

# CORRIGE

**Ces éléments de correction n'ont qu'une valeur indicative. Ils ne peuvent en aucun cas engager la responsabilité des autorités académiques, chaque jury est souverain.**

**BACCALAUREAT PROFESSIONNEL**

**INDUSTRIES DE PROCEDES**

**SESSION 2005**

**EPREUVE : E2. ETUDE ET CONDUITE DES  
OPERATIONS UNITAIRES – U2**

DUREE EPREUVE : 4 heures

COEFFICIENT : 3

**DOSSIER CORRIGE**

CODE SPECIALITE

0506-IP T

**BAREME****1/ Absorption : ( 20/60 )**

1-1/	gaz entrant	$\begin{bmatrix} Y_E : 2 \\ Q_{v0} : 2 \\ \bar{n}(\text{H}_2\text{S}) : 1 \\ \bar{n}(\text{diluant}) : 1 \end{bmatrix}$	gaz sortant	$\begin{bmatrix} \bar{n}(\text{diluant}) : 1 \\ Y_S : 1 \\ \bar{n}(\text{H}_2\text{S}) : 1 \end{bmatrix}$
	liquide entrant	$\begin{bmatrix} X_E : 1 \end{bmatrix}$	liquide sortant	$\begin{bmatrix} \bar{n}(\text{DEA}) : 1 \\ \bar{n}(\text{H}_2\text{S}) : 1 \\ X_S : 1 \end{bmatrix}$

Annexe 2 : - tableau : 1  
- colonne : 1

- 1-2/ Annexe 3 : droite opératoire : 1  
1-3/ Annexe 3 : étages théoriques : 2  
1-4/  $Q_m$  : 1  
1-5/ rendement : 1

**2/ Circuit de recyclage : ( 16/60 )**

- 2-1/ - vitesse  $U$  : 2  
-  $\Sigma L_E$  : 1  
-  $\lambda$  ( Moody ) : 2  
-  $J_t$  : 2,5  
- NPSH disp. : 2,5  
- NPSH requis : 0,5  
- conclusion : 0,5

2-2/ puissance absorbée : 2

- 2-3-1/ principe : 0,5  
2-3-2 : - expression de Bernoulli : 0,5  
-  $U_1$  et  $U_2$  :  $2 \times 0,5 = 1$   
-  $P_1 - P_2$  : 1

**3/ Étude de l'échangeur thermique E1 : ( 12/60 )**

- 3-1/ - fonctionnement de l'échangeur : 1  
3-2-1/ - chaleur échangée : 3  
3-2-2/ - DTLM : 2  
- surface d'échange : 3  
3-2-3/ - nombre de tubes : 3

**4/ Régulation : ( 8/60 )**

- 4-1/ - tableau de l'annexe 7 : 13 éléments de réponse à 0,25 point :  $13 \times 0,25 = 3,25$ .  
- annexe 1 : schématisation de 7 boucles à 0,25 point :  $7 \times 0,25 = 1,75$ .  
- choix de la vanne et détermination du mode de fonctionnement du régulateur :  
 $4 \times 0,25 = 1$ .  
4-2/ - justification : 0,5  
- schéma : 1  
- Soins ( schémas ) : 0,5.

- 5/ Sécurité : ( 4/60 ) -  $\text{H}_2\text{S}$  : 2 - DEA : 2.

**1/ Etude de l'absorption :****1-1/ Bilan molaire :****\* Gaz entrant :**

- 4% d'H<sub>2</sub>S en volume = 4% d'H<sub>2</sub>S en moles ( gaz parfaits )  $\longrightarrow y_e = 0,04$

$$\text{d'où le rapport molaire } Y_E = \frac{y_e}{1 - y_e} = \frac{0,04}{1 - 0,04} = 0,042$$

- Débit-volume normal :

$$\frac{P_0 \cdot V_0}{T_0} = \frac{P \cdot V}{T} \longrightarrow V_0 = \frac{P \cdot V}{T} \cdot \frac{T_0}{P_0} = \frac{21 \times 310 \times 273}{293} = 6065,63 \text{ Nm}^3/\text{h.}$$

$$- Q_{v0} (\text{H}_2\text{S}) : 6065,63 \times 0,04 = 242,63 \text{ Nm}^3/\text{h.}$$

$$- Q_{v0} (\text{diluant}) : 6065,63 - 242,63 = 5823 \text{ Nm}^3/\text{h.}$$

$$- \bar{n} (\text{H}_2\text{S}) : \frac{242,63 \cdot 10^3}{22,4} = 1,083 \cdot 10^4 \text{ moles/h} = 10,832 \text{ kmoles/h.}$$

$$- \bar{n} (\text{diluant}) : \frac{5823 \cdot 10^3}{22,4} = 2,6 \cdot 10^5 \text{ moles/h} = 259,96 \text{ kmoles/h}$$

**\* Gaz sortant :**

$$- \bar{n} (\text{diluant}) = 259,96 \text{ kmoles/h.}$$

$$- y_s = 3,5 \cdot 10^{-4} \longrightarrow Y_s = 3,5 \cdot 10^{-4}.$$

$$- Y_s = \frac{\bar{n} (\text{H}_2\text{S})}{\bar{n} (\text{diluant})} \longrightarrow \bar{n} (\text{H}_2\text{S}) = Y_s \cdot \bar{n} (\text{diluant}) = 3,5 \cdot 10^{-4} \times 259,96 = 0,091 \text{ kmoles/h}$$

**\* Liquide entrant :**

$$- \bar{n} (\text{DEA}) = 15 \text{ kmoles/h.}$$

$$- X_E = 0 \text{ ( solvant pur ).}$$

\* Liquide sortant :

-  $\bar{n}$  (DEA) = 15 kmoles/h.

-  $\bar{n}$  (H<sub>2</sub>S absorbé) = 10,832 - 0,091 = 10,741 kmoles/h.

-  $X_s = \frac{10,741}{15} = 0,716.$

- Tableaux de bilan : annexe 2, page 4.

1-2/ Droite opératoire:

- voir courbe annexe 3, page 5.

1-3/ Nombre d'étages théoriques :

- voir courbe annexe 3, page 5 : N = 2,81 étages.

1-4/ Débit-masse de DEA 20% :

-  $m$  (DEA) =  $15 \cdot 10^3 \times 105 = 1,575 \cdot 10^6$  g/h = 1575 kg/h.

-  $m$  (eau) =  $\frac{1575 \times 80}{20} = 6300$  kg/h

- Q<sub>m</sub> (solution de DEA 20%) : 7875 kg/h.

1-5/ Rendement de l'absorption :

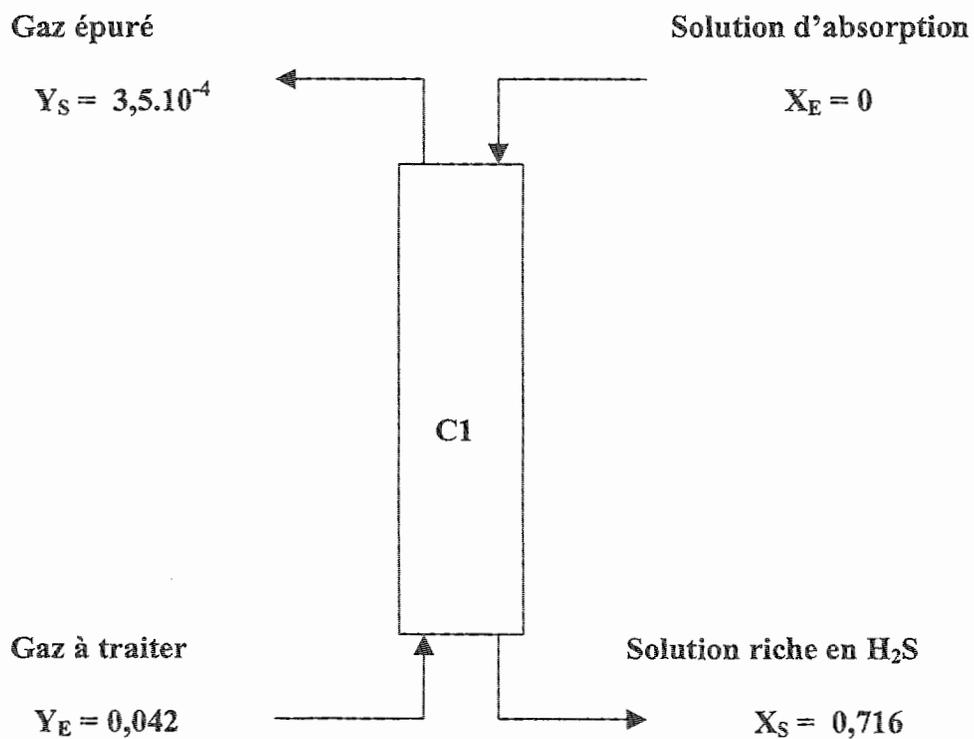
$$\text{Rendement} = \frac{\text{H}_2\text{S absorbé}}{\text{H}_2\text{S engagé}} = \frac{10,741}{10,832} \times 100 = 99,16 \%$$

## ANNEXE 2 : Résultats du bilan matière molaire

\* Tableau du bilan molaire ( en kmoles/h ) :

	Phases gazeuses		Phases liquides	
	H <sub>2</sub> S	Diluant ( propane )	H <sub>2</sub> S	DEA
Flux entrants	10,832	259,96	0	15
Flux sortants	0,091	259,96	10,741	15

\* Rapports molaires :



2/ Circuit de recyclage :2-1/ NPSH disponible :

$$* \text{ Vitesse moyenne } U : U = \frac{Q_v}{S} = \frac{6,5}{3600 \times \pi \times (20 \cdot 10^{-3})^2} = 1,437 \text{ m/s.}$$

\* Pertes de charge totale :

- Longueurs équivalentes : - sortie de réservoir : 2m
- coude à 90°, rayon moyen : 1,2 m
- robinet droit à soupape, ouvert : 16 m

$$\Sigma L_E = 19,2 \text{ m}$$

$$- \text{ Re} = \frac{\rho \cdot U \cdot D}{\mu} = \frac{968,7 \times 1,437 \times 40 \cdot 10^{-3}}{3,36 \cdot 10^{-4}} = 1,66 \cdot 10^5$$

$$- \text{ rugosité relative : } \varepsilon/D = 0,16/40 = 4 \cdot 10^{-3}.$$

$$- \text{ Moody : } \lambda = 0,029.$$

$$- \text{ Jt} = \frac{1,437^2}{(2 \times 9,81)} \times \frac{0,029 \times (7 + 19,2)}{40 \cdot 10^{-3}} = 2 \text{ m C.E}$$

$$* \text{ NPSH disponible : } 4 + \frac{1,813 \cdot 10^5}{968,7 \times 9,81} - 2 - \frac{5,78 \cdot 10^4}{966,7 \times 9,81} = 15 \text{ m C.E}$$

$$(P_v = 433,6 \text{ mm Hg} = 5,78 \cdot 10^4 \text{ Pa})$$

\* NPSH requis ( courbe) : 4,5 m CE.

\* Conclusion : NPSH disp. >> NPSH requis, donc la pompe fonctionne dans de bonnes conditions. Elle ne risque pas de caviter.

2-2/ Puissance absorbée :

$$P_{\text{abs.}} = \frac{P_u}{\eta} = \frac{Q_v \times \Delta P}{\eta} = \frac{6,5 \times (3,5 - 0,88) \cdot 10^5}{3600 \times 0,7} = 675,8 \text{ W}$$

2-3-1/ Mesure du débit : principe :

Dans la restriction, au niveau du col cylindrique, il y a augmentation de la vitesse donc diminution de la pression. C'est un organe déprimogène. La  $\Delta P$  créée est fonction du débit mesuré.

2-3-2/ pression  $P_2$  :

- Bernoulli entre (1) et (2) :

$$P_1 + \rho \cdot \frac{U_1^2}{2} = P_2 + \rho \cdot \frac{U_2^2}{2} + 0,25 \cdot (P_1 - P_2) \quad (1)$$

- Calcul des vitesses :

$$- U_1 = \frac{Q_v}{S_1} = \frac{6,5}{3600 \times \pi \times (20 \cdot 10^{-3})^2} = 1,437 \text{ m/s.}$$

$$- U_2 = \frac{6,5}{3600 \times \pi \times (9 \cdot 10^{-3})^2} = 7,1 \text{ m/s.}$$

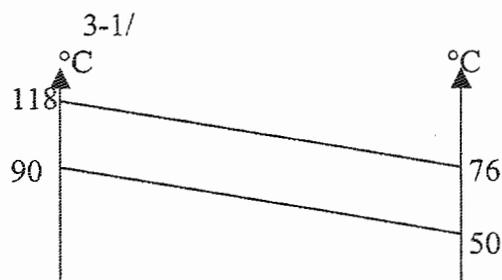
- Valeur de  $P_1 - P_2$  :

$$(P_1 - P_2) - 0,25 \cdot (P_1 - P_2) = \rho \cdot \frac{U_2^2}{2} - \frac{U_1^2}{2}$$

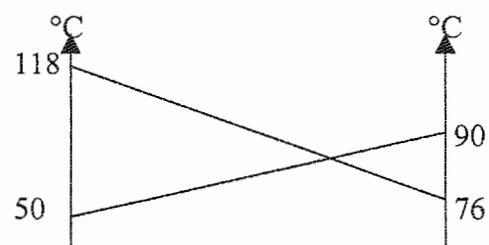
$$0,75 \cdot (P_1 - P_2) = \frac{\rho}{2} (U_2^2 - U_1^2)$$

$$P_1 - P_2 = \frac{968,7 \times (7,1^2 - 1,437^2)}{2 \times 0,75} = 3,122 \cdot 10^4 \text{ Pa} = 0,31 \text{ bar}$$

$$P_2 = 3,5 - 0,31 = 3,19 \text{ bar}$$

3/ Echangeur thermique E1 :

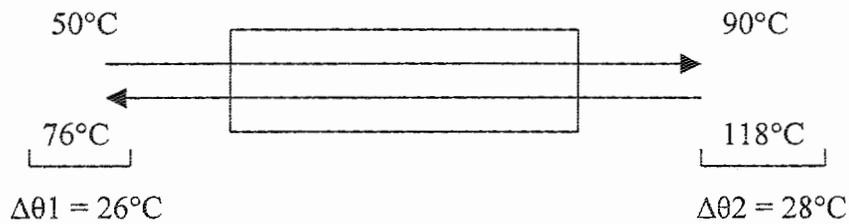
contre-courant



co-courant : impossible

3-2-1/ Chaleur sensible échangée :

$$\Delta H_s = Q_m \cdot C_p \cdot \Delta \theta = 2,6 \cdot 10^3 \times 4,01 \times (118 - 76) = 4,38 \cdot 10^5 \text{ kJ/h} = 121,67 \text{ kW.}$$

3-2-2/ Surface d'échange :

$$DTLM = \frac{28 - 26}{\ln \frac{28}{26}} = 26,99^\circ\text{C.}$$

$$Q = K.S.(DTLM) \rightarrow S = \frac{Q}{K.(DTLM)} = \frac{121,67}{0,6 \times 26,99} = 7,513 \text{ m}^2.$$

3-2-3/ Nombre de tubes :

$$\text{Surface d'un tube : } s = \pi.D.l = \pi \times 25 \cdot 10^{-3} \times 3 = 0,236 \text{ m}^2.$$

$$\text{Nombre de tubes : } \frac{S}{s} = \frac{7,513}{0,236} = 31,84 \sim 32 \text{ tubes.}$$

4/ Régulation :

4-1/ Boucles : voir annexe 7, page 9 et annexe 1, page 10.

\* Boucle 1 : - choix du type de vanne : en cas de panne d'air instrumentation, il vaut mieux que la vanne se ferme, car il ne sera plus possible de régénérer sur C2, donc FMA.

- mode d'action du régulateur : si le débit augmente, la vanne doit se refermer. Etant FMA, le signal de commande doit diminuer, donc : mode INVERSE.

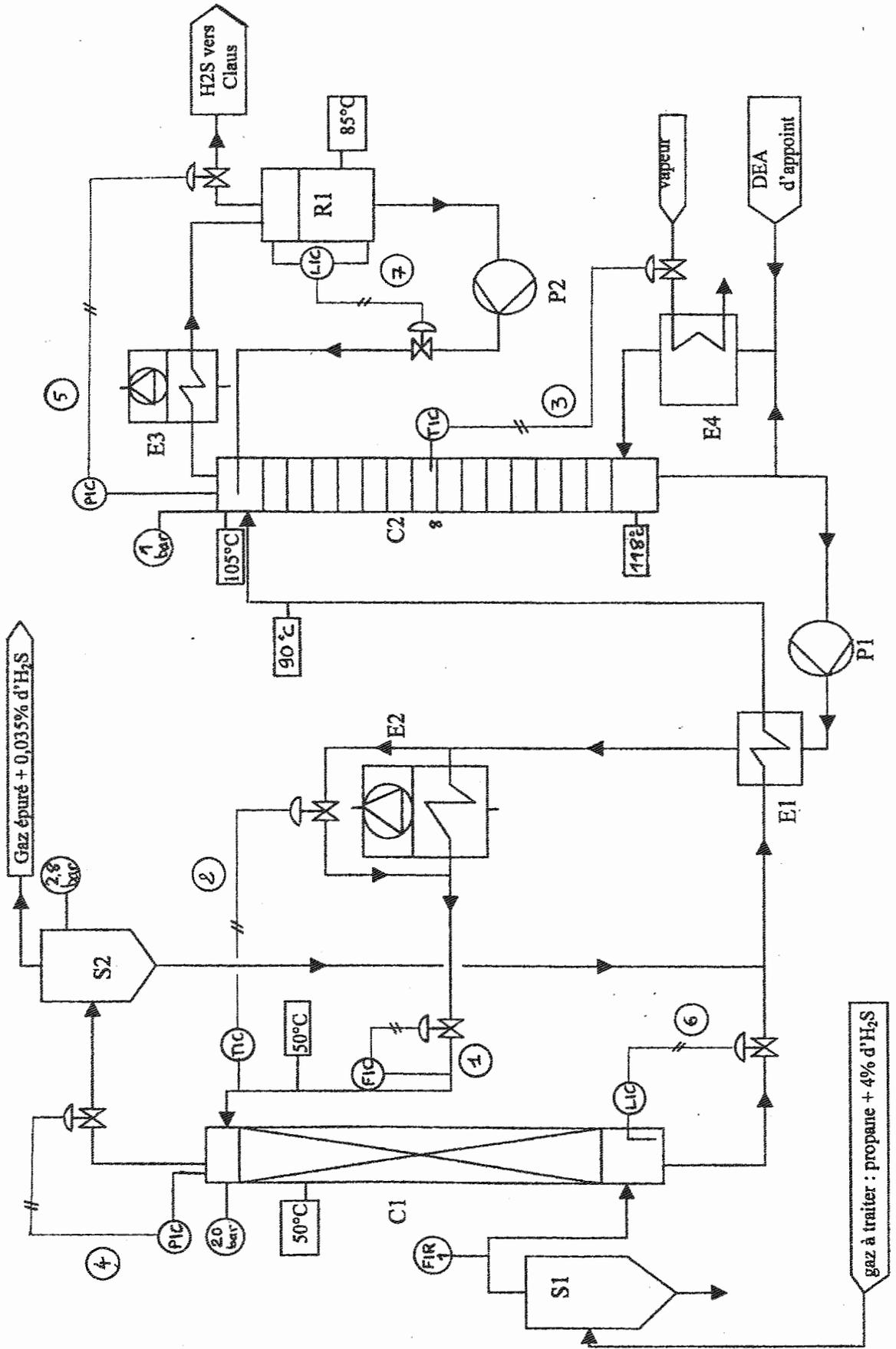
\* Boucle 3 : - choix du type de vanne : sur un circuit de chauffage, la vanne doit toujours être de type FMA, pour des raisons évidentes de sécurité.

- mode d'action du régulateur : si la température augmente, il faut refermer la vanne devapeur. Etant FMA, le signal de commande doit diminuer, donc : mode INVERSE.

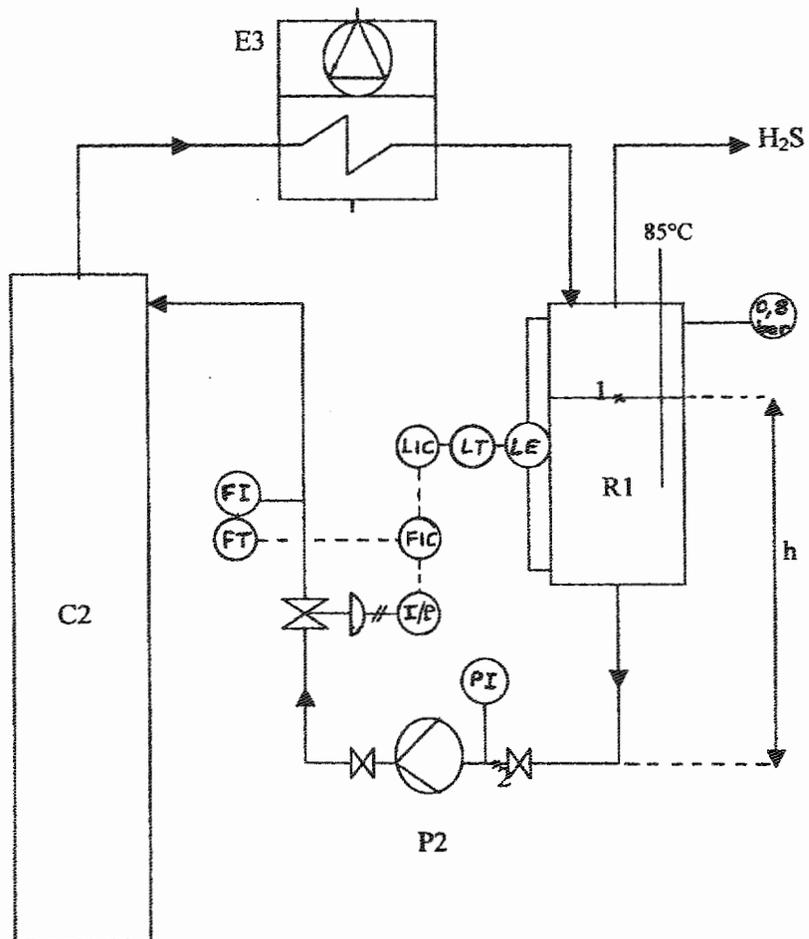
4-2/ Il faut une boucle en cascade : si le débit varie, il sera aussitôt corrigé par la boucle interne ( boucle de débit, rapide ) avant que le niveau n'ait pu varier. (voir annexe 4, page 11).

## ANNEXE 7

Boucle n°	Grandeur réglée	Grandeur réglante	Type de vanne : FMA ou OMA	Régulateur direct ou inverse
1	Débit d'alimentation de la solution de DEA 20% sur la colonne C1.	idem	FMA	I
2	Température d'entrée de la DEA 20% sur C1.	Débit dans le by-pass de E2.	FMA	I
3	Température au 8 <sup>e</sup> plateau de la colonne de Désorption C2.	Débit de vapeur de chauffe.	FMA	I
4	Pression en tête de la colonne C1.	Débit de gaz sortant en tête de C1.	OMA	I
5	Pression en tête de la Colonne C2.	Débit de sortie d'H <sub>2</sub> S.	OMA	I
6	Niveau du fond de la Colonne C1.	Débit de soutirage de la solution de DEA saturée.	FMA	D
7	Niveau dans R1	Débit de reflux du réservoir R1 vers la colonne C2	FMA	D



ANNEXE 4



5/ Sécurité :

a/ H<sub>2</sub>S :

- Gaz très toxique, même à de faibles concentrations ( 100 vpm ) et plus lourd que l'air. Il faut donc faire particulièrement attention aux points bas.
- Protection individuelle : masque à cartouche adapté.
- Protection collective : détecteurs situés aux endroits stratégiques, plan de repli du personnel.
  
- C'est aussi un gaz très inflammable ( température d'autoinflammation : 260°C, limites d'inflammabilité dans l'air : 4,3 à 46% ).
- Protection individuelle et collective : extincteurs.
  
- Premiers secours : éloigner le sujet de la zone contaminée.

b/ DEA :

- Liquide très peu volatil, soluble dans l'eau et peu inflammable.  
Il est irritant pour la peau et les muqueuses oculaires et respiratoires.
- Protection individuelle : port de gants, écrans faciaux et lunettes.
- Protection collective : ventilation.
  
- Premiers secours : en cas de projections, laver à grande eau immédiatement.