



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

**Campagne 2013**

BREVET de TECHNICIEN SUPÉRIEUR

# CONTRÔLE INDUSTRIEL et RÉGULATION AUTOMATIQUE

E3 SCIENCES PHYSIQUES

## U-31 CHIMIE-PHYSIQUE INDUSTRIELLES

Durée : 2 heures

coefficient : 2,5

	Durée conseillée
Chimie industrielle	45 minutes
Physique industrielle	1 h 15

### Matériel autorisé :

- Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (Circulaire n° 99-186, 16/11/1999).

**Tout autre matériel est interdit.**

**Aucun document autorisé.**

### Document à rendre avec la copie :

L'ANNEXE N° 2 (pages 7/8, 8/8) est fournie en double exemplaire, un exemplaire étant à remettre avec la copie, l'autre servant de brouillon éventuel



Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Le sujet se compose de 8 pages, numérotées de 1/8 à 8/8.

- **Chimie industrielle** : page 2 à page 3
- **Physique industrielle** : page 3 à page 8

## Chauffage d'un groupe scolaire par une pompe à chaleur

En ce début de 21<sup>ème</sup> siècle, nous sommes confrontés à un défi : la gestion des ressources énergétiques.

Les combustibles fossiles trop largement exploités s'épuisent. Le passage aux énergies renouvelables est difficile et lent.

Par rapport aux dispositifs à combustion, l'un des dispositifs thermodynamiques les plus adaptés à fournir de la chaleur à basse température, est la pompe à chaleur.

Lorsque cela est possible les pompes à chaleur sont installées à proximité des points d'eau (lacs, rivières, ...) pour utiliser l'eau ainsi disponible.

### CHIMIE INDUSTRIELLE (20 points)

#### Exercice n° 1

L'eau de la rivière qui alimente l'évaporateur d'une pompe à chaleur ne doit pas être trop dure pour éviter les problèmes dus au dépôt de tartre. Le dosage de cette eau par une solution d'EDTA permet de déterminer la concentration molaire totale en ions calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et en ions magnésium  $\text{Mg}^{2+}$  :  $C_0 = [\text{Ca}^{2+}]_0 + [\text{Mg}^{2+}]_0 = 4,0 \times 10^{-3} \text{ mol.L}^{-1}$ .

1. Calculer la dureté de cette eau ou titre hydrotimétrique TH en degré français ° f.  
On rappelle que ce titre est donné par la relation  $\text{TH} (\text{° f}) = 10^4 \times ([\text{Ca}^{2+}] + [\text{Mg}^{2+}])$ . Les concentrations sont exprimées en  $\text{mol.L}^{-1}$ .  
Conclure quant à la qualité de l'eau de la rivière à l'aide du tableau ci-dessous :

TH (° f)	0 à 7	7 à 15	15 à 25	25 à 45	> à 45
Eau	Très douce	Douce	Moyennement dure	dure	Très dure

2. Un des traitements utilisés pour faire chuter le titre hydrotimétrique en dessous de 10 ° f est l'utilisation d'une résine échangeuse d'ions de formule simplifiée ( $\text{RSO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ).
  - 2.1. La résine échange ses ions  $\text{Na}^+$  avec les ions  $\text{Ca}^{2+}$  et les ions  $\text{Mg}^{2+}$  de l'eau à traiter.  
Écrire les deux équations des réactions d'échange, sachant que l'on obtient ( $2 \text{RSO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) pour la réaction entre ( $\text{RSO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ) et  $\text{Ca}^{2+}$  et ( $2 \text{RSO}_3^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ) pour la réaction entre ( $\text{RSO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ) et  $\text{Mg}^{2+}$ .
  - 2.2. Calculer la nouvelle concentration molaire  $C_1 = [\text{Ca}^{2+}]_1 + [\text{Mg}^{2+}]_1$ . Après adoucissement de l'eau dure, l'eau traitée a un titre hydrotimétrique  $\text{TH} = 10 \text{ ° f}$ .
3. Le débit de l'eau de rivière utilisée étant égal à  $4,0 \times 10^3 \text{ L.h}^{-1}$ , calculer le nombre total de moles d'ions  $n_t = n_{\text{Ca}^{2+}} + n_{\text{Mg}^{2+}}$  échangés pendant une heure.
4. En déduire le volume de résine utilisé, en une heure, sachant qu'un litre de résine échange 2 moles d'ions  $\text{Ca}^{2+}$  et  $\text{Mg}^{2+}$  au total.

## CAE3CI

### Exercice n° 2

Les combustions, qui sont parmi les réactions les plus importantes pour l'homme, présentent l'inconvénient de produire du dioxyde de carbone  $\text{CO}_2$  et de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$  à l'état gazeux, responsables, notamment de l'effet de serre.

Un groupe scolaire a utilisé, avant le passage à une pompe à chaleur, une ancienne chaudière, sans système de condensation d'eau vapeur, qui fonctionnait au gaz de ville. Ce combustible gazeux est essentiellement constitué de méthane  $\text{CH}_4$ .

Le but de cet exercice est de calculer, entre autres, le volume et la masse de dioxyde de carbone  $\text{CO}_{2(g)}$  rejeté dans l'atmosphère lors de l'utilisation de la chaudière, par heure de fonctionnement et de comprendre l'avantage de son remplacement.

Les calculs portant sur les divers volumes gazeux se feront dans les conditions normales de température et de pression (C.N.T.P).

#### Données :

- Dans ces conditions, le volume molaire est  $V_m = 22,4 \times 10^{-3} \text{ m}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$
- Masses molaires :  $M(\text{C}) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$  ;  $M(\text{O}) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$
- La composition en volume de l'air est environ de 20% de dioxygène  $\text{O}_{2(g)}$  et 80% de diazote  $\text{N}_{2(g)}$
- Chaleur latente de vaporisation de l'eau  $\text{H}_2\text{O}$  :  $L_v(\text{H}_2\text{O}) = 2\,450 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$

1. Écrire l'équation de la combustion complète du méthane gazeux dans l'air (Les réactifs et les produits sont à l'état gazeux).
2. La combustion s'effectuant dans les conditions stœchiométriques et le débit volumique horaire du méthane étant égal à  $q_v = 5,0 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ , calculer :
  - 2.1. Le volume de dioxygène  $\text{O}_{2(g)}$  utilisé en une heure ;
  - 2.2. Le volume d'air correspondant ;
  - 2.3. En déduire le pouvoir comburivore du méthane en  $\text{m}^3$  d'air par  $\text{m}^3$  de combustible (C.N.T.P).
3. Étude des produits de la combustion :
  - 3.1. Calculer les volumes de dioxyde de carbone  $\text{CO}_{2(g)}$  et d'eau  $\text{H}_2\text{O}_{(g)}$  produits par cette combustion pendant une heure de fonctionnement de la chaudière.
  - 3.2. En déduire la masse correspondante de  $\text{CO}_{2(g)}$  rejeté dans l'atmosphère par heure de fonctionnement.
4. Calculer le pouvoir fumigène humide du méthane en  $\text{m}^3$  de fumées humides par  $\text{m}^3$  de combustible (C.N.T.P).
5. Pendant une heure de fonctionnement de la chaudière, la masse d'eau rejetée sous forme de vapeur vaut 8,0 kg. Calculer la quantité de chaleur rejetée dans l'atmosphère du fait de la condensation de la vapeur d'eau.

## PHYSIQUE INDUSTRIELLE (30 points)

Nous nous proposons d'étudier, dans ce problème, la puissance nécessaire d'une pompe à chaleur destinée au chauffage d'un groupe scolaire situé dans le sud de la France (où la température extérieure descend rarement en dessous de  $0^\circ \text{C}$ ), profitant du fait que ce groupe scolaire se situe à proximité immédiate d'une rivière.

## CAE3CI

Le **schéma n° 1** de l'**annexe n° 1** illustre, de manière simplifiée, le fonctionnement de l'ensemble. Au total, la pompe à chaleur transfère de la chaleur de la rivière à l'eau destinée au chauffage des bâtiments du groupe scolaire.

Le fluide frigorigène est un dérivé de l'éthane. Il est identifié sous le numéro « HFA 134a ».

Ce fluide se trouve, au départ, à l'état de vapeur saturante sèche au point A sous une pression  $P_A = 2$  bar. Il subit, dans un cycle (**schéma n° 1** sur l'**annexe n° 1**) :

- une compression AB isentropique jusqu'à la pression  $P_B = 20$  bar
- un refroidissement isobare BC, où la vapeur se désurchauffe (se refroidit), puis se condense totalement jusqu'au point C à l'état de liquide saturant
- une détente isenthalpique jusqu'au point D de pression  $P_D = P_A$
- enfin une évaporation totale isobare jusqu'au point de départ A.

### I. Étude du cycle parcouru par le fluide

- I.1. Placer sur le diagramme enthalpique de Mollier joint en **annexe n° 2**, les points A, B, C, D et tracer le cycle. En déduire les valeurs numériques des enthalpies massiques  $h_A, h_B, h_C, h_D$ .
- I.2. Quel est l'état physique du fluide à la sortie du détendeur au point D ? Indiquer le titre en vapeur du fluide.
- I.3. Calculer le travail massique  $w_{AB}$  échangé par le fluide avec le compresseur lors de sa compression AB.
- I.4. Calculer la quantité de chaleur massique  $q_{BC}$  cédée par le fluide lors de son refroidissement dans le condenseur.
- I.5. Calculer la quantité de chaleur massique  $q_{DA}$  reçue par le fluide dans l'évaporateur.
- I.6.
  - I.6.1. Définir et calculer l'efficacité  $e$  du cycle.
  - I.6.2. Comparer cette valeur avec l'efficacité  $e_{\text{carnot}}$  du cycle de Carnot monophasé fonctionnant entre les deux températures de palier  $T_C$  et  $T_D$  du cycle diphasé précédent. On rappelle que  $e_{\text{carnot}} = \frac{T_C}{T_C - T_D}$ .
  - I.6.3. En déduire le rendement dit thermodynamique de l'installation  $r = \frac{e}{e_{\text{carnot}}}$ .

### II. Échanges thermiques entre la chambre froide et l'entrepôt

Le groupe scolaire comporte, entre autres, une chambre froide destinée à la conservation de denrées périssables, séparée d'un entrepôt par une simple cloison en béton (voir **schéma n° 2, annexe n° 1**).

La température de la chambre froide est constante et vaut  $\theta_{\text{ch.f}} = -15$  °C, celle de l'entrepôt est égale à  $\theta_{\text{ent}} = 18$  °C et il y règne une humidité relative  $H_r = 60\%$ .

## CAE3CI

On rappelle que l'humidité relative  $H_r$  à une température  $\theta$ , est donnée par la relation :  $H_r = \frac{P_v}{P_{sat}}$  où  $P_v$  est la pression partielle de vapeur d'eau et  $P_{sat}$  est la pression de vapeur saturante de l'eau.

La cloison a pour épaisseur  $e = 10$  cm, on veut éviter que de la vapeur se condense sur sa surface intérieure car on conserve de la nourriture dans la chambre froide.

### Données :

- Valeur de la pression de vapeur saturante de l'eau en fonction de la température :

$P_{sat}$ (mbar)	12,27	13,12	14,02	14,97	15,97	17,04	18,07	19,36	20,62	21,96
$\theta$ (°C)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19

- Rappel : les résistances thermiques sont définies par les relations :

$$R_{conduction} = \frac{e}{\lambda S} \quad \text{et} \quad R_{convection} = \frac{1}{h S}$$

- Coefficient de conductivité thermique du béton :  $\lambda = 0,90 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Coefficient de transmission thermique par convection air-béton  $h = 9,0 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$   
(même coefficient  $h$  pour les convections intérieures et extérieures)

### II.1.

II.1.1. Calculer la valeur de la pression de vapeur  $P_v$  qui règne à l'intérieur de l'entrepôt.

II.1.2. À l'aide du tableau, en déduire la valeur de la température de rosée  $\theta_r$  de l'entrepôt.

II.2. Exprimer et calculer la résistance thermique  $R$  de la paroi en béton en tenant compte des phénomènes de conduction et convection (air intérieur et air extérieur) pour une surface  $S = 1,0 \text{ m}^2$ .

II.3. Exprimer et calculer la puissance (ou flux) thermique  $P$  transmise pour une surface de  $1,0 \text{ m}^2$ .

### II.4.

II.4.1. Le régime étant permanent, en déduire la température  $\theta_i$  de la paroi intérieure de la cloison du côté de l'entrepôt.

II.4.2. En s'appuyant sur la valeur de la température de rosée obtenue précédemment, préciser s'il y a condensation de la vapeur d'eau sur cette paroi, du côté de l'entrepôt.

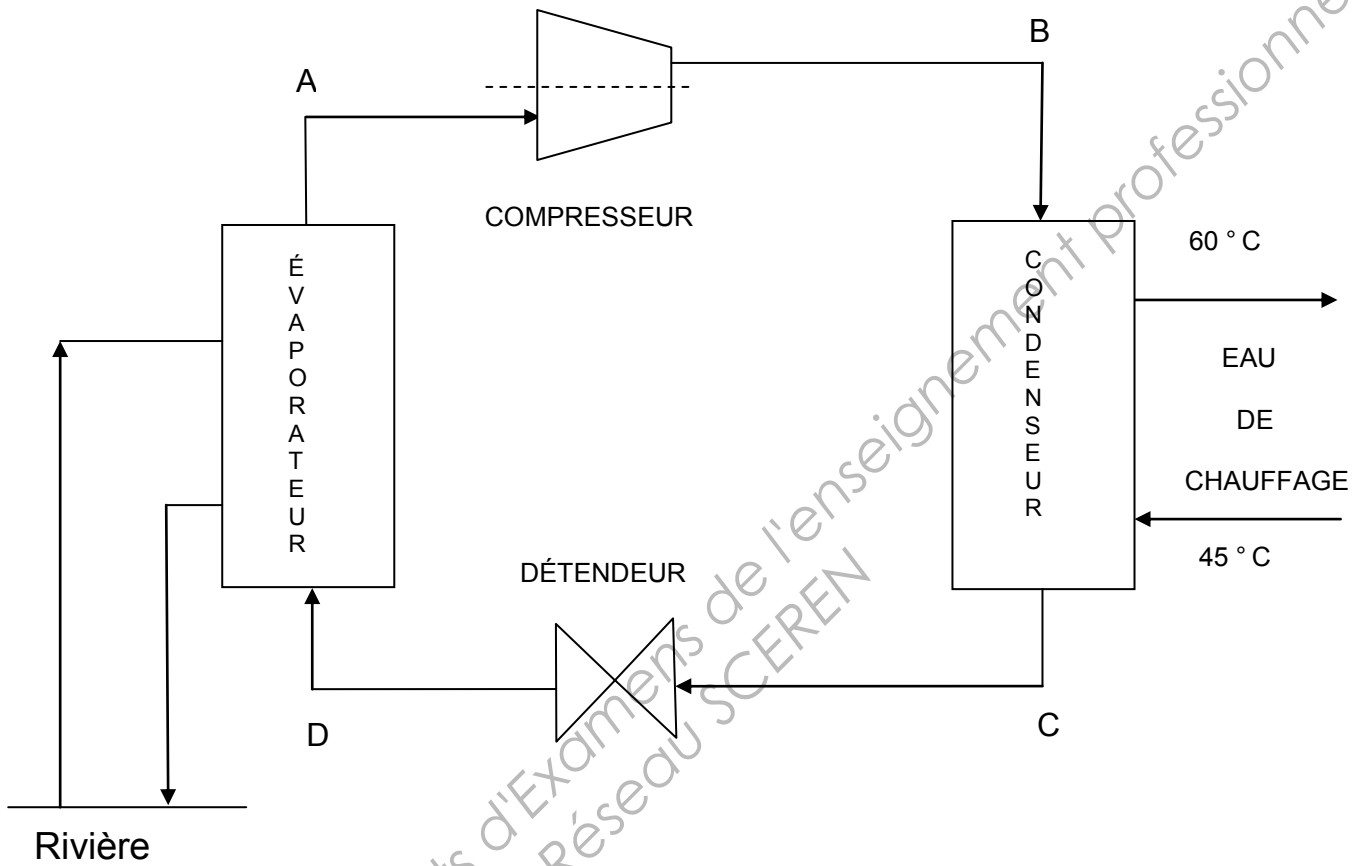
II.5. On isole, du côté entrepôt, avec du polystyrène, de coefficient de conductivité thermique  $\lambda_1 = 0,04 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$  et d'épaisseur  $e_1 = 5,0$  cm.  
On suppose que le coefficient de transmission thermique par convection reste le même :  $h = 9,0 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ .

II.5.1. Calculer la nouvelle résistance thermique  $R_1$  relative à  $S = 1,0 \text{ m}^2$  et la nouvelle puissance thermique transmise  $P_1$ .

II.5.2. Y aura-t-il, encore, condensation de la vapeur d'eau du côté de l'entrepôt ?

**ANNEXE N° 1**

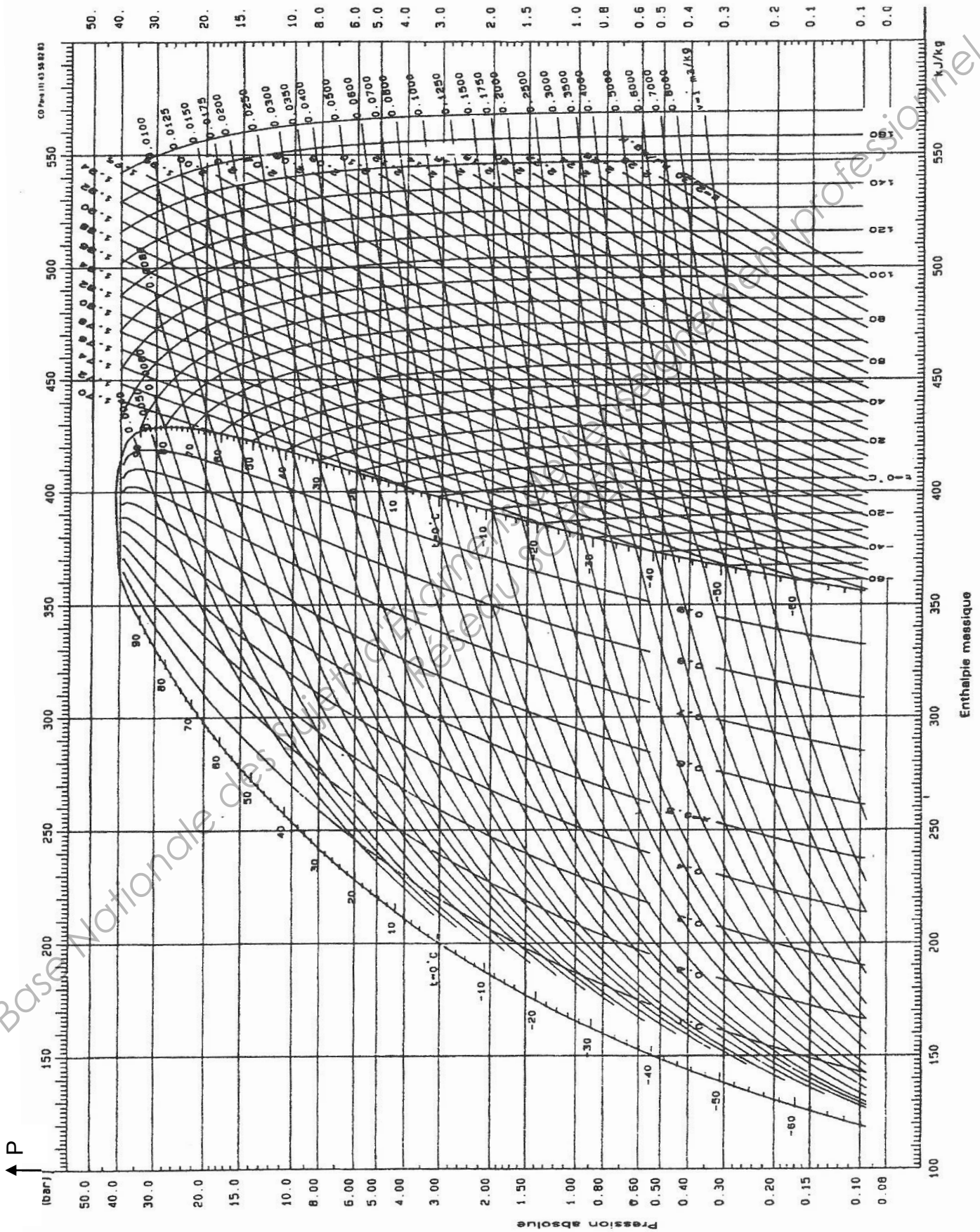
**Schéma n° 1**



**Schéma n° 2**

Chambre froide  $\theta_{ch.f} = -15 \text{ °C}$	c l o i s o n	p a r o i i n t é r i e u r e	Entrepôt  $\theta_{ent} = 18 \text{ °C}$
--	---------------------------------	---	--

**ANNEXE N° 2 : Diagramme enthalpique de Mollier  
du HFA 134a (1,1,1,2-tétrafluoroéthane)**





**ANNEXE N° 2 : Diagramme enthalpique de Mollier  
du HFA 134a (1,1,1,2-tétrafluoroéthane)**

