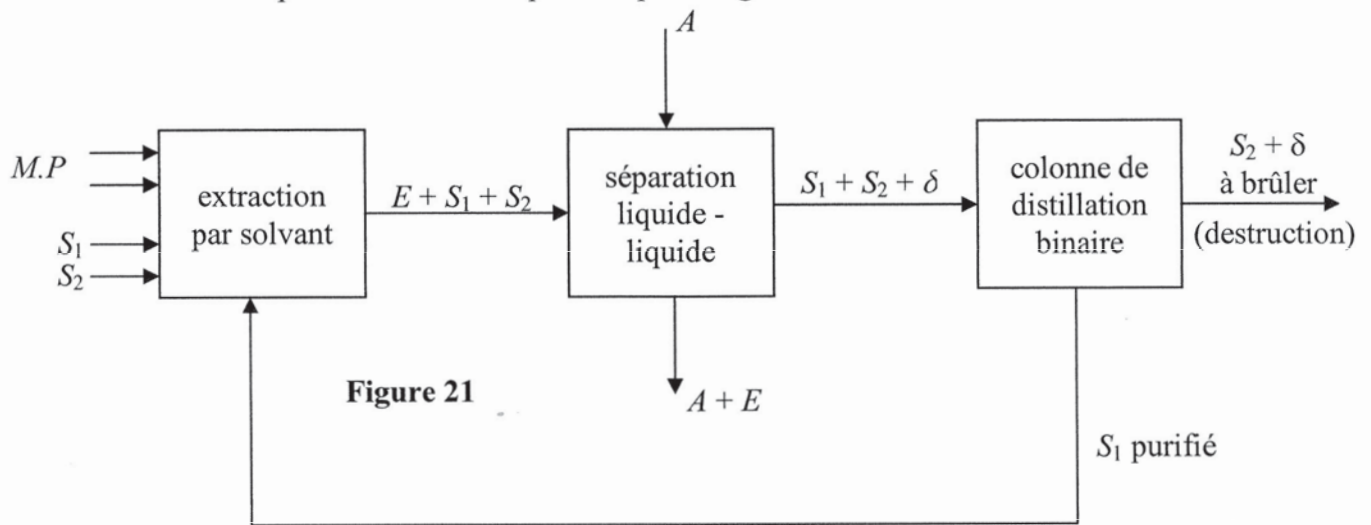


PARTIE C

Physique appliquée à une installation industrielle

Une installation industrielle de production chimique fabrique une espèce chimique E , au sein d'un mélange liquide. En fin de fabrication on procède à une extraction de cette espèce E par solvants. On obtient donc un mélange $E + S_1 + S_2$. Les deux solvants sont ensuite séparés de E par une colonne d'extraction liquide/liquide, par circulation à contre-courant d'une solution acide, qui présente une grande affinité pour E : la séparation $A + E$ est ensuite plus facile. Les deux solvants sont séparés par une colonne de distillation, en vue d'un réemploi ou d'une destruction.

L'installation est représentée schématiquement par la figure 21.



MP = matières premières S_1, S_2 = solvants E = espèce chimique recherchée A = solution acide
 δ = résidus = reste de E + reste de A + déchets

Le pourcentage en solvant S_1 est beaucoup plus important que celui en S_2 , donc une colonne de distillation binaire (étudiée dans la partie D) récupère ce solvant S_1 pour qu'il soit réemployé.

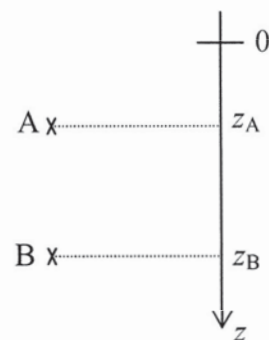
La partie C propose d'étudier sur la partie séparation liquide/liquide des applications de la physique dans les domaines suivants :

- statique des fluides
- dynamique des fluides

1 Applications de la statique des fluides

Pour un fluide homogène, de masse volumique ρ , de température T , on note P la pression en un point d'altitude z .

Q77 En utilisant les notations de la figure 22, rappeler l'expression littérale de la différence de pression entre deux points A et B d'altitudes respectives z_A et z_B , dans le champ de gravitation terrestre. On précisera les unités.



Tournez la page S.V.P.

a) Application à une mesure de niveau par « bullage »

Un dispositif de régulation R règle un micro débit à quelques bulles par minute, à l'extrémité d'une canne plongeant dans un liquide, indépendamment de la profondeur de l'extrémité de cette canne. Un transmetteur de pression PT mesure la pression d'air au point C, A étant l'extrémité de la canne. Soit ρ_L la masse volumique du liquide et ρ_A celle de l'air. La dénivellation h est une grandeur positive (voir figure 23)

P_{atm} représente la pression atmosphérique.

Q78 Exprimer successivement :

$$P_B - P_{atm} =$$

$$P_A - P_B =$$

$$P_A - P_C =$$

Q79 Moyennant une approximation que l'on justifiera, montrer que $P_C - P_{atm}$ peut s'exprimer sous la forme :

$$P_C - P_{atm} = \beta \cdot h$$

Expliciter β .

Q80 compte tenu de cette expression, on préfère utiliser un transmetteur de pression différentielle (voir partie C) pour mesurer h . En quels points doivent s'effectuer les prises de mesure haute pression (HP) et basse pression (BP) ?

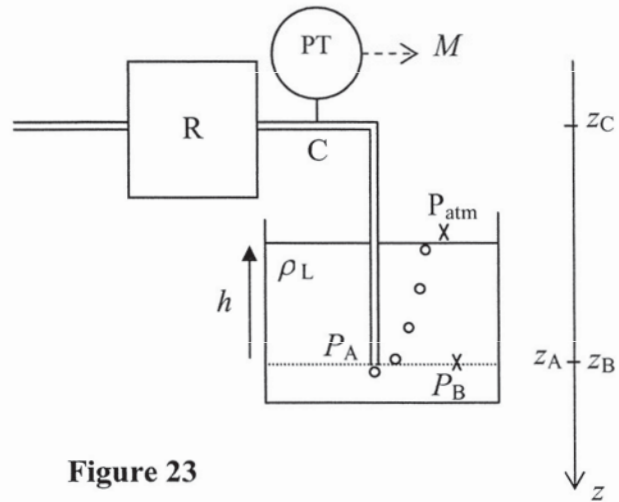


Figure 23

Généralisation à une cuve sous pression (figure 24)

Q81 Pourquoi préfère-t-on souvent utiliser du diazote N_2 ?

Q82 Exprimer $P_B - P_0 =$

De quoi le signal M issu du transmetteur est-il donc l'image ?

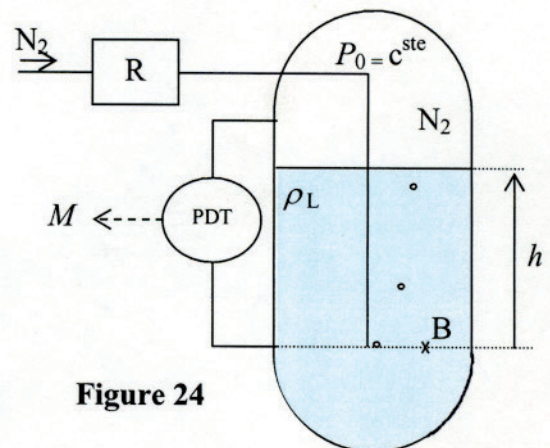


Figure 24

b) Application à une mesure de niveau d'interface

Dans la colonne d'extraction liquide/liquide, dont les produits entrants sont A (en tête de colonne) et $E + S_1 + S_2$ (en pied de colonne), on récupère en tête de colonne deux phases :

- une phase organique, constituée essentiellement de $S_1 + S_2 + \delta$, débarrassée de E.
- une phase aqueuse, constituée essentiellement de la solution acide A.

Ces deux phases étant non miscibles, on recueille par débordement ces deux phases dans un bassin décanteur de séparation, représenté à la figure 25.

La difficulté essentielle est de connaître le niveau d'interface, de façon à pouvoir soutirer régulièrement la phase aqueuse, pour réaliser une régulation de niveau d'interface.

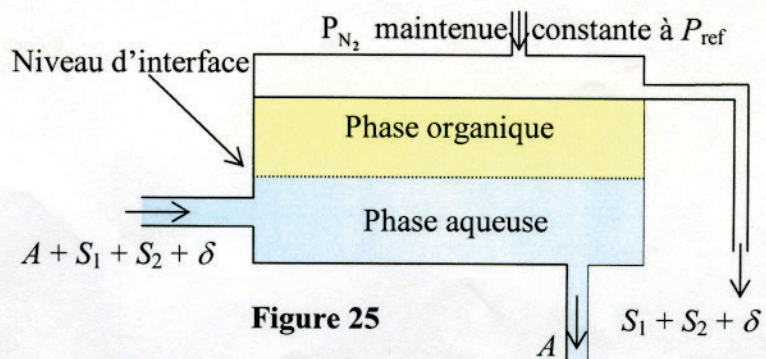


Figure 25

Il faut pouvoir également (par mesure de masse volumique) vérifier l'homogénéité de chacune des deux phases.

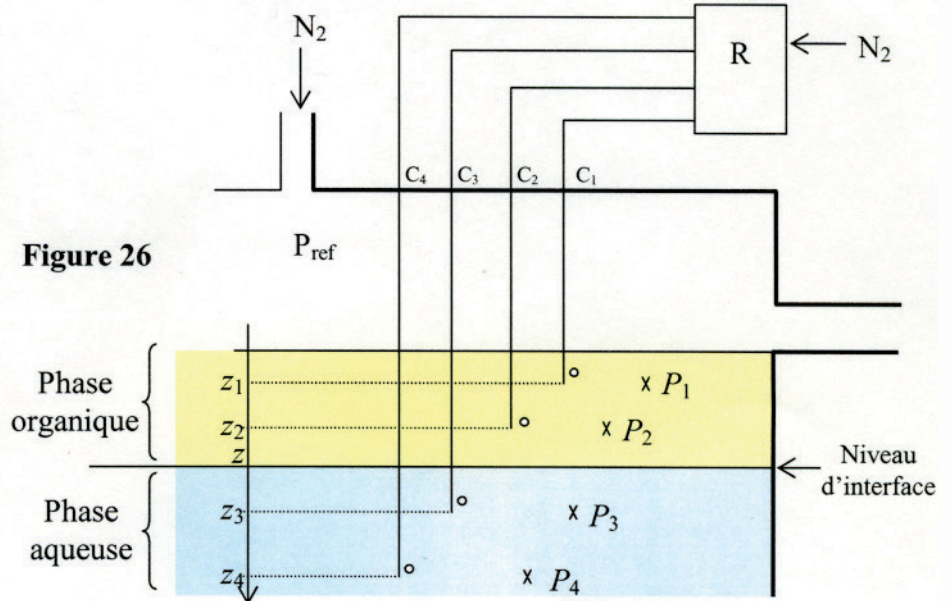
Pour permettre toutes ces mesures, on utilise le dispositif représenté à la figure 26, utilisant quatre cannes de bullage au diazote N_2 .

On pose :

ρ_O = masse volumique de la phase organique.

ρ_A = masse volumique de la phase aqueuse.

La pression de référence P_{ref} est considérée comme constante, car régulée.



Q83 Mesure de ρ_O : Etablir la relation $\rho_O = f(P_1, P_2, g, z_1, z_2)$

Q84 Mesure de ρ_A : Etablir la relation $\rho_A = f(P_3, P_4, g, z_3, z_4)$

Q85 Mesure du niveau d'interface, d'altitude z : Exprimer $\Delta P = P_3 - P_2$ en fonction de z_3, z_2 et z et des autres données.

Q86 Justifier pourquoi il est nécessaire de connaître ρ_O et ρ_A pour déterminer z .

Q87 En déduire l'expression de z en fonction des différentes pressions et des deux masses volumiques.

Applications numériques : On adopte les valeurs numériques suivantes :

Intensité de pesanteur terrestre $g = 9,81 \text{ N/kg}$

$z_1 = 10 \text{ cm}$, $z_2 = 20 \text{ cm}$, $z_3 = 30 \text{ cm}$, $z_4 = 40 \text{ cm}$

$P_1 = 765 \text{ Pa}$, $P_2 = 1530 \text{ Pa}$, $P_3 = 2499 \text{ Pa}$, $P_4 = 3607 \text{ Pa}$

Ces quatre pressions sont en fait des pressions relatives, c'est-à-dire des pressions différentielles entre la canne de bullage et la pression du « ciel », de valeur P_{ref} .

Q88 Le fait de disposer des surpressions relatives par rapport à P_{ref} et non des pressions absolues modifie-t-il les expressions trouvées précédemment ? Justifier.

Q89 Déterminer la valeur numérique de ρ_O .

Q90 Déterminer la valeur numérique de ρ_A .

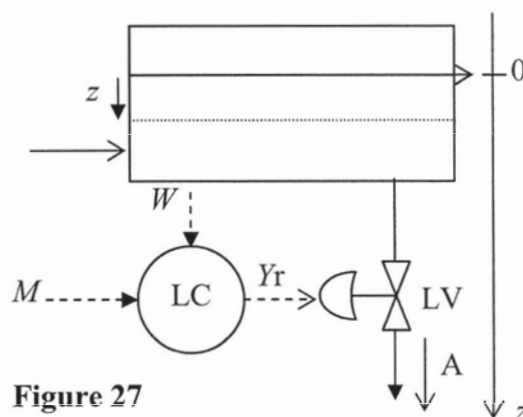
Q91 Déterminer la valeur numérique de z .

Régulation de niveau d'interface (figure 27)

Un ordinateur délivre un signal de mesure M , image directe de z (valeur positive).

LV = «level valve» = vanne de régulation de niveau.

LC = «level controller» = régulateur de niveau.



Q92 Par soutirage contrôlé, on réalise une régulation du niveau d'interface, avec une vanne qui s'ouvre lorsque le signal réglant Y_r augmente. Déterminer le sens d'action (direct ou inverse) du régulateur. Justifier.

2 Applications de la dynamique des fluides incompressibles

On rappelle qu'on appelle fluide parfait un fluide incompressible non visqueux (pas de frottement entre les lignes de courant). L'écoulement de ces fluides peut être étudié grâce à l'équation de BERNOULLI.

On appelle fluide réel un fluide qui présente des forces de frottements. L'équation de BERNOULLI peut encore être appliquée, en utilisant des termes correctifs, qui dépendent du type d'écoulement.

Un cas intéressant est l'écoulement laminaire à grand nombre de Reynolds ($Re > 3000$): les termes de viscosité ne sont à prendre en compte que dans une zone de petite épaisseur proche des parois, appelée *couche limite*, où la vitesse du fluide est nulle au contact de la paroi.

Hors de cette couche le fluide peut être considéré comme parfait, avec une vitesse moyenne à peu près constante pour les lignes de courant. On notera v cette vitesse moyenne, qu'on supposera identique en tout point d'une section droite d'une veine fluide, constituée par une canalisation rectiligne horizontale.

On supposera également réalisées les conditions industrielles d'implantation des instruments, permettant d'être en régime stationnaire et en écoulement unidimensionnel. On rappelle que pour cette « vue de l'esprit », les grandeurs caractéristiques du fluide (P , v , T et ρ) ont même valeur en tout point d'une section droite et sont indépendantes du temps (figure 28)

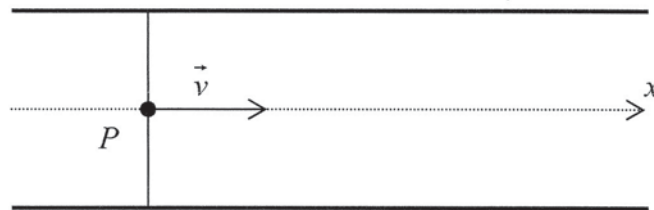


Figure 28

Q93 Citer les conditions qui doivent être remplies pour satisfaire à l'hypothèse d'un écoulement unidimensionnel ?

Q94 Rappeler, pour une conduite rectiligne, le dispositif simple permettant d'accéder à la pression P (dite pression statique).

On rappelle la forme intégrale de la relation de BERNOULLI :

$$X = P + \rho g z + \frac{1}{2} \rho v^2 = \text{constante}$$

Q95 Que devient le terme $\rho g z$ pour un écoulement horizontal ?

Q96 Comment nomme-t-on les termes $\frac{1}{2} \rho v^2$ et X ?

Q97 On note Q_v le débit volumique à travers une section droite de surface S et Q_m le débit massique correspondant. Exprimer Q_v en fonction de v et S . Préciser les unités.

Q98 En déduire l'expression du débit massique Q_m .

Mesure de débit par effet VENTURI (figure 29)

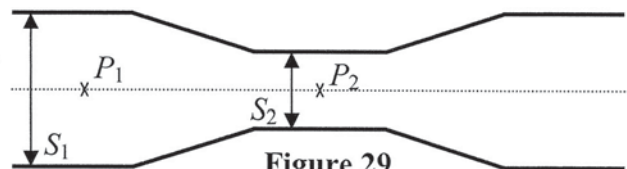


Figure 29

Q99 A quelle condition y a-t-il conservation du débit massique Q_m en toute section droite?

Q100 Même question pour le débit volumique Q_v .

Les vitesses d'écoulement du fluide sont notées v_2 dans la section circulaire S_2 du tube et v_1 dans la section S_1 . On pose $\beta = \frac{D_2}{D_1}$, rapport des diamètres des deux sections circulaires.

Q101 Déterminer l'expression de $\Delta P = P_1 - P_2$ en fonction de Q_v , β , ρ et S_2 .

Q102 En déduire celle de Q_v en fonction de ΔP , β , ρ et S_2 . On écrira Q_v sous la forme :

$$Q_v = k \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}} \text{ et on explicitera le terme } k.$$

Applications numériques

Q103 On donne : $D_1 = 0,10 \text{ m}$, $\beta = 0,666$, $\Delta P = 123 \text{ Pa}$, $\rho = 998 \text{ kg/m}^3$

Déterminer les valeurs numériques de Q_v et Q_m . En déduire le vitesse d'écoulement v_1 .

Q104 On rappelle que le nombre de Reynolds est donné par la formule : $\Re = \frac{v \cdot D}{\eta}$

avec v = vitesse dans la section

D = diamètre intérieur de la canalisation

η = viscosité cinématique

Pour le fluide étudié (proche des caractéristiques de l'eau) η vaut environ $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$.

Déterminer la valeur numérique de $\Re$. Peut-on vérifier l'hypothèse initiale sur l'écoulement ?

Ce type de mesure de débit est utilisé dans l'installation pour le débit d'alimentation de la colonne de distillation (partie D).

3 Applications de la dynamique des fluides compressibles

Le solvant S_2 , après distillation, ne peut plus être réutilisé car trop chargé en impuretés. Après vaporisation on le brûle à la torche, avec de l'air comme comburant. Une combustion complète nécessite donc une mesure précise du débit d'air utilisé et du débit de vapeur en S_2 .

Pour une mesure de débit par venturi, les résultats précédents restent vrais. En particulier pour un

gaz on peut écrire : $Q_v = k \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$.

Dans la pratique, si le fluide est compressible, la valeur de ρ subit l'influence de la variation de pression provoquée par l'organe déprimogène. On introduit alors un coefficient de détente ε légèrement inférieur à 1.

$Q_v = k \cdot \varepsilon \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$ ou $Q_v = k' \cdot \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho}}$. En effet, dans les conditions d'utilisation, ε peut être considéré comme fixe et donc inclus dans la constante de proportionnalité.

Notion de débit corrigé

La combustion S_2 + air doit s'effectuer dans les conditions stoechiométriques et ce sont donc les rapports des nombres de moles qui interviennent pour l'équation de combustion. Les deux gaz pouvant être dans des conditions de température et de pression différentes, on introduit industriellement une correction de température et de pression sur l'indication de la variation de

pression ΔP fournie par l'organe déprimogène. Pour la suite des calculs on assimilera les gaz à des gaz parfaits.

Q105 Rappeler la forme littérale de l'équation des gaz parfaits.

Q106 En déduire l'expression de ρ en fonction de la masse molaire M du gaz et les grandeurs caractéristiques de ce gaz.

Q107 Exprimer le débit massique Q_m sous la forme :

$$Q_m = K \cdot \sqrt{\frac{P \cdot \Delta P}{T}} \text{ où l'on explicitera la constante } K.$$

Quels appareils supplémentaires sont donc nécessaires pour calculer un débit corrigé ?

Q108 Le solvant S_2 a pour formule brute C_3H_6O . Déterminer sa masse molaire M , en g/mol.

Q109 Ecrire l'équation de sa combustion complète avec le dioxygène O_2 , aboutissant à CO_2 et H_2O .

Q110 Déterminer le rapport entre le nombre de moles de dioxygène O_2 nécessaire et le nombre de moles de S_2 .

Q111 En déduire le rapport entre le nombre de « moles d'air » nécessaire et le nombre de moles de S_2 .

Q112 Quel rapport doit-on utiliser entre les débits massiques $Q_{m_{air}}$ et $Q_{m_{S_2}}$ pour obtenir une destruction totale de S_2 ? Déterminer numériquement ce rapport.

Q113 Dans la pratique on utilise un rapport légèrement plus élevé. Justifier ce point.