

## 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  $\gamma$  (on note  $\gamma$  le rapport  $\frac{c_p}{c_v}$ ).
5. Donner l'expression littérale de la masse volumique  $\rho$  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  $30^\circ\text{C}$  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  $10^5 \text{ Pa}$  à la température de  $0^\circ\text{C}$  vaut 22,4 L.

1. Quel est le volume de ce gaz s'il était dans les conditions normales ( $10^5 \text{ Pa}$ ,  $0^\circ\text{C}$ ) 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  $30^\circ\text{C}$  sous la pression de  $10^5 \text{ Pa}$ .
  - 2.2. Ce gaz est injecté dans le réservoir en période estivale par une compression isotherme à la température de  $30^\circ\text{C}$  qui porte le gaz de  $10^5 \text{ Pa}$  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  $5890 \text{ m}^3$ , volume mesuré dans les conditions de stockage ( $30^\circ\text{C}$ ,  $4,9 \text{ MPa}$ ).  
Ce gaz est détendu au cours d'une transformation adiabatique jusqu'à la pression de 2,5 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  $\theta = 20^\circ\text{C}$
  - 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  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$ .

### *BTS Esthétique et Cosmétique 2002*

Données :

- Constante des gaz parfaits  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$
- 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  $20^\circ\text{C}$  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  $10 \times 10^5$  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 :  $R = 8,32 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- 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  $R = 8,31 \text{ J mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- Les chaleurs molaires sont données dans le tableau ci-dessous

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

- Le dioxygène  $\text{O}_2$  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  $\theta_1 = 20^\circ C$  (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  $\theta_2 = 40^\circ C$  (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  $\Delta U$  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  $60 \text{ cm}^3$  ; c'est le volume espace mort de la chambre de combustion. Lorsque le piston descend, il balaye un volume de  $450 \text{ cm}^3$  (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  $27^\circ C$  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  $430^\circ C$ . 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  $V = 100 \text{ L}$ .

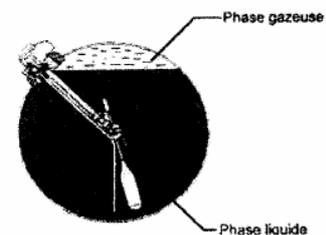
**I** Lors du remplissage du réservoir à la température  $\theta = 15^\circ C$ , le GPL occupe 85% du réservoir sous forme liquide et le reste sous forme gazeuse. La pression  $p_1$  du gaz est alors de  $4,5 \times 10^5$  Pa.

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

$\theta$ (°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>

1. Tracer le graphe représentant la pression de vapeur saturante  $p_s$  (bar) en fonction de la température  $\theta$  (°C); (échelle : 6 bar/cm et 10°C/cm).
  - 1.1. Indiquer sur le graphe
    - le point critique par la lettre C,
    - le point triple par la lettre T.
  - 1.2. Donner la signification du
    - point critique
    - point triple.
2. Pour déterminer la chaleur latente massique  $L$  (J/kg) de vaporisation, on utilise souvent la relation
 
$$L = T(\nu_g - \nu_l) dp/dT$$
  - 2.1. Donner la signification et l'unité (dans le système international) des autres grandeurs.
  - 2.2. Le rapport  $dp/dT$  correspond au coefficient directeur de la tangente en un point : tracer la tangente au point B (voir représentation graphique).
  - 2.3. En déduire la valeur numérique de  $dp/dT$  en bar.°C<sup>-1</sup> puis en Pa.K<sup>-1</sup>.
  - 2.4. Sachant qu'à cette température, au point B :  $\nu_g - \nu_l = 3,65 \times 10^{-2}$  (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  $20^\circ\text{C}$  et sous la pression de  $2 \times 10^5 \text{ Pa}$  (état 1).

1. Calculer le volume du gaz.
2. On laisse le gaz se détendre à température constante sous une pression extérieure constante de  $10^5 \text{ Pa}$  (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.

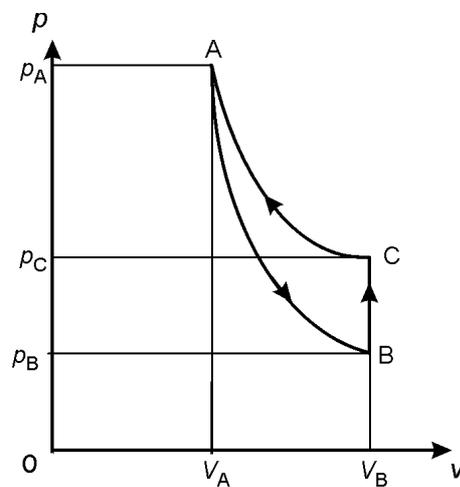
Un gaz parfait subit les transformations réversibles représentées sur le diagramme ci-contre :

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  $\Delta U_{CA}$  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.

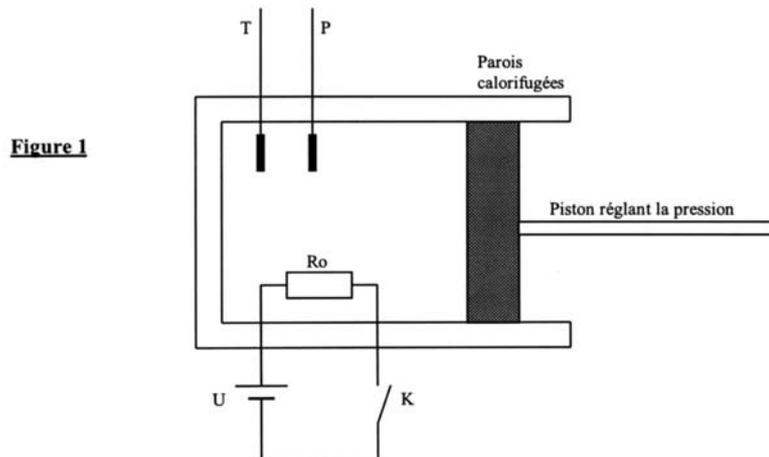
Une résistance chauffante  $R_o = 100 \Omega$  de capacité thermique également négligeable est disposée à l'intérieur de l'enceinte. Elle est alimentée par un générateur maintenant une tension fixe  $U = 20V$  entre ses bornes. Dans tout le problème,  $R_o$  est supposée constante.

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  $\Delta U_{12}$  du gaz quand il passe de l'état 1 à l'état 2. En déduire la capacité molaire du gaz à volume constant  $C_V$ .

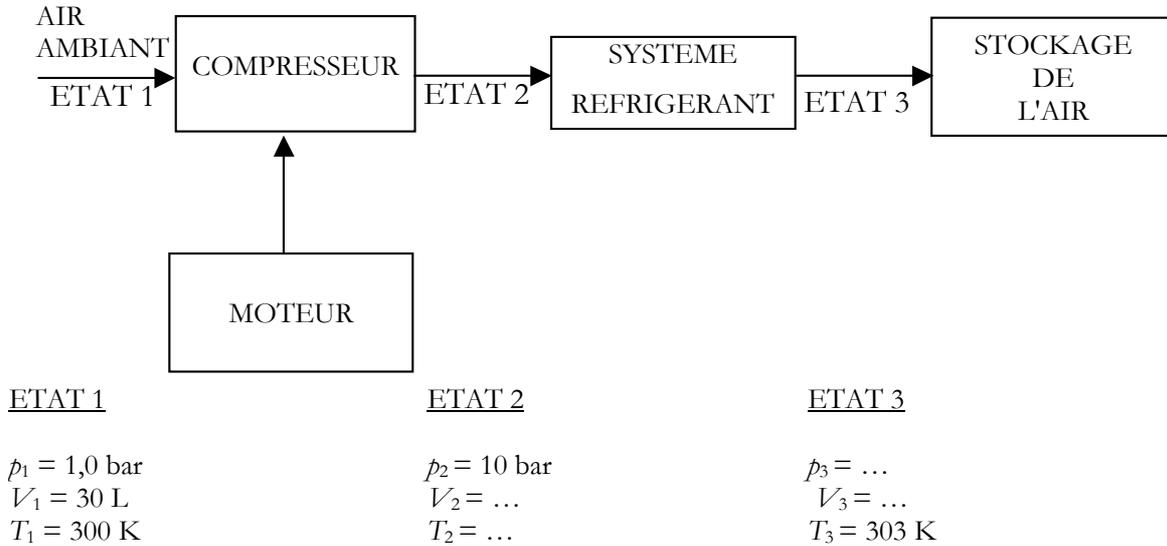
#### ANNEXE



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

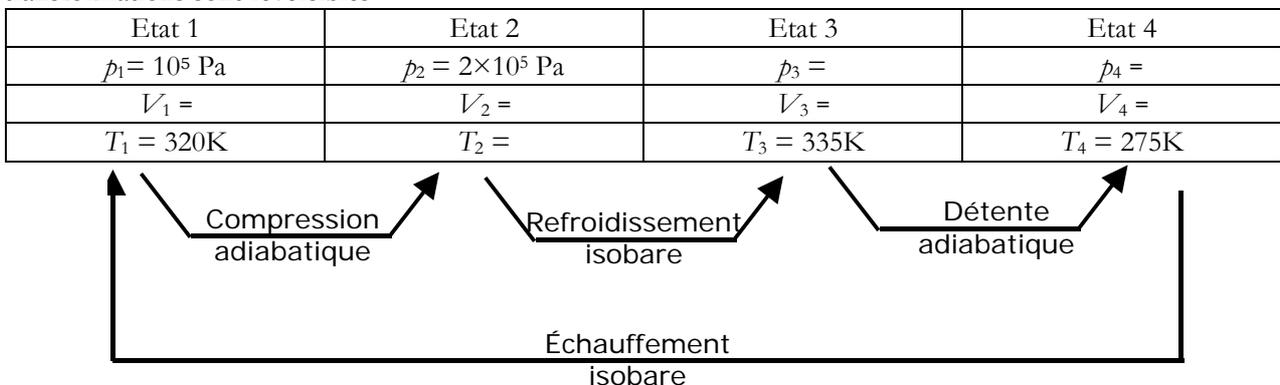
1. Calculer le nombre de moles prélevées à l'air ambiant par le compresseur.
2. Calculer  $V_2$  et  $T_2$ .
3. Calculer  $V_3$ .
4. Tracer l'allure du diagramme  $p = f(V)$  qui permet de suivre le comportement du gaz au cours des transformations qui le font passer de l'état 1 à l'état 2 puis de l'état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

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

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

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

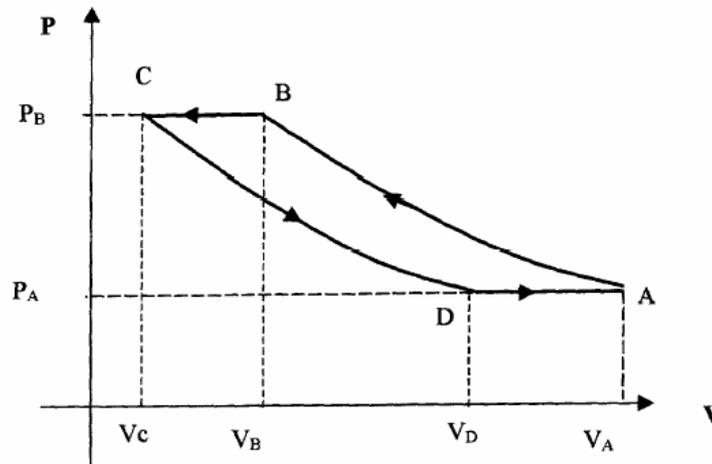
De plus on assimile l'air à un gaz parfait de masse molaire 29 g/mol.

- Quel est le nombre de moles d'air correspondant à 1 kg d'air ?
- 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.
- Montrer que la température  $T_2$  est de 390K.
- Calculer les quantités de chaleur mises en jeu au cours de chacune des transformations.
  - En déduire la quantité de chaleur mise en jeu au cours du cycle.
- Énoncer le premier principe de la thermodynamique pour un cycle.
  - 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 :  $C_p = 49,9 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- Rapport des capacités calorifiques de ce gaz :  $\gamma = \frac{C_p}{C_v} = 1,2$
- Constante des gaz parfaits:  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

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

Les transformations AB et CD sont adiabatiques

- Citer le nom des transformations BC et DA.
- Calculer le nombre de moles  $n$  de ce gaz.
- Calculer la pression  $p_B$  et le volume  $V_B$  du gaz au point B.
- 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 ( $\text{m}^3$ )	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 ( $\text{CO}_2$ ), 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  $\eta$  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

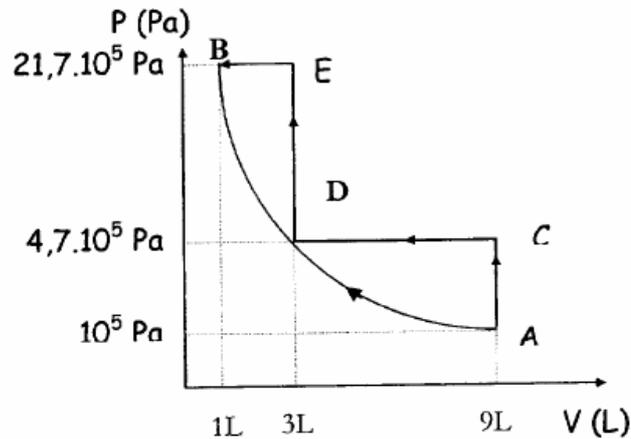
- les masses molaires atomiques :  $M(\text{C}) = 12 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ,  $M(\text{O}) = 16 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- la constante des gaz parfaits:  $R = 8,3 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$  et  $r = R/M$  ( $M$ : Masse molaire moléculaire).
- la chaleur 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 bar =  $10^5$  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  $16^{\circ}\text{C}$ ) 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 ( $\text{m}^3$ )	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 :  $R = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- chaleur molaire à pression constante  $C_p = 29,1 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .
- 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 ( $V_A = 40 \text{ L}$ ;  $\theta_A = 27 \text{ °C}$ ;  $p_A = 1,5 \times 10^5 \text{ Pa}$ ).

- Calculer la quantité de matière correspondante. (Nombre de moles).
- On effectue les transformations suivantes sur ce gaz
  - Une transformation adiabatique réversible de l'état A à l'état B telle que  $V_B = 8 \text{ L}$ .
  - Une transformation isobare de l'état B à l'état C telle que :  $\theta_C = 627 \text{ °C}$ .
  - Une transformation adiabatique réversible de l'état C à l'état D.
  - Une transformation isochore de l'état D à l'état A.
  - Définir les trois types de transformations : isobare ; isochore ; adiabatique.
  - Déterminer la pression, le volume et la température de chaque point du cycle A–B–C–D. Donner les résultats sous forme de tableau.
  - Représenter le cycle dans le diagramme de Clapeyron  $p = f(V)$ .  
Echelle :  $1 \text{ cm} \rightarrow 4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$   $1 \text{ cm} \rightarrow 2 \times 10^5 \text{ Pa}$
- Calculer la quantité de chaleur totale échangée lors du cycle.
- 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.
- Représenter ces transformations sur un diagramme  $T$ - $S$  (température-entropie).
  - Exprimer la température  $T_1$  en fonction de  $T_0$ ,  $p_0$ ,  $p_1$ , et  $\gamma$ .
    - Application numérique : calculer  $T_1$  et le rapport  $k = T_1/T_0$ .
    - Obtiendrait-on une température  $T_1$  plus petite ou plus grande en utilisant un gaz diatomique ?
  - 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.
  - Calculer le travail  $W_2$  mis en jeu lors de la détente ②, décrite ci-dessus, d'une mole d'hélium. Commenter son signe.
  - Calculer le travail total échangé avec l'extérieur par kilogramme d'hélium ayant subi les transformations ① et ②. Commenter son signe.
  - 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  $k$ .
  - 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  $n$ .
  - 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  $30 \text{ K}$ ?

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  $10^5 \text{ Pa}$  :  $4,2 \text{ K}$

**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 dichlorodifluorométhane de formule  $\text{CCl}_2\text{F}_2$  (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 :  $R = 8,32 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ .
- les masses molaires (en  $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ ) sont : carbone : 12 ; chlore : 35,5 ; fluor : 19.
- la masse volumique de l'air, dans les conditions normales de température et de pression, vaut :  $\rho_A = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

**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  $20^\circ\text{C}$ .

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 $\rho'$ en $\text{kg} \cdot \text{dm}^{-3}$	vapeur $\rho''$ 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  $M = 28 \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1}$

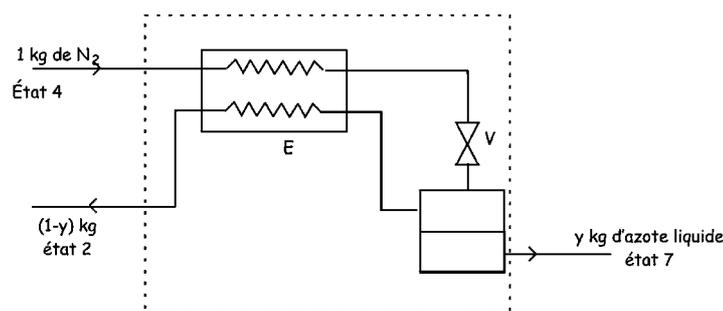
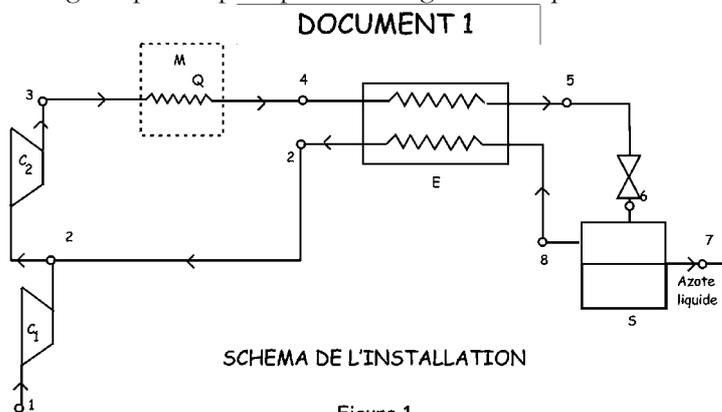
On rappelle la constante des gaz parfaits :  $R = 8,314 \text{ J } \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

- 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

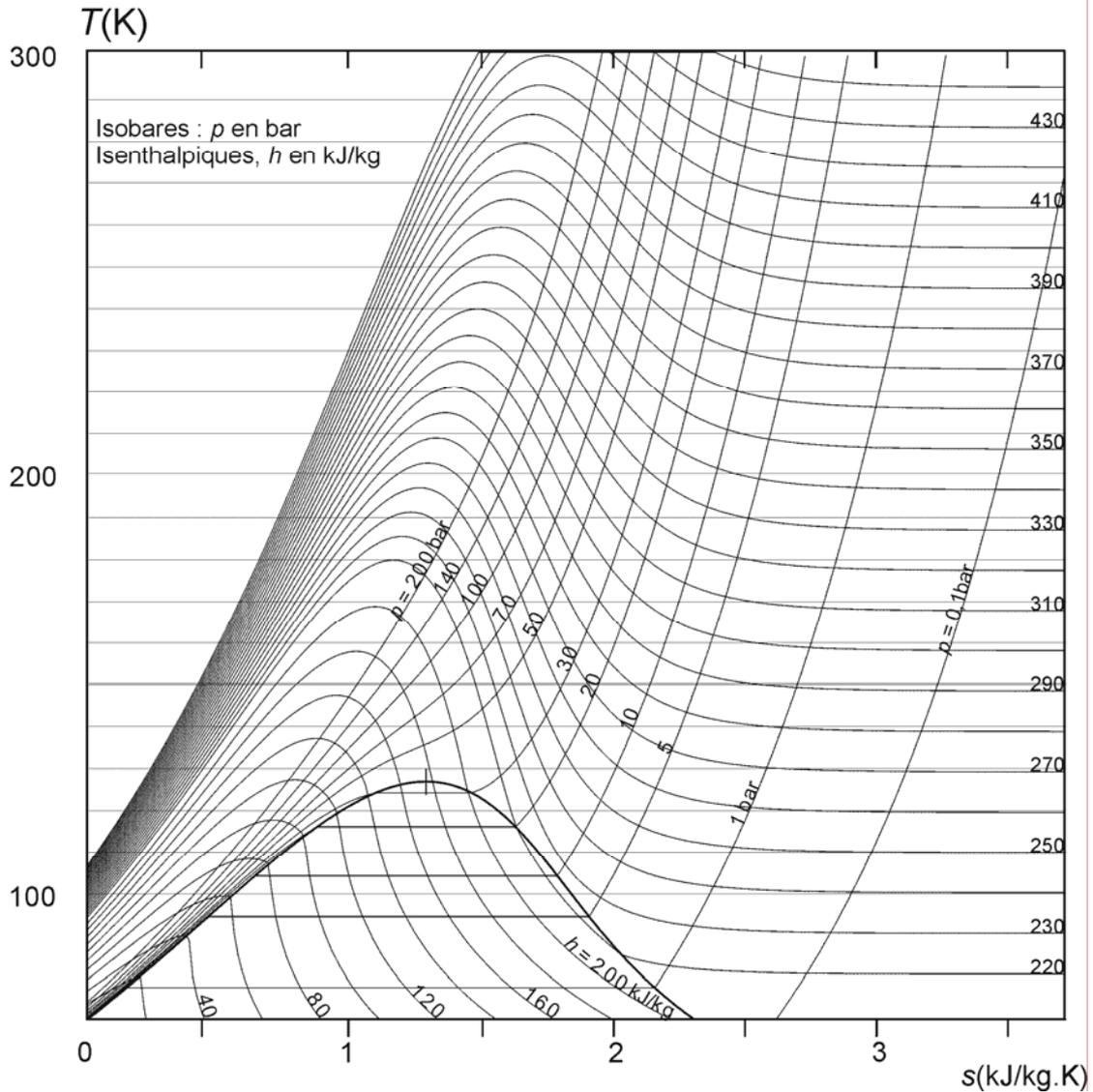
La machine frigorifique a un coefficient d'efficacité de 3.

- 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  $h_2$ .

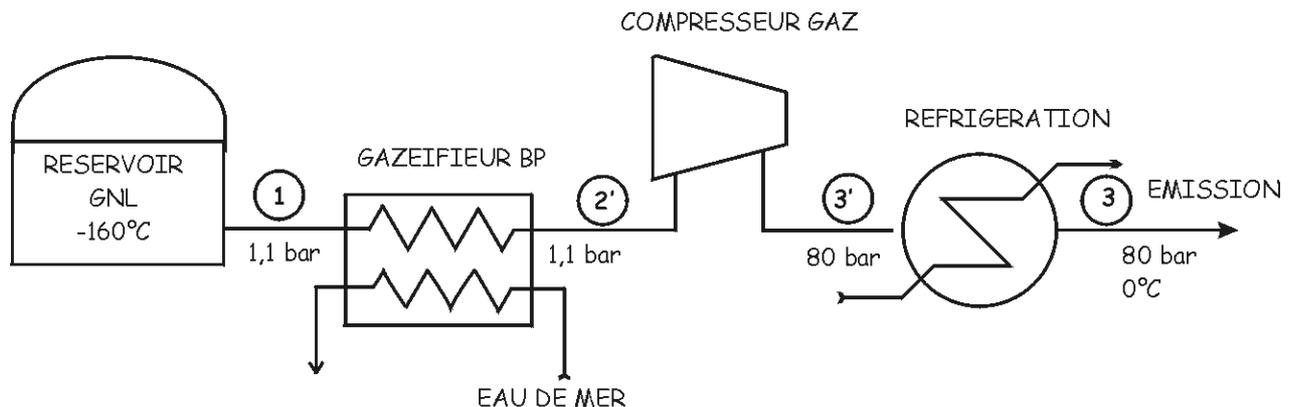
Déterminer la quantité de chaleur massique  $Q_{12'}$  échangée lors de cette regazéification.

- 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.

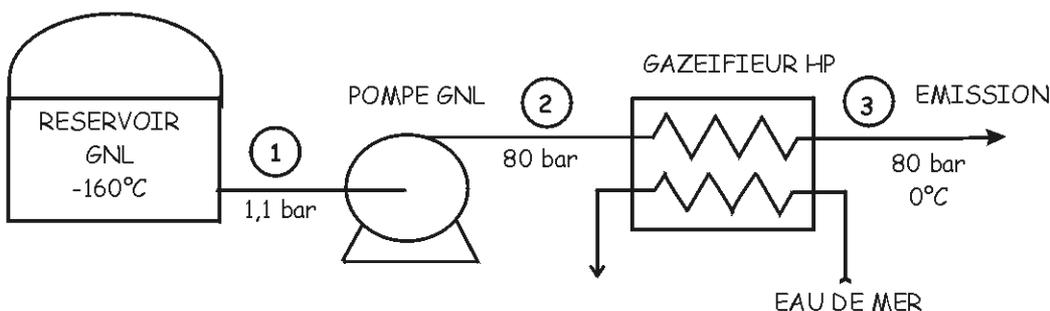
## 2. 2 Pompage en phase liquide (Figure -B-)

- 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.

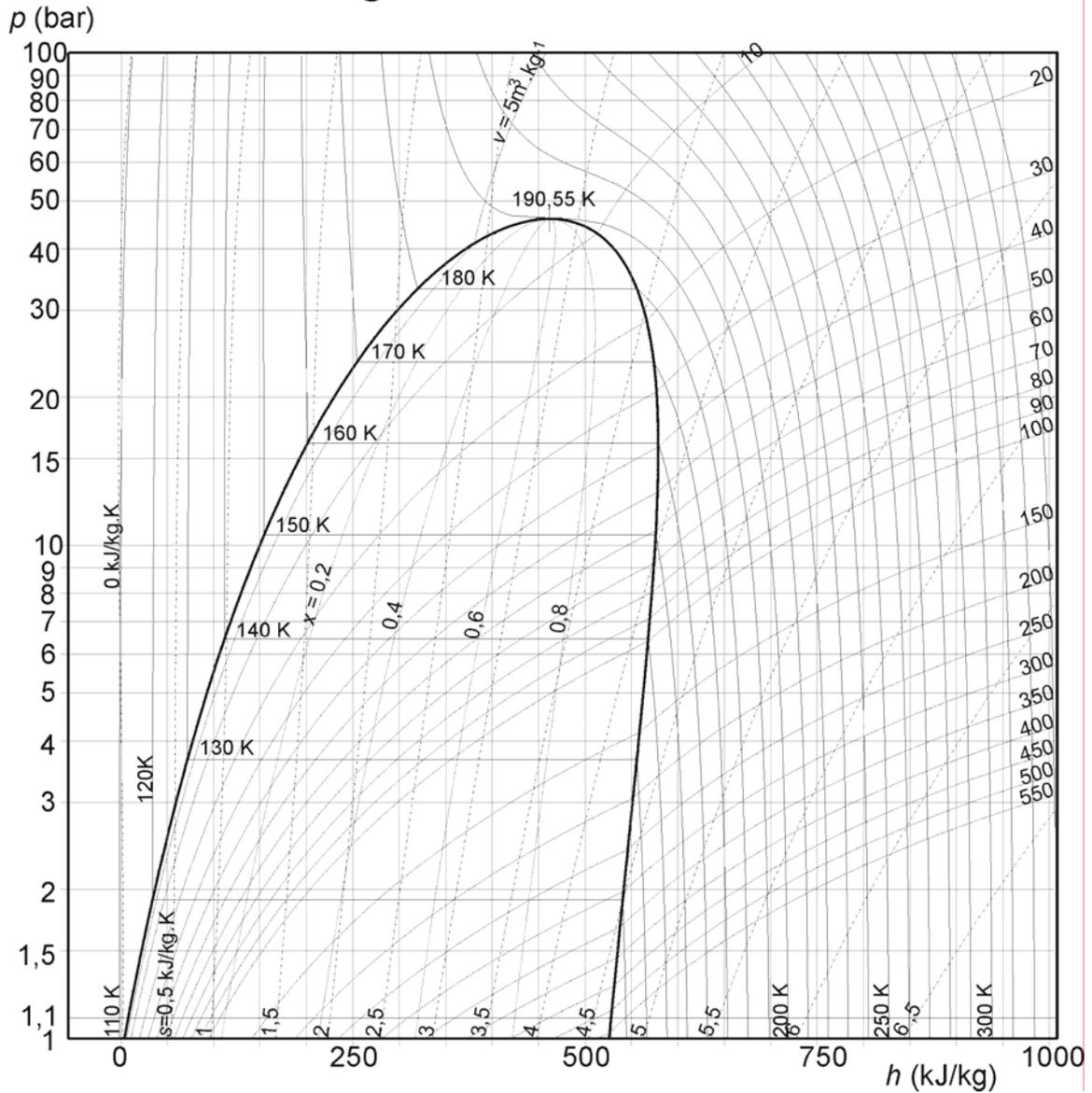
### FIGURE A COMPRESSION EN PHASE GAZEUSE



### FIGURE B POMPAGE EN PHASE LIQUIDE

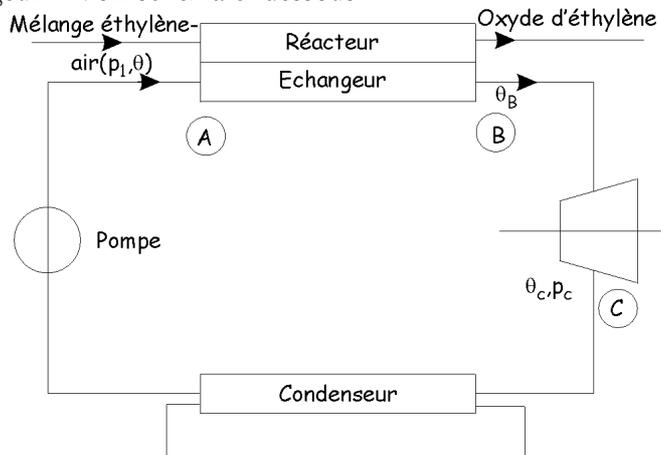


# Diagramme du méthane



## 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  $\gamma$ . 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  $\eta$ .
3. Applications numériques
  - 3.1. Le gaz est monoatomique  $C_V = \frac{3}{2}R$  : justifier brièvement cette valeur. En déduire  $C_P$  puis  $\gamma$ .

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

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