
 - 2.5. En posant $V_A = S\ell$ et $V_B = S\ell'$, montrer que $(U_B + P_B \cdot V_B) - (U_A + P_A \cdot V_A) = Q$.
 - 2.6. Que peut-on dire des températures amont T_A et aval T_B si l'écoulement est rendu adiabatique ? Quelle est la fonction d'état ainsi conservée ?

3. Ecoulement dans une tuyère de section variable

On suppose que la modification de diamètre d'une section décrite est assez lente pour que la vitesse du fluide qui s'écoule soit pratiquement parallèle à $x'x$ et de même valeur pour toutes les particules du gaz situées dans la tranche d'épaisseur δx d'abscisse x .

On suppose que la variation de la surface perpendiculaire à $x'x$ est assez lente pour que la vitesse du fluide qui s'écoule soit pratiquement parallèle à $x'x$ et de même valeur $v(x)$ pour toutes les particules du gaz situées dans la tranche d'épaisseur dx d'abscisse x .

On appelle (π_A) et (π_B) (figure 2) les plans d'abscisses x_A et x_B , le gaz entrant par (π_A) et sortant par (π_B) .

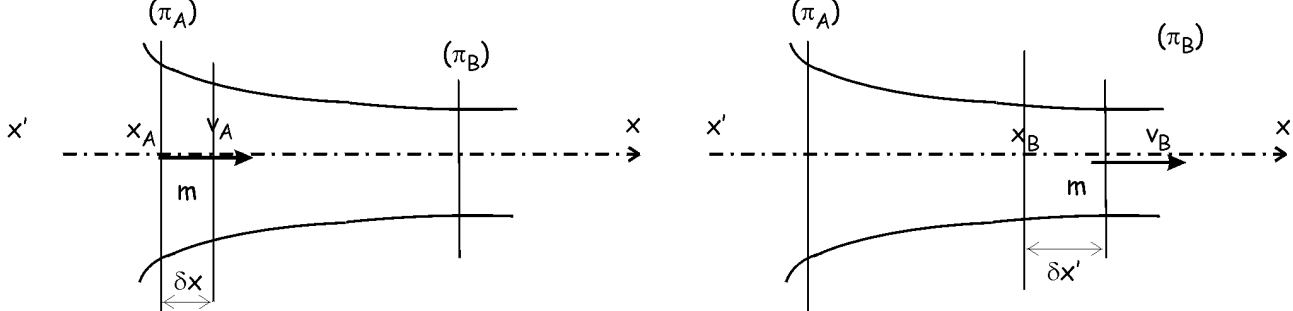


Figure 2

- 3.1. Evaluer le travail W_{AM} des forces de pression sur la tranche de masse m au cours de son passage du plan (π_A) au plan (π_B) . On l'exprimera en fonction de la pression P_A , de la vitesse v_A , de la section S_A en A et des quantités analogues en B . Montrer que $W_{AB} = \left(\frac{P_A}{\rho_A} - \frac{P_B}{\rho_B} \right) m$.

3.2. Montrer que l'on peut écrire : $(H_B + \frac{1}{2} m v_B^2) - (H_A + \frac{1}{2} m v_A^2) = Q$

où Q est la quantité de chaleur reçue par la masse de gaz m entre les abscisses x_A et x_B .

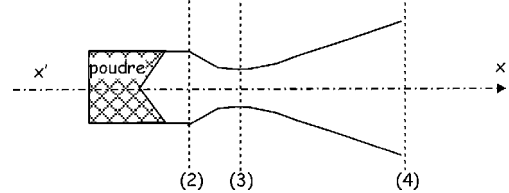
4. Ecoulement d'un gaz dans une tuyère d'un propulseur à poudre :

On se propose d'étudier l'écoulement d'un gaz dans une tuyère d'un propulseur à poudre. L'écoulement est assez rapide pour qu'aucun échange de chaleur n'ait lieu : $Q = 0$.

Les indices seront relatifs à l'abscisse de la section et les vitesses du gaz sont prises relativement au propulseur.

Le gaz chaud est produit par la combustion de la poudre.

Dans la chambre de combustion, la pression et la température sont uniformes. Elles sont égales respectivement à p_2 et T_2 , valeurs prises par ces paramètres à la section (2) d'entrée de la tuyère, la vitesse des gaz étant pratiquement nulle en (2) et en amont de (2) : $v_2 = 0$.



Le gaz est ensuite détendu dans la tuyère à symétrie de révolution autour de l'axe $x'x$. Elle est dite «convergente-divergente» et possède donc un col (3). Le gaz sort de la tuyère en (4) à la pression p_4 . L'écoulement dans la tuyère sera supposé permanent et isentropique.

Pour des raisons non étudiées ici, la vitesse du gaz au col est égale à la célérité du son en ce point : $v_3 = c(T_3)$.

Les applications numériques seront effectuées avec $r = 500 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; $\gamma = 1,25$; $p_4 = 10^5 \text{ Pa}$; conditions de fonctionnement : $p_2 = 50 \times 10^5 \text{ Pa}$ et $T_2 = 2450 \text{ K}$.

4.1. Ecrire la différence des enthalpies $H_3 - H_2$ du gaz entre les sections (2) et (3) de deux façons différentes.

4.2. En déduire l'expression de v_3 , vitesse du gaz en (3) en fonction de T_2 , T_3 et c_p . Comment évolue v lorsque l'on se rapproche de la sortie de la tuyère ?

4.3. En utilisant la relation de Mayer : $m(c_p - c_v) = n \cdot R$ avec n le nombre de mole de gaz contenu dans la masse m , montrer que $c_p = \frac{\gamma}{\gamma - 1} \cdot r$

4.4. Sachant que la vitesse du son dans un gaz de masse molaire M à la température T_3 est :

$$c(T_3) = \sqrt{\frac{\gamma R T_3}{M}} ; \text{ exprimer } T_3 \text{ en fonction de } T_2 \text{ et } \gamma. \text{ Calculer } T_3.$$