

BACCALAUREAT PROFESSIONNEL

INDUSTRIES DES PROCÉDES

**E2 : ETUDE ET CONDUITE
DES OPERATIONS UNITAIRES**

DUREE EPREUVE : 4 heures COEFFICIENT : 3

DOSSIER CORRIGE

Code sujet : 0206-IP T

1-1 BILAN MATIERE

1-1-1 Débits molaires et massiques d'alimentation, de distillat et de soutirât de la Première colonne.

$$X_{D1} = 99,95 \% \quad X_{F1} = 52,3 \%$$

Débit molaire de CHF₃ dans le distillat: $D_1 \cdot X_{D1} = 100 \text{ kmol.h}^{-1}$.

$$\text{Débit molaire du premier distillat: } D_1 = \frac{100}{0,9995} = 100,05 \text{ kmol.h}^{-1}.$$

Débit molaire de CHF₂Cl dans le premier distillat: $D_1 (1-X_{D1}) = 0,05 \text{ kmol.h}^{-1}$.

Bilan global sur la première colonne: $F_1 = D_1 + W_1$.

Bilan partiel en CHF₃ sur la première colonne: $F_1 X_{F1} = D_1 X_{D1} + W_1 X_{W1}$.

On en déduit:

$$(D_1 + W_1) X_{F1} = D_1 X_{D1} + W_1 X_{W1}$$

$$W_1 = D_1 \left(\frac{X_{D1} - X_{F1}}{X_{F1} - X_{W1}} \right) \quad \text{et} \quad F_1 = D_1 + W_1.$$

$$D_1 = 100,05 \text{ kmol.h}^{-1} \quad W_1 = 91,329 \text{ kmol.h}^{-1} \quad \text{et} \quad F_1 = 191,379 \text{ kmol.h}^{-1}.$$

Débit molaire des constituants dans l'alimentation de la première colonne.

$$\text{CHF}_3: F_1 X_{F1} = 100,091 \text{ kmol.h}^{-1}$$

$$\text{CHF}_2\text{Cl}: 0,301 \cdot F_1 = 57,605 \text{ kmol.h}^{-1}$$

$$\text{CHCl}_2\text{F}: 0,176 \cdot F_1 = 33,683 \text{ kmol.h}^{-1}$$

Débit massique des constituants dans l'alimentation de la première colonne.

$$\text{CHF}_3: 6105,55 \text{ kg.h}^{-1}$$

$$\text{CHF}_2\text{Cl}: 4637,2 \text{ kg.h}^{-1}$$

$$\text{CHCl}_2\text{F}: 3368,3 \text{ kg.h}^{-1}$$

Débit massique de l'alimentation de la première colonne: $f_1 = 14,111 \text{ t.h}^{-1}$.

Débit massique des constituants dans le distillat de la première colonne:

$$\text{CHF}_3: 6100 \text{ kg.h}^{-1}$$

$$\text{CHF}_2\text{Cl}: 4,027 \text{ kg.h}^{-1}$$

Débit massique du distillat de la première colonne: $d_1 = 6104,03 \text{ kg.h}^{-1} \approx 6,104 \text{ t.h}^{-1}$.

Débit molaire des constituants dans le soutirât de la première colonne.

$$\text{CHF}_3: 100,091 - 100 = 0,091 \text{ kmol.h}^{-1}$$

$$\text{CHF}_2\text{Cl}: 57,605 - 0,05 = 57,555 \text{ kmol.h}^{-1}$$

$$\text{CHCl}_2\text{F}: 33,683 \text{ kmol.h}^{-1}$$

Débit massique des constituants dans le soutirât de la première colonne.

$$\text{CHF}_3: 5,55 \text{ kg.h}^{-1}$$

$$\text{CHF}_2\text{Cl}: 4633,18 \text{ kg.h}^{-1}$$

$$\text{CHCl}_2\text{F}: 3368,3 \text{ kg.h}^{-1}$$

Débit massique du soutirât de la première colonne: $w_1 = 8007,03 \text{ kg.h}^{-1} \approx 8 \text{ t.h}^{-1}$.

| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | Folio 1 / 13 |

1-1-2 Etat physique de CHF₃ Dans l'alimentation de la deuxième colonne.

Dans l'alimentation de la deuxième colonne, le CHF₃ est à l'état gazeux.

On ne peut donc pas l'avoir dans le distillat de la deuxième colonne.

Car pour une pression de 19 bars et une température de 50 °C en tête de la deuxième colonne (température la plus basse dans cette colonne), tout le trifluorométhane (CHF₃) restant dans le soutirât de la première colonne se trouve à l'état de vapeur, mélangé avec les autres incondensables dans cette colonne. Les températures allant en croissant de la tête au pied de la colonne l'isotherme à 50°C est la plus basse pour le CHF₃ dans cette colonne. Cette isotherme est cependant très supérieure à la température critique du CHF₃. On ne risque donc pas de l'avoir à l'état liquide dans la cette colonne.

1-2 DETERMINATION DES PRESSIONS PARTIELLES EN TETE DES COLONNES DE RECTIFICATION.

1-2-1 pour une température de -6°C, nous pouvons sur le diagramme de Mollier et la courbe de tensions de vapeur (annexe- 6 et 7), lire les tensions de vapeur de CHF₃ (p_1^0) et de CHF₂Cl (p_2^0) purs:

CHF₃ : $p_1^0 = 22$ bars.

CHF₂Cl : $p_2^0 = 4$ bars.

Perte de charge dans la colonne: $\Delta P = 0,3$ bars

Pression partielle en CHF₃ : $p_1 = p_1^0 X_{D1} = 21,989$ bars

Pression partielle en CHF₂Cl : $p_2 = p_2^0 (1 - X_{D1}) = 0,002$ bar

Pression totale des deux gaz en tête de colonne $p_T = p_1 + p_2 + \Delta P = 22,3$ bars

1-2-2 La lecture de la courbe de tensions de vapeur de CHF₂Cl en annexe -7 nous donne à la température de 50°C: $p_3^0 = 19$ bars.

Tension de vapeur de CHCl₂F pur $p_4^0 = 6$ bars

1-2-3 En tête de cette colonne, CHF₃ est gazeux et ne peut se condenser vu sa température.

Pression partielle en CHF₂Cl: $p_3 = p_3^0 X_{D2} = 18,985$ bars.

Pression partielle en CHCl₂F : $p_4 = p_4^0 (1 - X_{D2}) = 0,006$ bar

1-3 ETUDE DE LA RECTIFICATION EN CONTINU SUR LA DEUXIEME COLONNE

1-3-1 Représentations graphiques des droites opératoires pour un mélange CHCl₂F-CHF₂Cl introduit bouillant dans la colonne: voir Annexe – 8.

a) Graphiquement, on lit $X_D / (R_{min} + 1) = 0,440$ et on en déduit, $R_{min} = 0,69$.

Taux de reflux: $R = 1,5 \times 0,69 = 1,03$.

b) Tracé de la droite d'alimentation (Voir annexe 8)

| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | | Folio 2 / 13 |

CORRIGE

c) **Tracé des droites opératoires d'enrichissement et d'épuisement pour un taux de reflux $R = 1,5 R_{\min}$.**

Ordonné à l'origine de la droite opératoire d'enrichissement : $X_D / (R + 1) = 0,48$.
(Voir annexe 8)

1-3-2 Détermination du NET et du NER. On trouve :

- Dans le tronçon d'enrichissement : **6 étages théoriques.**
- Dans le tronçon d'épuisement : **6 étages théoriques + un bouilleur.**

Nombre d'étages réels: $NER = 12/0,66 = 18,2$ soit **19 étages réels**

2 - Préparation du mélange alimentaire de la première colonne par compression polytropique bi-étagée et refroidissement intermédiaire du mélange gazeux.

N.B. Des informations complémentaires et relatives à cette deuxième partie sont fournies dans le formulaire (voir annexe 1).

2 - 1 COMPRESSION BI -ETAGEES.

Pression relative d'aspiration : $p_1 = 1,543$ bar relatif.
Température d'aspiration du mélange gazeux: $T_1 = 25^\circ\text{C}$.
Coefficient de compression polytropique : $k = 1,37$.
Taux de compression pour les deux étages : $\tau = 3$.
Pression atmosphérique: $p_{\text{atm}} = 1,013$ bar.
Température de refoulement du mélange gazeux: T_2 .
Pression de refoulement du mélange gazeux: p_2 .

2-1-1 pression de refoulement et température de refoulement.

Pression d'aspiration du premier étage de compression:
 $P_1 = 1,543 + 1,013 = 2,556$ bars.

Pression de refoulement du premier étage: $p_2 = \tau \cdot p_1 = 7,668$ bars

Température de refoulement du premier étage: $T_2 = T_1 (\tau)^{\frac{k-1}{k}}$:

$$T_2 = 298(3)^{\frac{0,37}{1,37}} = 401 \text{ k soit } T_2 = 128^\circ\text{C}$$

2-1-2 Débit volumique des gaz à l'aspiration et au refoulement du premier étage de compression.

Débit volumique d'aspiration du premier étage : $q_{v1} = \frac{q_n R T_1}{p_1} = 1841,7 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Débit volumique de refoulement du premier: $q_{v2} = \frac{q_n R T_2}{P_2} = 826,1 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | Folio 3 / 13 |

2-1-3 Débit volumique des gaz à l'aspiration du deuxième étage de compression.

Débit volumique d'aspiration du deuxième étage: $q_{v3} = \frac{q_n R T_3}{P_2} = 624,2 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Pression de refoulement du deuxième étage: $p_3 = \tau \cdot p_2 = 23,004 \text{ bars}$.

Température de refoulement du deuxième étage: $T_4 = T_3 (\tau)^{\frac{k-1}{k}}$

$T_4 = 303 \cdot (3)^{\frac{0,37}{1,37}} = 407,66 \text{ K}$ soit $T_4 = 134,66 \text{ °C}$

2-2 Refroidissement intermédiaire des gaz avant la deuxième compression.

2-2-1 Détermination du débit massique d'eau dans l'échangeur.

Débit massique des gaz dans l'échangeur: $q_{mg} = 14009,4 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

Puissance de l'échangeur: $\Phi = q_{mg} \cdot C_{pg} \cdot (128 - 30)$.

$\Phi = 947313,26 \text{ kJ} \cdot \text{h}^{-1}$, soit $\Phi = 263,14 \text{ kW}$

puissance de l'échangeur:

$\Phi = q_{me} \cdot C_{pe} \cdot \Delta\theta$ on en déduit : $q_{me} = \frac{\Phi}{C_{pe} \Delta\theta}$ soit $q_{me} = 7554,33 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$.

2-2-2 Détermination de la surface d'échange et du nombre de tubes de l'échangeur.

$$DTLM = \frac{(128-46) - (30-16)}{\ln\left(\frac{128-46}{30-16}\right)} = 38,47 \text{ °C}.$$

$$\Phi = K \cdot S \cdot DTLM$$

Surface d'échange de l'échangeur: $S = \frac{\Phi}{K \cdot DTLM}$

$$S = \frac{263,4}{0,8 \cdot 38,47} = 8,56 \text{ m}^2.$$

Nombre de tube dans l'échangeur:

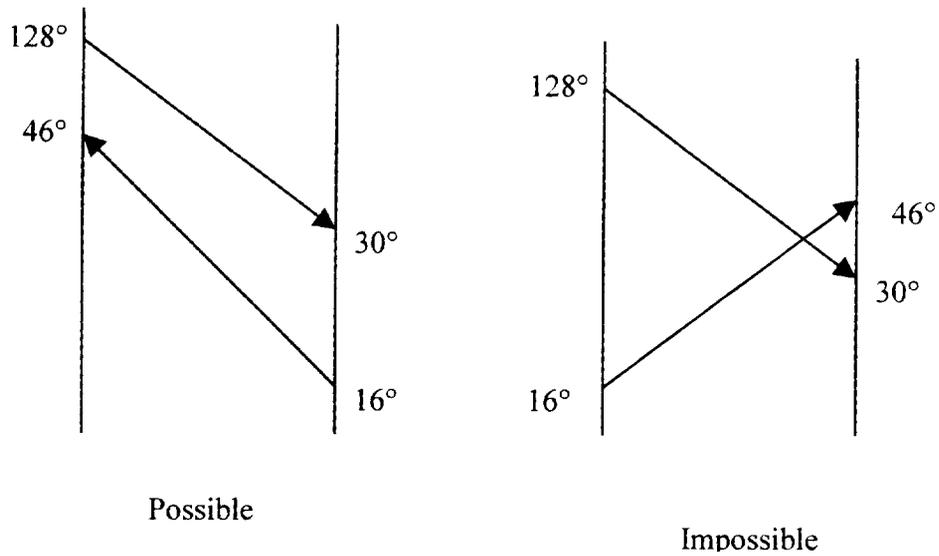
$$S = \Pi \cdot D \cdot l \cdot N \text{ on en déduit } N = \frac{S}{\Pi \cdot D \cdot l} = 31 \text{ tubes}$$

2-2-3 justification du mode de fonctionnement de cet échangeur.

D'après les deux modèles de fonctionnement ci dessous représentés, l'échangeur ne peut fonctionner que dans une disposition de marche à contre courant.

| | | | |
|---------|--|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 -- Etude et Conduite des Opérations Unitaires | | Folio 4 / 13 |

CORRIGE



3-Statique des fluides: Traitement des effluents gazeux toxiques par absorption.

3-1 Hauteur de la garde hydraulique : $\rho g h_3 = \rho g (h_2 + h_1) + \Delta p$

$$h_3 = (h_2 + h_1) + \frac{\Delta p}{\rho g} = (1+2) + \frac{13600 \cdot 0,090}{1149,2} = 4.065 \text{ m}$$

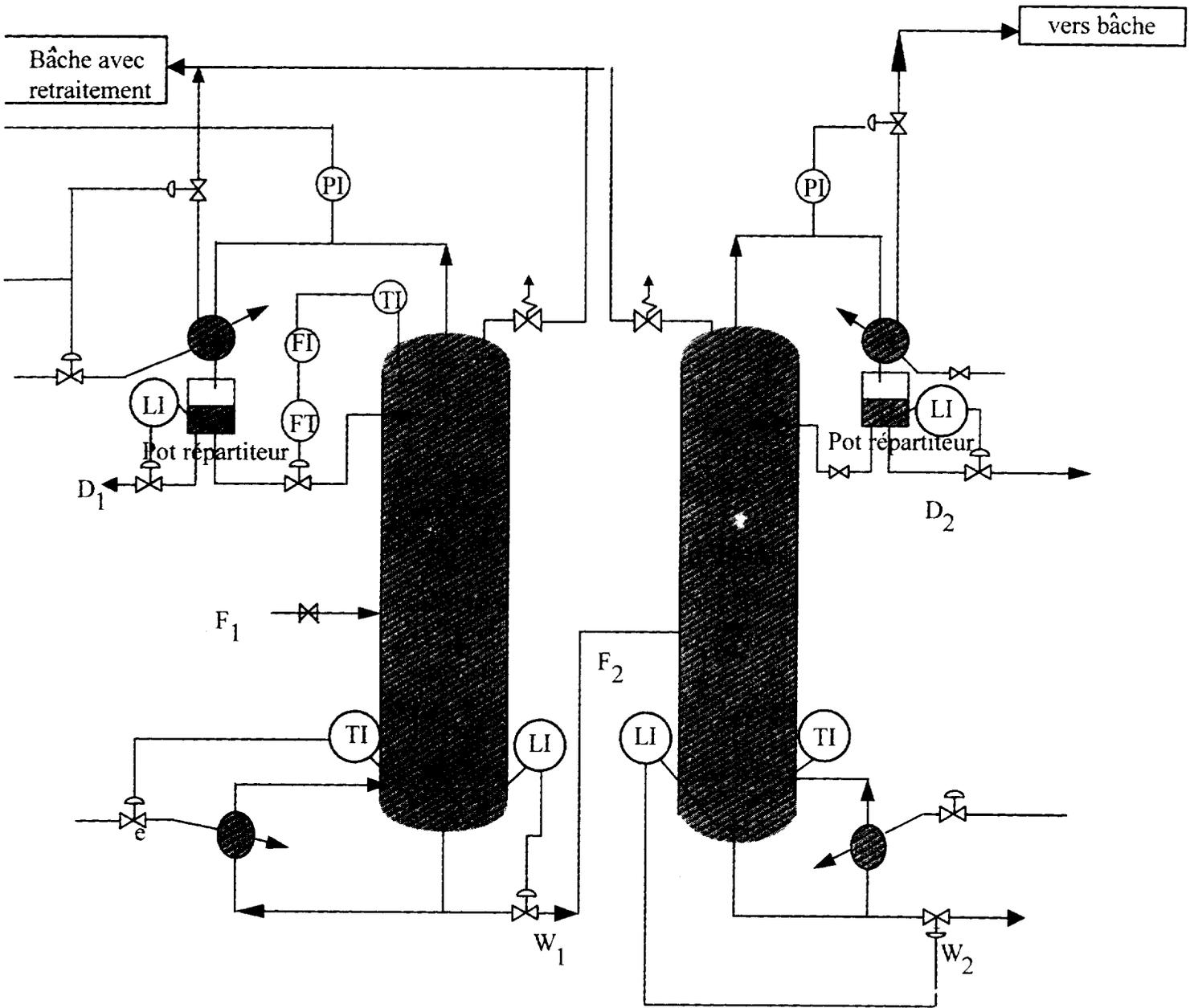
3-2 Pression minimale d'admission d'acide chlorhydrique dans la solution.

$$P = \rho g h_3 + \Delta p = 22547,2 + 12007,44 = 34555 \text{ pa} = 0,346 \text{ bar relatif.}$$

| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | | CORRIGE |
| | | | Folio 5 / 13 |

Annexe 3

Schéma de procédé de la rectification d'hydroalcanes fluorés et chlorofluorés.
(A compléter et à rendre avec votre copie).



| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCÉDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | |
| | | | Folio 6 / 13 |

Annexe 4

Tableau des bilans matières sur les deux colonnes de rectification d'hydroalcanes fluorés et chlorofluorés.

(A compléter et à rendre avec votre copie).

Tableau 1-1-a: Bilan matière sur la première colonne.

| Première colonne fonctionnant à 22 bars | | | | | | | | | |
|---|-----------|----------------------|--------------------|--------------|----------------------|--------------------|----------|----------------------|--------------------|
| | Distillat | | | Alimentation | | | Soutirât | | |
| Constituants | Molaire | Débit Molaire | Débit Massique | Molaire | Débit Molaire | Débit Massique | Molaire | Débit Molaire | Débit Massique |
| | % | kmol.h ⁻¹ | kg.h ⁻¹ | % | kmol.h ⁻¹ | kg.h ⁻¹ | % | kmol.h ⁻¹ | kg.h ⁻¹ |
| CHF ₃ | 99,95 | 100 | 6100 | 52,3 | 100,091 | 6105,55 | 0,1 | 0,091 | 5,55 |
| CHF ₂ Cl | 0,05 | 0,05 | 4,03 | 30,1 | 57,605 | 4637,2 | 63,02 | 57,555 | 4633,18 |
| CHCl ₂ F | 0 | 0 | 0 | 17,6 | 33,683 | 3368,3 | 36,88 | 33,683 | 3368,3 |
| | | | | | | | | | |
| Total | | 100,05 | 61004,03 | 100 | 191,379 | 14111 | 100 | 91,329 | 8007,03 |

Fraction molaire en CHF₂Cl dans le soutirât de la deuxième colonne.

$$X_{w2} = \frac{\frac{x_{w2}}{80,5}}{\frac{x_{w2}}{80,5} + \frac{(1-x_{w2})}{100}} = \frac{\frac{0,08}{80,5}}{\frac{0,08}{80,5} + \frac{(1-0,08)}{100}} = 0,001$$

Soit $X_{w2} = 0,1\%$ en CHF₂Cl

On peut alors résoudre l'équation de bilan matière sur la deuxième colonne et compléter le tableau 1-1-b.

$$D_2 = F_2 \left(\frac{X_{F2} - X_{w2}}{X_{D2} - X_{w2}} \right) \quad \text{et} \quad W_2 = F_2 - D_2$$

| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | |
| | | | Folio 7 / 13 |

4-1 REGULATION: ETUDE DES BOUCLES DE REGULATION DE LA PREMIERE COLONNE.

FOND DE COLONNE

Boucle de température

La vanne TCV est FPMA. Si $T^\circ \nearrow$, il faut fermer la vanne donc S \searrow
Régulateur à **action inverse**.

Boucle de niveau

La vanne LCV est FPMA. Si L \nearrow , il faut ouvrir la vanne donc S \nearrow .
Régulateur à **action directe**.

TETE DE COLONNE

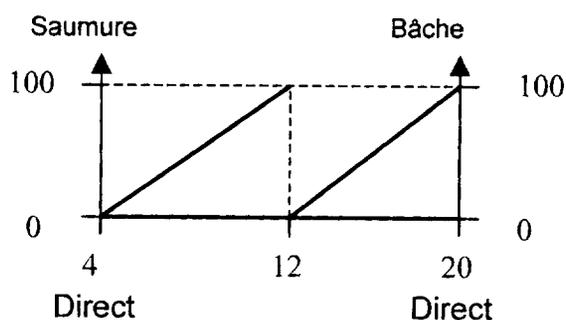
Boucle de niveau

La vanne LCV est FPMA. Si L \nearrow , il faut ouvrir la vanne donc S \nearrow .
Régulateur à **action directe**.

Boucle de débit

La vanne FCV est OPMA. Si F \nearrow , il faut fermer la vanne donc S \nearrow .
Régulateur à **action directe**.

Boucle de pression



Régulateur : Si P \nearrow , S \nearrow donc **action directe**.

Alimentation : La vanne d'alimentation est FPMA

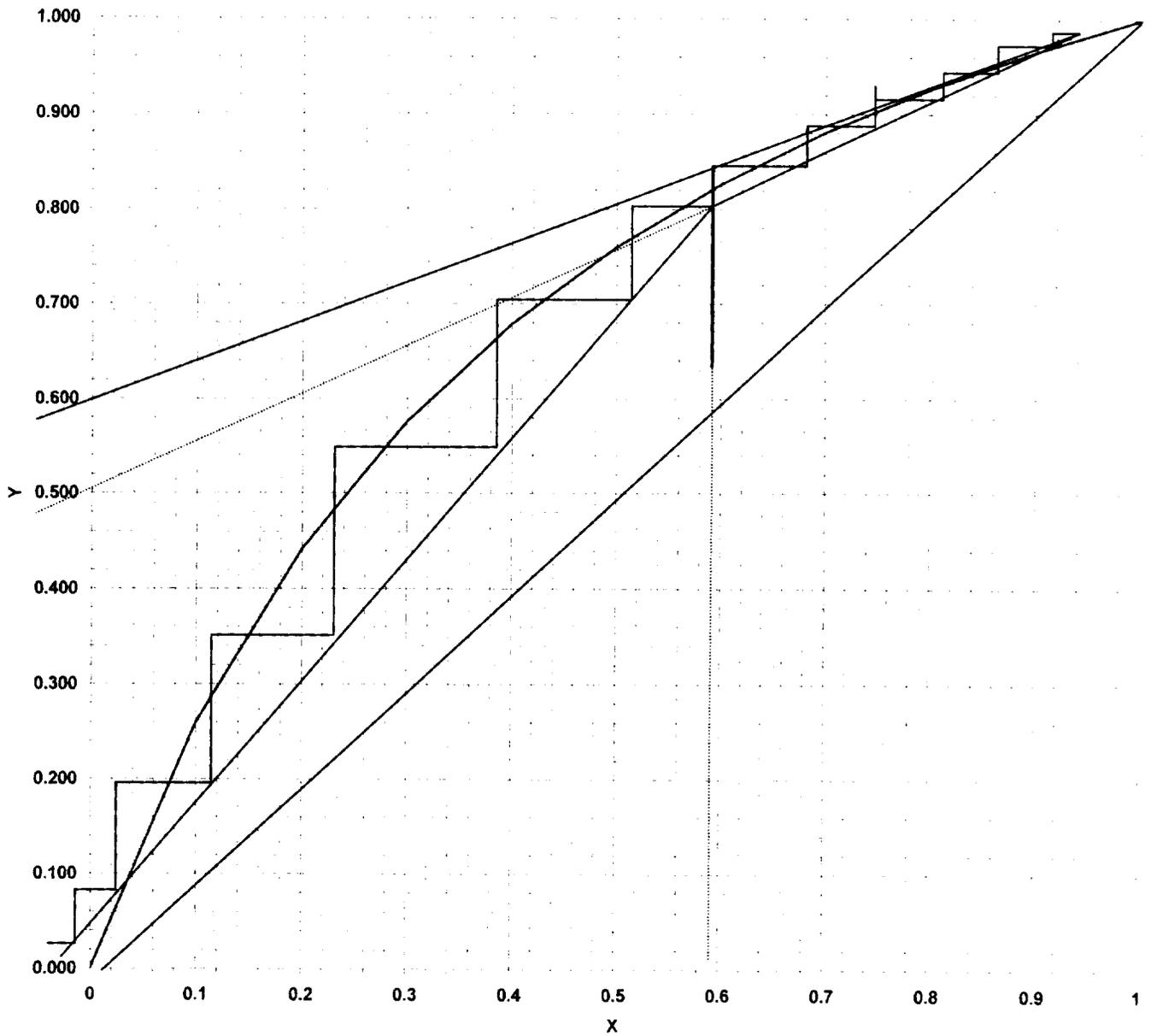
| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | Folio 8 / 13 |

TABLEAU RECAPITULATIF DES BOUCLES DE REGULATION

| BOUCLE | Repère | Sens sécurité vanne | Sens action régulateur | Grandeurs réglées | Grandeurs réglantes |
|-----------------|---------------|----------------------------|-------------------------------|--------------------------|----------------------------|
| FOND COLONNE DE | | | | | |
| - Température | TC | FPMA | Inverse | T° fond colonne | Débit vapeur |
| - Niveau | LC | FPMA | Direct | Niveau | Soutirage |
| TETE DE COLONNE | | | | | |
| - Niveau | LC | FPMA | Direct | Niveau | Soutirage |
| - Débit | FC | OPMA | Inverse | Débit reflux | Débit reflux |
| - Pression | PC | | | | |
| Saumure | | OPMA | Direct | Pression | Débit saumure |
| Bâche | | OPMA | Direct | Pression | Débit à la bâche |

| | | | |
|---------|---|------------------------|--------------------------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | | CORRIGE Folio 9 / 13 |

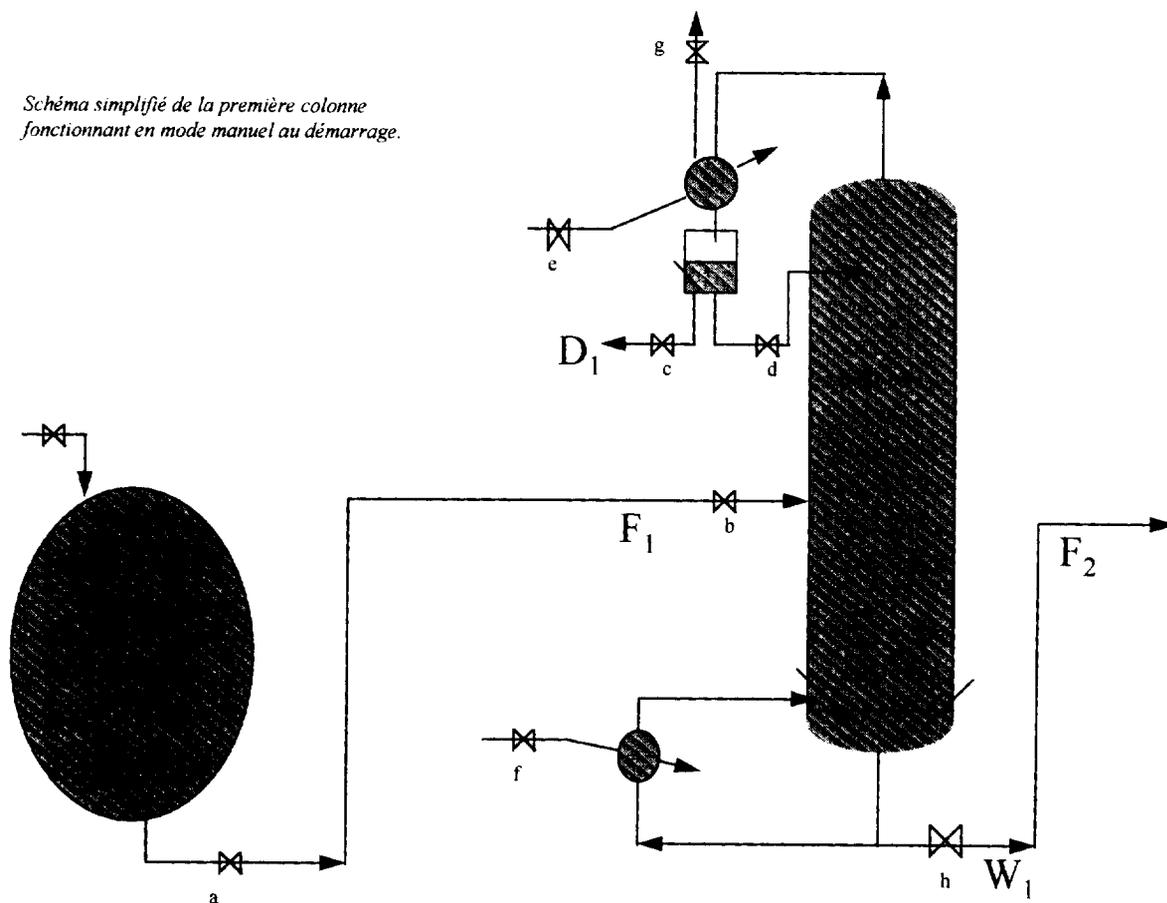
Annexe 7



| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | |
| | | | Folio 10 / 13 |

V- Démarrage d'une opération de rectification en continu sur la première colonne.

Schéma simplifié de la première colonne fonctionnant en mode manuel au démarrage.



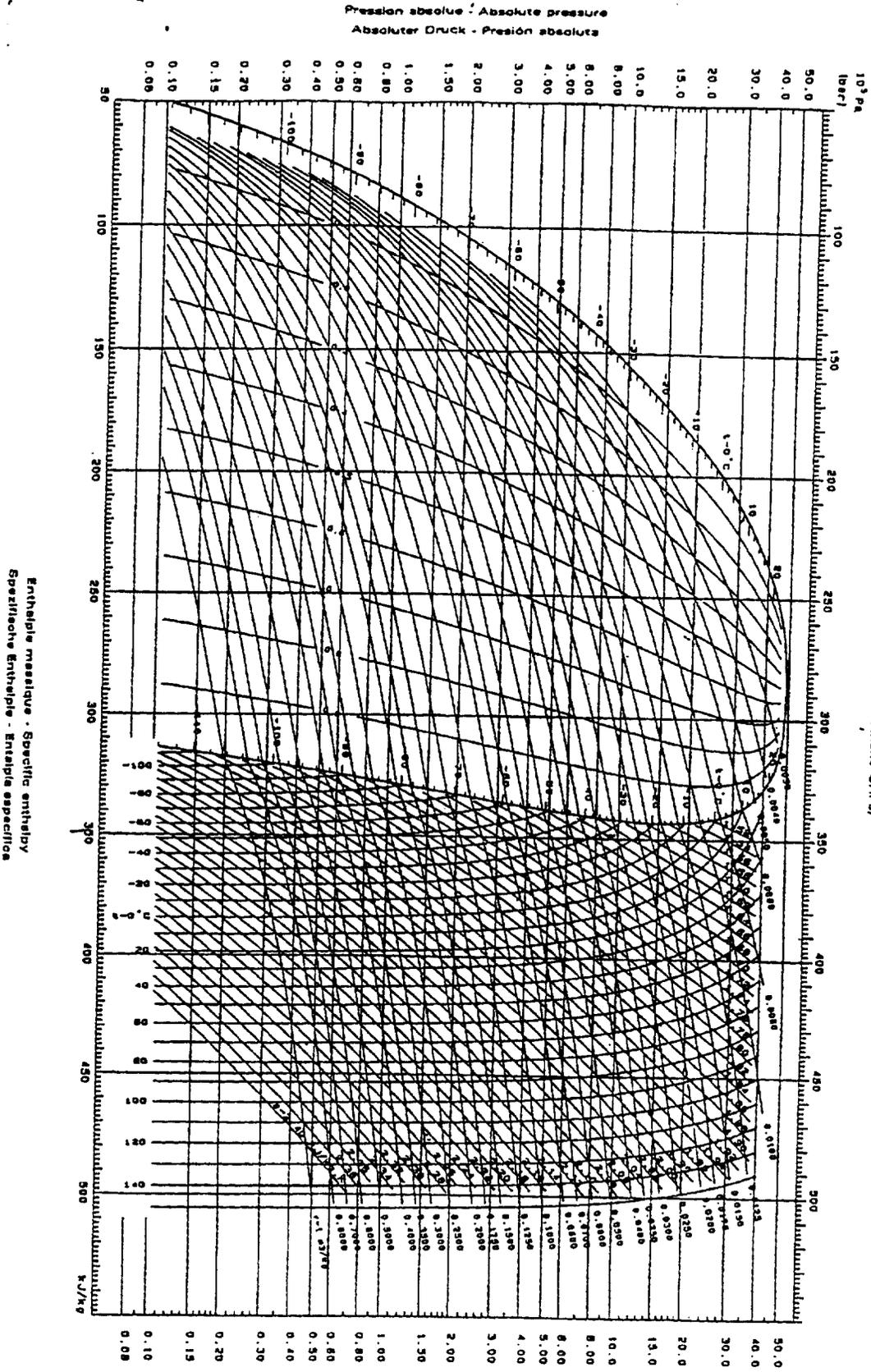
| Repère des robinets | a | b | c | d | e | f | g | h |
|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| N°d'Ordre de l'action | 5 | 5 | 4 | 2 | 1 | 3 | | 6 |
| Ouvert: O | O | O | O | O | O | O | | O |
| Fermé: F | | | | | | | F | |

| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | | Folio 11 / 13 |

CORRIGE

Annexe-5 Diagramme de Mollier du CHF₃

(Trifluorométhane CHF₃)



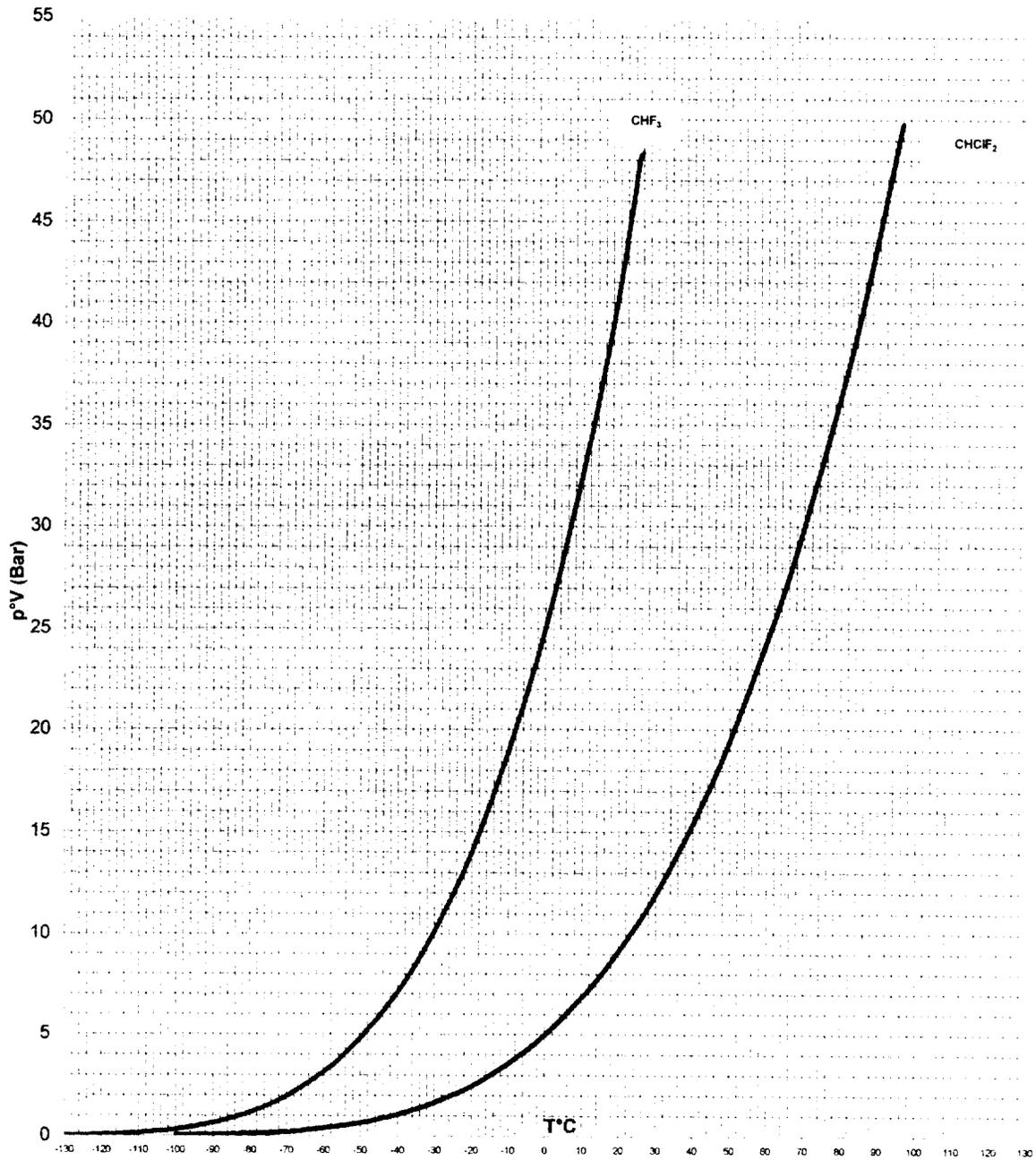
Enthalpie massique - Specific enthalpy
Especifiche Enthalpie - Enthalpia específica

| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | Folio 12 / 13 |

Annexe 6

Courbes de tension de vapeur du CHClF_2 et du CHF_3 en fonction de la température.

$P_v^0 = f(T)$ (pression absolue en fonction de la température)



| | | | |
|---------|---|------------------------|----------------|
| BAC PRO | INDUSTRIES DE PROCEDES | Code sujet : 0206-IP T | Session : 2002 |
| | Epreuve : E2 – Etude et Conduite des Opérations Unitaires | CORRIGE | Folio 13 /13 |