

Série n°03– Fabrication de l'acide sulfurique selon le procédé de contact.

Problème

❖ Un four brûle 1 t/h de soufre pur avec un taux d'excès d'air de 20% (excès molaire) calculé d'après la transformation intégrale en dioxyde de soufre. On admet, que 95% du soufre est transformé en dioxyde de soufre et le reste en trioxyde de soufre. **Déterminer** la composition volumique centésimale et le débit - volume horaire du gaz sortant du brûleur (flux A) sachant que l'air est constitué de 21% de O₂ et de 79% de N₂ (% volumiques).

❖ Les gaz effluents du brûleur (composés de SO₂, SO₃, O₂ et N₂) sont envoyés et dilués avec 4000 m³/h d'air (volume mesuré dans les conditions normales de température et de pression) dans un convertisseur contenant de pentoxyde de divanadium. Les gaz sont portés à 400-500°C, le dioxyde de soufre est transformé en trioxyde de soufre avec un rendement de 97%. **Déterminer** la composition volumique centésimale et le débit – volume horaire du gaz sortant du convertisseur (flux B).

❖ Les gaz effluents du convertisseur (composés de SO₂, SO₃, O₂ et N₂) sont ensuite envoyés à la base d'un absorbeur dans le quel circule de l'eau à contre courant. Les sont totalement débarrassés de trioxyde de soufre (transformation de SO₃ en H₂SO₄ dans cette tour) et on admet que l'eau dissout pas les autres gaz. **Déterminer** la composition centésimale et le débit volumique horaire du gaz sortant de l'absorbeur (flux C). **Déterminer** les quantités d'eau consommée dans l'absorbeur ainsi que le débit massique d'acide sulfurique obtenu (flux D) sachant que celui-ci est à 95% en masse.

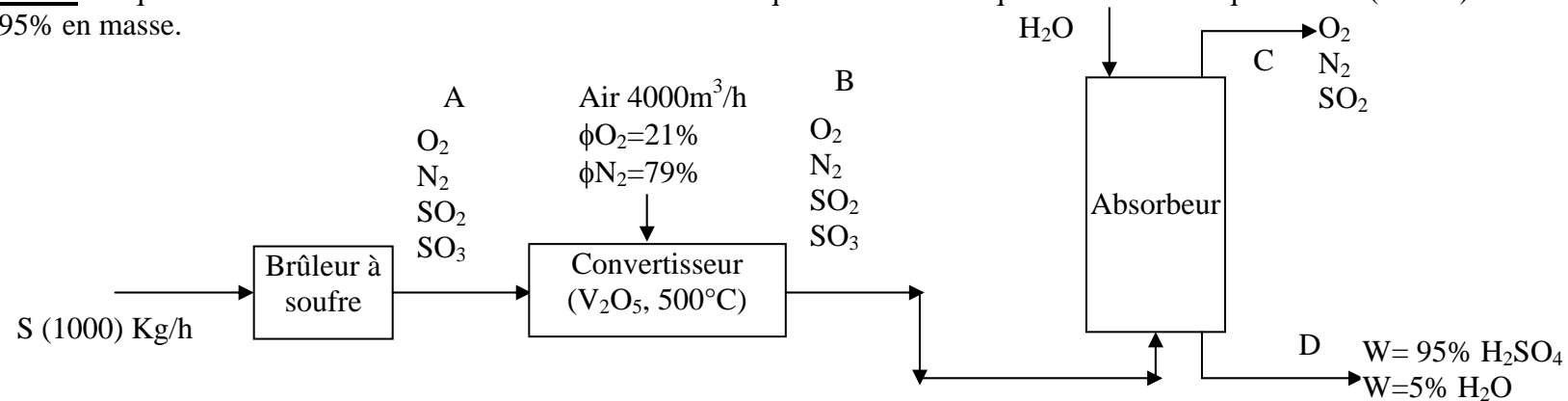


Figure 01 : Fabrication de l'acide sulfurique selon le procédé de contact – Enoncé.

Fabrication de l'acide sulfurique selon le procédé de contact.

Acide sulfurique

a. 124 Four brûle 1 t.h⁻¹ de soufre pur

3.2 : La marche à suivre est la suivante pour l'exemple précédent.

3.2.1 : Faire un schéma simplifié du procédé. ---

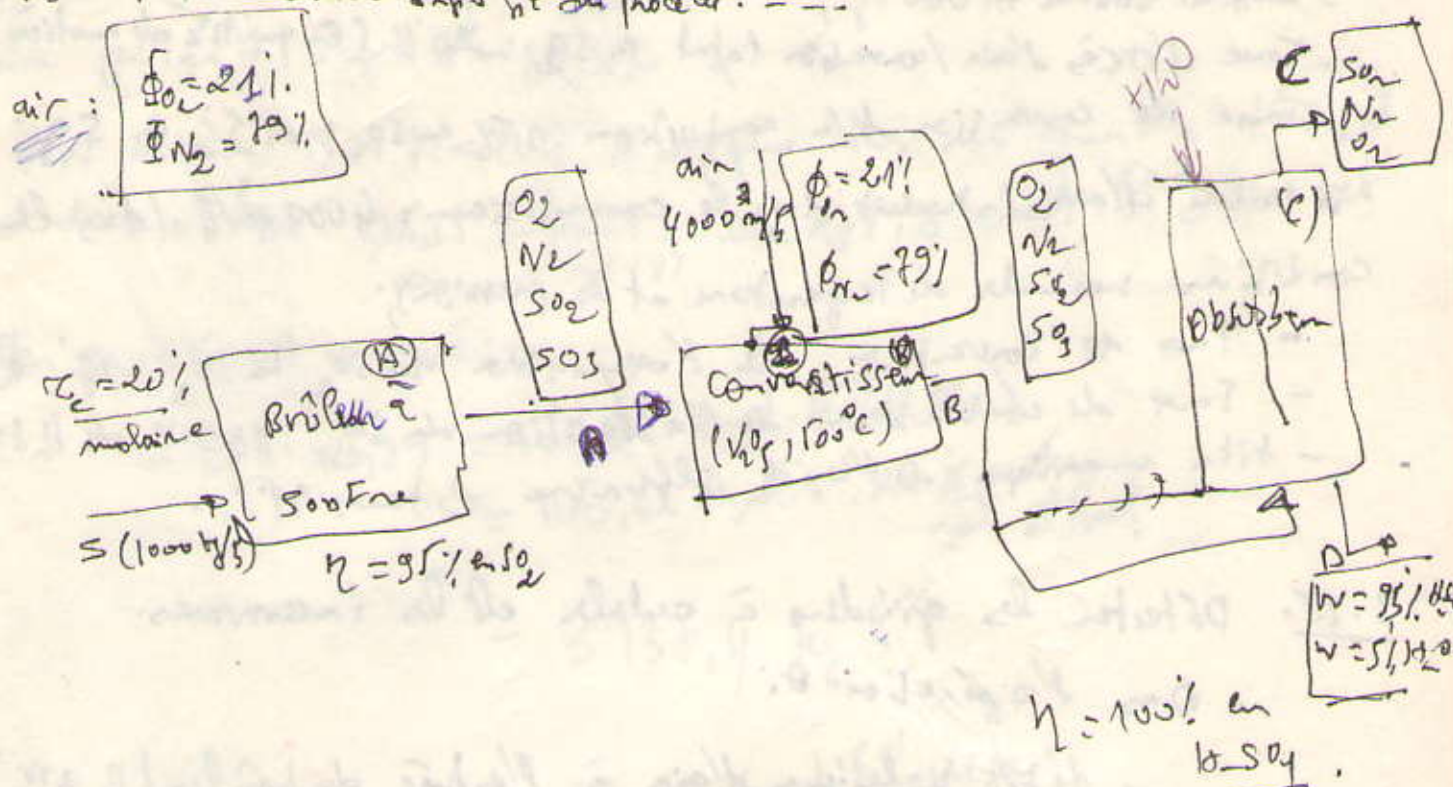
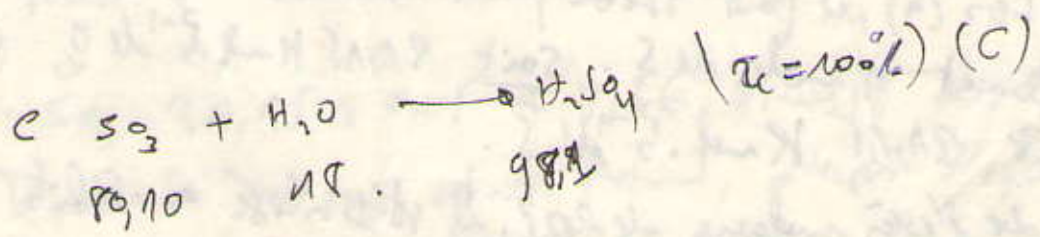
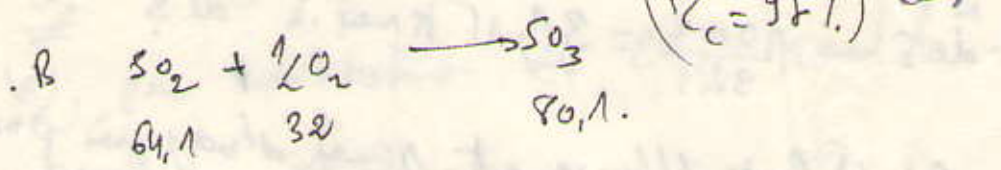
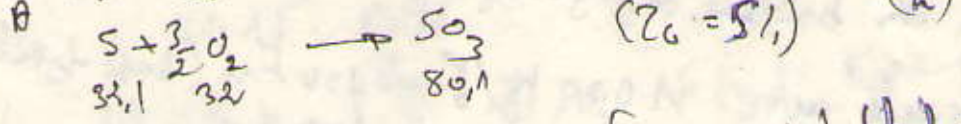
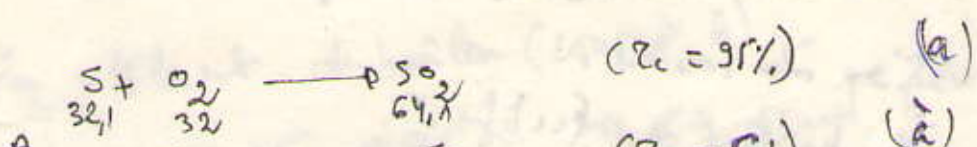


schéma simplifié de la production d'acide sulfurique.

3.2.1 : Ecrire l'équation de réaction (ou des diverses réactions intervenant)



3.2.3 base de calcul

base de calcul et choix dans ce cas: pour - 1^h de réaction
- 1000 kg soufre secant bien

3.2.4

- masse de soufre + 1000 kg;
- Taux d'excès d'air / conversion total en SO_2 : 20% (en quantité de matière);
- Taux de conversion de la combustion: 97% en SO_2 et 3% en SO_3 ;
- * Volume d'air introduit dans le convertisseur: 4000 m^3/h (dans les conditions normales de température et de pression);
- Taux de conversion de l'oxydation du SO_2 en SO_3 : 97% en SO_3 ;
- Taux de conversion de l'absorption du SO_3 : 100% de H_2SO_4 ;
- titre massique de l'acide sulfurique obtenu: 97%.

3.2.5 Déterminer les grandeurs à calculer et les inconnues.

• Dans l'opération B:

- débit volumique d'air à l'entrée du brûleur ($h_2 + n_2$);

3.2.6 Faire les calculs nécessaires et compléter le tableau.

a - combustion du soufre:

• Oxydation du brûleur à réaction.

• Le brûleur est alimenté avec 1000 kg/h de soufre (base de calcul)

$$1000 \text{ kg/h de S} \rightarrow \frac{1000}{32,1} = 31,15 \text{ kmol} \cdot h^{-1} \text{ de S}$$

• D'après l'équation (4), il faut théoriquement 1 mol d'oxygène pour brûler complètement 1 mole de S. Soit 31,15 $\text{kmol} \cdot h^{-1}$ de O_2 pour brûler théoriquement 31,15 $\text{kmol} \cdot h^{-1}$ de S.

Compte tenu de l'excès molaire de 20%, il est utilisé en réalité:

$$31,15 + 31,15 \times 0,20 = 31,15 + 6,23 = 37,38 \text{ kmol} \cdot h^{-1} \text{ de } O_2$$

L'oxydation est réalisée avec l'air (au lieu de l'oxygène pur) et l'air contient 21% de O_2 et 79% de N_2 (pourcentage volumique = pourcentage molaire puisqu'il s'agit d'un gaz).

x Pour obtenir $37,38 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ d'oxygène dans une quantité d'air, il faut donc utiliser $37,38 \xrightarrow{21\%} 178,0 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ d'air et $\xrightarrow{79\%} 1027$.

cette quantité est composée:

$$\begin{aligned}
 - 178 \times 0,79 &= 140,62 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } N_2 \\
 &= 140,62 \cdot \text{kmol} \cdot \text{s}^{-1} \cdot 28 \frac{\text{kg}}{\text{mol}} \\
 &= 3937,4 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \uparrow 178 \times 0,21 &= 37,38 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } O_2 \\
 &= (37,38 \times 32) = \\
 &= 1.196,2 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}
 \end{aligned}$$



▲ Gaz effluent du brûleur (courant A) ..

▲ SO_2 : $31,15 \cdot 0,95 = 29,59 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de SO_2
 Les $29,59 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de SO_2 étant formé, d'après l'équation (a), par combustion de $29,59 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de S et $29,59 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de O_2 .

• SO_3 : $31,15 \times 0,05 = 1,56 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de SO_3 ; les $1,56 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de SO_3 étant formé, d'après l'équation (a), par combustion de $1,56 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de S et $1,56 \cdot \frac{3}{2} = 2,34 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de O_2 .

Dans le brûleur (B), il se consume donc $29,19 + 2,34 = 31,53$ kmol h⁻¹ de O₂ pendant la combustion. Il reste par conséquent $(37,38 - 31,53) = 5,85$ kmol h⁻¹ de O₂ dans l'effluent B et 140,66 kmol h⁻¹ de N₂ (l'azote ne participe pas à la réaction) calculé à partir de l'équation (A).

• Taxe de conversion :

$$\tau_c = \frac{n_{O_2} - n_{O_2}}{n_{O_2}} = \frac{37,38 - 0}{37,38} = 1 = 100\%$$

$$\text{Sélectivité: } \tau_s = \frac{V_D n_{S_2}}{\sqrt{P} (n_{O_2} - n_{O_2})} = \frac{n_{S_2}}{n_S} = \frac{1 \times 29,19}{1 \times (37,38 - 0)} = 97\%$$

$$\text{Rendement: } \eta = \tau_c \tau_s = 1 \times 0,97 = 97\%$$

b - Conversion du SO₂.

SO₂ est converti à 97% à SO₃ (équation b), les 3% subsistant restent sous forme de SO₂.

Donc: 29,19 kmol h⁻¹ de dioxyde de Soufre vont donner, après l'équation (b), $29,19 \times 0,97 = 28,30$ kmol h⁻¹ de SO₃ et cette oxydation va consommer, d'après (b), $28,30 / 2 = 14,15$ kmol h⁻¹ de O₂.



Un ^{debit} de $4000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ d'air ambiant, des à C.V. de 17,9
 ($V_m = 22,4 \text{ m}^3 \cdot \text{kmol}^{-1}$).

$$\begin{aligned} \bullet 4000 \times 0,21 &= 840 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } \text{O}_2 \\ &\Rightarrow 840 / 22,4 = 37,5 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } \text{O}_2 \\ &\Rightarrow (37,5 \times 32) = 1200,0 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bullet 4000 \times 0,79 &= 3160 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } \text{N}_2 \Rightarrow 3160 / 22,4 = 141,07 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \\ \text{de } \text{N}_2 &(141,07 \times 28) = 3950,0 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1} \end{aligned}$$

Le débit gazeux effluent de conversion est donc constitué de :

$$\begin{aligned} \bullet 28,20 + 1,56 &= 30,26 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } \text{SO}_3 \\ \bullet 29,59 - 28,70 &= 0,89 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } \text{SO}_2 \\ \bullet 5,45 + 37,50 - 14,35 &= 28,60 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } \text{O}_2 \\ \bullet 140,02 + 141,07 &= 281,69 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1} \text{ de } \text{N}_2 \end{aligned}$$

c. Absorption dans l'eau.

• Absorption à C.V.

Le SO_3 est intégralement absorbé en l'eau d/c par l'équation (C). La conversion de $20,26 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de SO_3 nécessite $30,26 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ d'eau pour donner \rightarrow $30,26 \text{ kmol} \cdot \text{s}^{-1}$ de H_2SO_4 par. Mais l'eau est utilisée en excès puisque l'on obtient de l'acide sulfurique à 50% (1. mention). Il faut donc s'attendre à déterminer l'excès d'eau. Il est intéressant de noter que pour D.

Un débit molaire de $30,26 \text{ kmol h}^{-1}$ de H_2SO_4 pur correspond
 à un débit molaire de $30,26 \times 98,1 = 2968,5 \text{ kg h}^{-1}$

• Puisque cet acide est à 95%, sa masse est donc de :

$$2968,5 / 0,95 = 3124,7 \text{ kg h}^{-1}$$

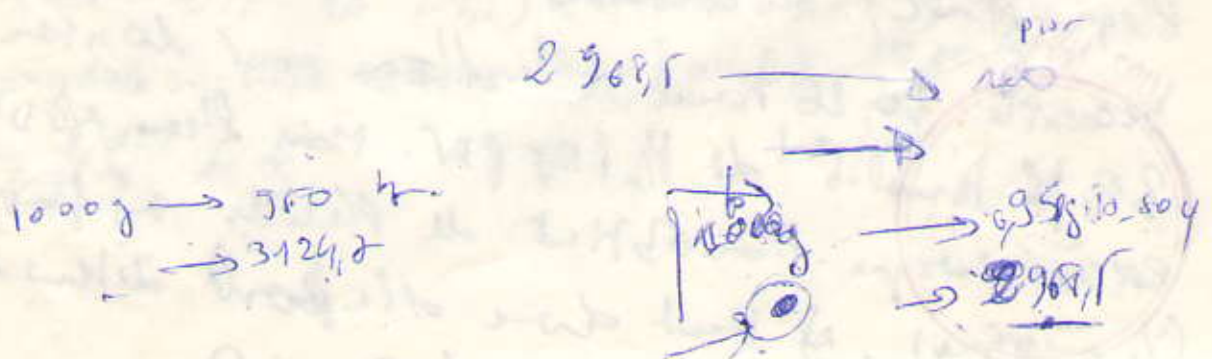
cette masse de H_2SO_4 (95%), est constituée de :

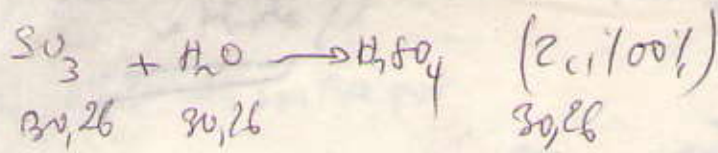
- $3124,7 \times 0,95 = 2968,5 \text{ kg h}^{-1}$ de H_2SO_4 pur $\Rightarrow 30,26 \text{ kmol h}^{-1}$
- $3124,7 \times 0,05 = 156,2 \text{ kg h}^{-1}$ de H_2O pur $\Rightarrow 8,68 \text{ kmol h}^{-1}$

La quantité totale d'eau dans l'alimentation de la tour est donc de :

- $30,26 \text{ kmol h}^{-1}$ (quantité d'eau utilisée pour convertir SO_2 en H_2SO_4 pur) ;
- $8,68 \text{ kmol h}^{-1}$ (" " " " diluer l'acide pur à 95%) ;

soit $30,26 + 8,68 = 38,94 \text{ kmol h}^{-1}$
 $= 38,94 \times 18 = 700,9 \text{ kg h}^{-1}$ d'eau
pure.



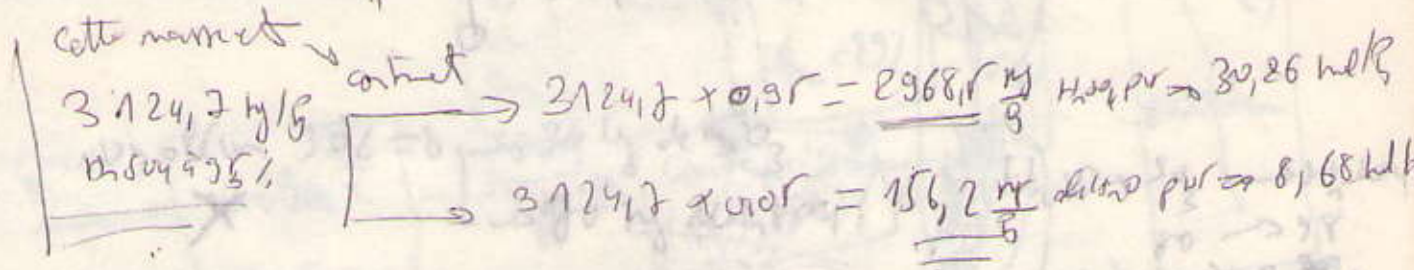


$$30,26 \times 90,11 \rightarrow 2968,5 \text{ kg de H}_2\text{SO}_4 \text{ pur}$$

$$100\text{g} \rightarrow 97,8$$

$$x_1 \rightarrow 2968,5 \quad \rightarrow x_1 = \underline{\underline{3124,7 \text{ kg/B}}} \quad \text{H}_2\text{SO}_4 \text{ à } \underline{\underline{75\%}}$$

Flux D



La quantité totale d'eau des alimentations de la Tour est donc :

$$30,26 + 8,68 = 38,94 \text{ kg/B.}$$

$$= 200,9 \text{ kg/B d'eau } \underline{\underline{\text{pur}}}.$$

Effluent gazeux de l'absorbant (courant c).

le flux c est composé d'un mélange de
 N₂ que B. (80, → 50)

$$0,78(-y + 1000) + 2,0675y = 110$$

$$0,2875y = 110$$

OK

$$y = 591,30 \text{ kg}$$

$$x = 408,70 \text{ kg}$$

TAEK
B, c

$$0,78y + 0,28x \cdot \frac{98}{50}$$

