الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra

Faculté des Sciences et de la technologie

Département : Chimie Industrielle

جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم :الكيمياء الصناعية

POLYCOPIE

Travaux dirigé de Module:

Milieux poreux et dispersés (MPD)

Spécialité : Génie chimique

Présentée par: AIDI AMEL Maitre de conférence (A).

2020

SOMMAIRE

SERIE I :

Opération sur les solides

Exercice 1:

- Trouver les fonctions suivants: **Vv = f (Vs), Vs = f (V_T), Vv = f (V_T)**

Exercice 2:

Un garnissage est constitué d'anneaux Raschig dont les dimensions sont :

d_2 = 2,5 cm (diamètre) ; **H = 5 cm** (hauteur) et **e = 0.4 cm** (épaisseur).

1°/ Calculer les diamètres des sphères équivalents de même: volume **dv** ; surface $\mathbf{d_A}$; surface spécifiques des particules $\mathbf{d_{ss}}$.

2°/ Calculer les facteurs de sphéricité des particules par rapport au volume et au surface.

Exercice 3:

Soit une colonne d'adsorption à garnissage contenant un empilage désordonné ou les grains de forme cubique de côte **a.**

1°/ Calculer : $\mathbf{V_p}$(volume), $\mathbf{A_p}$(surface), $\mathbf{a_p}$(surface spécifique).

2°/ Calculer les diamètres des sphères équivalents de même: volume **dv** ; surface $\mathbf{d_A}$; surface spécifiques des particules d_{ss} .

3°/ Démontrer que: $\boldsymbol{\psi_g . \psi_A^2 = 1}$ et $\boldsymbol{\psi_V^3 . \psi_A^2 = 1}$

Exercice 4:

Etablir les relations entre les facteurs de sphéricité suivants:

a) $\Psi_{ss} \cdot \Psi_A^2 = 1$

b) $\Psi_v^3 / \Psi_A^2 = \Psi_{ss}^2$

c) $\Psi_v^3 \cdot \Psi_A^2 = 1$

Exercice 5:

Un matériau est broyé de tel maniéré que le diamètre moyen est réduit de **50** à **10 mm** avec consommation d'énergie de **13 kW/(Kg/s)** en utilisant la loi de Rittinger :

* Déterminer la consommation de l'énergie nécessaire pour broyer le même matériau de diamètre moyen **75 mm** à un diamètre de **25 mm.**

SOLUTION DE LA SERIE I : Opération sur les solides

Solution 1:

On a : $V_T = Vs + Vv$

- **Vv = f (Vs)**

$$\mathcal{E} = \frac{Vv}{VT} = \frac{Vv}{Vs+Vv} \rightarrow \mathcal{E}Vs + \mathcal{E}Vv = Vv$$

$$\rightarrow (1-\mathcal{E})Vv = \mathcal{E}Vs \Longrightarrow \boldsymbol{Vv = \frac{\mathcal{E}}{1-\mathcal{E}}\,Vs}$$

- **Vs = f (V_T)**

$$Vs = V_T - Vv = V_T - \mathcal{E}V_T.$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{Vs = (1-\mathcal{E})V_T}$$

- **Vv=f (V_T)**

$$\mathcal{E} = = \frac{Vv}{VT} \Longrightarrow \boldsymbol{V_V = \mathcal{E}.V_T}$$

Solution 2:

On a les dimensions de l' anneau:

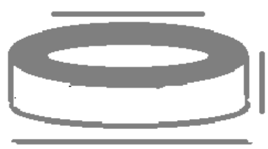
$\mathbf{d_2 =}$ **2,5 cm** (diamètre) ; **H = 5 cm** (hauteur) et **e = 0.4 cm** (épaisseur).

1. Calcule des diamètres de sphère équivalents de même:

- **Volume:**

$$Vp = Vsph = \frac{4}{3}\pi . R^3 = \frac{4}{3} . \pi \frac{d^3}{8} = \frac{\pi d V^3}{6}$$

$$\longrightarrow \quad dv = \sqrt[3]{\frac{6Vp}{\pi}} \quad ; \quad Vp = ?$$



$$Vp = \pi R_2^2 . h - \pi . R_1^2 . h = \frac{\pi . h}{4}(d_2^2 - d_1^2)$$

Avec : $d_1 = d_2 - 2e$

$$Vp = \frac{3{,}14 \times 5}{4}[(2{,}5)^2 - (1{,}7)^2]$$

$$\boldsymbol{Vp = 13{,}18\ cm^3 = 1318.10^{-6}\ m^3}$$

$$dv = \sqrt[3]{\frac{6 \times 13{,}17.10^{-6}}{3{,}14}} \Rightarrow \quad \mathbf{dv = 0{,}029\ m}$$

- **Surface:**

$$d_A = \sqrt{\frac{Ap}{\pi}} \quad ; \quad Ap = ?$$

$$Ap = \pi(d2 + d1).h + 2\left(\frac{\pi}{4}\right)(d_2^2 - d_1^2) \Rightarrow \quad \mathbf{Ap = 0{,}0071 m^2}$$

$$d_A = \sqrt{\frac{Ap}{\pi}} = \sqrt{\frac{0{,}0071}{3{,}14}} \Rightarrow \quad \mathbf{d_A = 0.047m}$$

- **Surface spécifique:**

$$d_{SS} = \frac{d_V^3}{d_A^2} = \frac{(0{,}02)^3}{(0{,}04)^2} \quad \Rightarrow \quad \boldsymbol{d_{ss} = 0{,}01\ \mathrm{m}}$$

2. Calcule les facteurs de sphéricité:

- **Par rapport au Volume:**

$$\Psi v = \frac{A_{sph}}{A_P} \quad \text{avec} \quad A_{sph} = \pi d_V^2 = 3{,}14(0{,}02)^2 = 0{,}0026\, m^2$$

$$\Psi v = \frac{0{,}0026}{0{,}07} \quad \Longrightarrow \quad \boldsymbol{\Psi v = 0{,}37}$$

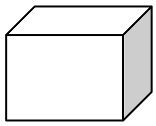
- **Par rapport à la surface:**

$$\Psi_A = \frac{V_{sph}}{V_p} \quad \text{et} \quad V_{sph} = \frac{4}{3}.\pi R^3 = \frac{\pi}{6} d_A^3 = 5{,}4\,.\,10^{-5} m^3$$

$$\boldsymbol{\Psi A = 4{,}15}$$

Solution 3:

1°/ calcule de A_p, V_p, a_g



$A_p = 6a^2$

$V_p = a^3$

$a_g = \frac{Ap}{Vp} = \frac{6}{a}$

2°/ Calcule de d_v, d_A, d_g

- $\mathbf{dv} = \sqrt[3]{\frac{6Vp}{\pi}} = = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi} a^3} = a\sqrt[3]{\frac{6}{\pi}}$
- $\mathbf{d_A} = \sqrt{\frac{Ap}{\pi}} = \sqrt{\frac{6a^2}{\pi}} = a\sqrt{\frac{6}{\pi}}$
- $\mathbf{d_g = d_{ss}} = \frac{dv^3}{dA^2} = a$

3°/ Démonstration : $\boldsymbol{\psi_g . \psi_A^2 = 1}$ et $\boldsymbol{\psi_V^3 . \psi_A^2 = 1}$

a) $\boldsymbol{\psi_g} = \dfrac{\boldsymbol{volume\ du\ sphére\ ayant\ meme\ surface\ spécifique\ que\ la\ particule}}{\boldsymbol{volume\ de\ particule}}$

$$= \frac{\frac{\pi}{6}dg^3}{\mathrm{Vp}} = \frac{\frac{\pi}{6}a^3}{a^3} = \frac{\pi}{6}$$

b) $\boldsymbol{\psi_A} = \dfrac{\boldsymbol{volume\ du\ sphére\ ayant\ meme\ surface\ que\ la\ particule}}{\boldsymbol{volume\ de\ la\ particule}}$

$$= \frac{\frac{\pi}{6}d_A^3}{\mathrm{Vp}} = \frac{\frac{\pi}{6}\left(a\sqrt{\frac{6}{\pi}}\right)^3}{a^3} = \sqrt{\frac{6}{\pi}} = \left(\frac{6}{\pi}\right)^{1/2}$$

Alors : $\boldsymbol{\psi_g}.\boldsymbol{\psi_A^2} = \frac{\pi}{6}.\left(\sqrt{\frac{6}{\pi}}\right)^2 = 1.$

c) $\boldsymbol{\psi_V} = \dfrac{\boldsymbol{surface\ du\ sphére\ ayant\ meme\ volume\ que\ la\ particule}}{\boldsymbol{surface\ de\ la\ particule}}$

$$= \frac{\pi d_V^2}{\mathrm{Ap}} = \frac{\pi\left(a\sqrt[3]{\frac{6}{\pi}}\right)^2}{6a^2} = \left(\frac{\pi}{6}\right)^{1/3}$$

Alors $\boldsymbol{\psi_V^3}.\boldsymbol{\psi_A^2} = \left(\sqrt[3]{\frac{\pi}{6}}\right)^3.\left(\sqrt{\frac{6}{\pi}}\right)^2 = \frac{\pi}{6}.\frac{6}{\pi} = 1$

Solution 4:

Rappel pour:

- $\mathbf{dv} = \sqrt[3]{\frac{\mathbf{6Vp}}{\boldsymbol{\pi}}}$
- $\mathbf{d_A} = \sqrt{\frac{\mathbf{Ap}}{\boldsymbol{\pi}}}$
- $\mathbf{d_g} = \mathbf{d_{ss}} = \frac{\mathbf{dv^3}}{\mathbf{dA^2}}$

* $\boldsymbol{\psi_g} = \boldsymbol{\psi_{ss}} = \dfrac{\boldsymbol{volume\ du\ sphére\ ayant\ meme\ surface\ spécifique\ que\ la\ particule}}{\boldsymbol{volume\ de\ particule}}$

$$\psi_g = \psi_{ss} = \frac{\pi d_{ss}^2}{Ap} = \frac{\pi}{Ap}\left(\frac{6}{ap}\right)^2 = \frac{\pi}{Ap}\left(\frac{6dv}{Ap}\right)^2$$

* $\psi_A = \dfrac{volume\ du\ sphére\ ayant\ meme\ surface\ que\ la\ particule}{volume\ de\ la\ particule}$

$$\psi_A = \frac{\pi\, d_A^3}{6Vp} = \frac{\pi}{6Vp}\left(\frac{Ap}{\pi}\right)^{\frac{3}{2}}$$

* $\psi_V = \dfrac{surface\ du\ sphére\ ayant\ meme\ volume\ que\ la\ particule}{surface\ de\ la\ particule}$

$$\psi_V = \frac{\pi d_V^2}{Ap} = \frac{\pi}{Ap}\left(\frac{6Vp}{\pi}\right)^{\frac{2}{3}}$$

A) Démonstration pour: $\psi_{ss}.\psi_A^2 = 1$

$$\psi_{ss}.\psi_A^2 = \frac{\pi}{Ap}\left(\frac{6dv}{Ap}\right)^2.\left(\frac{\pi}{6\ Vp}\left(\frac{Ap}{\pi}\right)^{\frac{3}{2}}\right)^2 = \left(\frac{\pi}{Ap}\left(\frac{6dv}{Ap}\right)^2\right).\left(\left(\frac{\pi}{6\ Vp}\right)^2\left(\frac{Ap}{\pi}\right)^3\right) = 1$$

$$\psi_{ss}.\psi_A^2 = 1$$

B) Démonstration pour: $\Psi_v^3 / \Psi_A^2 = \Psi_{ss}^2$

$$\Psi_v^3 / \Psi_A^2 = \left[\left(\frac{\pi}{Ap}\right)^3\left(\frac{6Vp}{\pi}\right)^2\right] \Big/ \left[\left(\frac{\pi}{6Vp}\right)^2\left(\frac{Ap}{\pi}\right)^3\right] = \left(\frac{\pi}{Ap}\left(\frac{6dv}{Ap}\right)^2\right)^2 = \Psi_{ss}^2$$

C) Démonstration pour: $\psi_V^3.\psi_A^2 = 1$

$$\psi_V^3.\psi_A^2 = \left[\left(\frac{\pi}{Ap}\right)^3\left(\frac{6Vp}{\pi}\right)^2\right].\left[\left(\frac{\pi}{6Vp}\right)^2\left(\frac{Ap}{\pi}\right)^3\right] = 1$$

Solution 5:

Soit: L_1**= 50mm;** L_2**= 10 mm; E1=13 kW/(Kg/s)**

* Détermination de **E2** pour broyer **le même matériau** de diamètre moyen

L_1=**75 mm ;** L_2= **25 mm.**

$$\boldsymbol{E1} = \frac{1}{K}\left(\frac{1}{L2} - \frac{1}{L1}\right) \rightarrow K = \frac{1}{E1}\left(\frac{1}{L2} - \frac{1}{L1}\right)$$

A.N: $K = \frac{1}{13}\left(\frac{1}{10.10^{-3}} - \frac{1}{50.10^{-3}}\right) = 6{,}15\left(\frac{Kg}{s}\right)/kW.m \quad \rightarrow E2 = \frac{1}{K}\left(\frac{1}{L2} - \frac{1}{L1}\right)$

A.N: $\boldsymbol{E2} = \frac{1}{6{,}15}\left(\frac{1}{25.10^{-3}} - \frac{1}{75.10^{-3}}\right) \Longrightarrow \boldsymbol{E2 = 4{,}33\ kW/(\frac{kg}{s})}$.

SERIE II :

Mouvement des particules (grains) dans un fluide

Exercice 1:

Une bille de verre tombe en chute libre dans l'eau.

* Calculer la vitesse terminale de chute si:

$\mathbf{Re_p = 0{,}1}$; $\boldsymbol{\rho_s = 2750\,\frac{Kg}{m^3}}$; $\boldsymbol{\mu_f = 10^{-3}}$ **Pa.s**

Exercice 2:

Fluide c'est l'eau: $\boldsymbol{\mu_f = 10^{-3}\ kg/s.m}$

Solide : **dp = 2 mm ;** $\boldsymbol{\rho s = 3500\ kg/m^3}$

* Trouvez la vitesse terminal de chute $\mathbf{V_T}$ **= ?**

Exercice 3 :

Quelle est la taille d'un floc d'alumine hydraté (**densité = 1,18**) lorsqu'il se dépose dans l'eau ($\boldsymbol{\mu_f = 10^{-3}}$ **Pa.s**) en régime laminaire, dont la vitesse de chute est de **0,004 m/s.**

Exercice 4 :

Calculer la vitesse de chute d'un grain de sable de diamètre **0,1 mm** et de masse volumique $\rho s = 1600\ kg/m^3$ tomber dans l'eau stagnante à **5 °C** (**$\mu = 10^{-3}$ Pa.s** et **$\rho_f = 1000\ kg/m^3$**).

SOLUTION DE LA SERIE II: Mouvement des particules (grains) dans un fluide

Solution 1:

* Calcule la vitesse terminale de chute si:

$Re_p = 0,1$; $\rho_s = 2750\,\frac{Kg}{m^3}$; $\mu_f = 10^{-3}$ pas

On a: **$Re_p = 0,1 \leq 1$** $\Longrightarrow$ Régime laminaire $\Longrightarrow$ $U_T = \frac{(\rho s - \rho_f) g . d_p^2}{18 \mu_f}$

$$= \frac{dp^2 . 9{,}8 . (2750 - 1000)}{18 . 10^{-3}} = 9{,}527.10^5 dp^2 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \mathbf{1}$$

D'autre part on a :

$$Re_p = \frac{U_T . d_p . \rho_f}{\mu_f} \Longrightarrow U_T = \frac{Re_p . \mu_f}{\rho_f . dp}$$

$$U_T = \frac{0{,}1.10^{-3}}{1000 . dp} = 10^{-7} \frac{1}{dp} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \mathbf{2}$$

1=2 $\Longrightarrow$ $9{,}527.10^5\ dp^2 = 10^{-7} . \frac{1}{dp}$ $\Longrightarrow$ **$dp = 4{,}717.10^{-5}$ m**

$U_T = 9{,}527.10^5 . (4{,}717.10^{-5})^2$ $\Longrightarrow$ **$U_T = 2{,}11.10^{-3}$ m/s**

Solution 2:

* détermination de la vitesse terminal de chute **V_T = ?** si:

$\mu_f = 10^{-3}\ kg/s.m$; **dp = 2 mm ;** $\rho s = 3500\ kg/m^3$

On a: $Ar = \dfrac{g.\rho_f d^3.(\rho_S - \rho_f)}{\mu_f^2}$

$$Re_T = \frac{\rho_f..dp.V_T}{\mu_f} \quad \rightarrow \quad V_T = \frac{Re_T.\mu_f}{\rho_f.dp}$$

Re_T = ?   et $Re_T = f(Ar)$

$$Ar = \frac{g.\rho_f d^3.(\rho_S - \rho_f)}{\mu_f^2} = \frac{10.1000.(0{,}002)^3(3500-1000)}{(10^{-3})^2} \; ; \quad Ar = 2.10^5$$

$10^5 < Ar < 10^{11}$ $\rightarrow$ Rrégime Newton

$Re_T = (3Ar)^{1/2}$; $Re_T = 774.59$ $\Longrightarrow$ $V_T = 0{,}38\ m/s$

Solution 3:

* Calcule la taille d'un floc d'alumine hydraté si:

dp = ?

$\mu_f = 10^{-3}$ **Pa.s**

$U_t = 0{,}004$ **m/s**

ρ_f (eau) $= 1000\ kg/m^3$

$\rho_s = d.\ \rho_f = 1{,}18 \ .\ 1000 = 1180\ kg/m^3$

* Régime est Stocks:

$$\begin{cases} Re_p = \dfrac{\rho_f..dp.V_T}{\mu_f} \leq 1 \\ U_T = \dfrac{(\rho s - \rho_f)g.d_p^2}{18\mu_f} \end{cases} \Longrightarrow \frac{\rho_f..dp.\dfrac{(\rho s - \rho_f)g.d_p^2}{18\mu_f}}{\mu_f} \leq 1$$

$$\Longrightarrow \frac{\rho_f.(\rho s - \rho_f)g.d_p^3}{18.\mu_f{}^2} \leq 1$$

$$d_p \leq \left(\frac{18.\,\mu_f^{\,2}}{\rho_f.\,(\rho s - \rho_f)g}\right)^{\frac{1}{3}}$$

AN:

$$d_p \leq \left(\frac{18.\,10^{-6}}{1000.\,(1180 - 1000)10}\right)^{\frac{1}{3}}$$

$dp \leq 2{,}15.10^{-4}$ m

Solution 4 :

Détermination de la vitesse de chute d'un grain de sable $\mathbf{U_t}$ si:

dp = 0,1 mm

$\mu = 10^{-3}$ Pa.s

$\rho_f = 1000$ kg/m^3

$\rho_s = 1600$ kg/m^3

* Si le Régime est Stocks:

$$U_T = \frac{(\rho s - \rho_f)g.d_p^2}{18\mu_f} = \frac{(1600 - 1000).10.(0{,}0001)^2}{18.10{-}3}$$

$U_T = 33.33\ 10^{-4}$ m/s

à vérifier si: $\mathbf{Re_p \leq 1}$ avec $\mathbf{Re_p} = \frac{\rho_f..dp.V_T}{\mu_f}$

AN:

$$Re_p = \frac{(1000)(0{,}0001)(33{,}33 10^{-4})}{10^{-3}} = 0.33$$

⟹ **$Re_p = 0.33 \leq 1$** donc Régime de Stocks.

SERIE III :
Ecoulement des fluides à travers un milieu poreux

Exercice 1:

Des hydrocarbures sont craqués dans un réacteur catalytique à lit fixe constitué des granules de forme anneau de dimension **D**=**10mm**, **d= 6mm, h= 1mm** ; sur une colonne d'hauteur **3m** ; avec une section **1m^2** et de tortuosité **T=1.58**.

Sachant que le passage du fluide ayant un débit égale à **300m^3/h**, et une vitesse interstitielle **0.25m/s.**

Les données:

ρ_f **= 800Kg/m^3**

μ_f **= 10^{-3} Kg/m.s**

Calculer:

1. Le diamètre hydraulique.

2. Le nombre des pores.

3. Les pertes de charge.

Exercice 2:

Une poudre est contenue dans un récipient cylindrique de **0.8 cm** de diamètre et **3cm** de hauteur. La densité de la poudre est de **2,5 g/cm^3** et **2,2g** masse de la poudre a été utilisée pour former un lit fixe.

1°/ Calculer la porosité **ε** du lit.

L'air a été traversé cet empilement avec un débit volumique de **6,6cm^3 par minute**. Un manomètre de mercure a été utilisé pour mesurer la chute de pression au cours du processus : Une chute de pression de **60mmHg** a été enregistrée.

2°/ Calculer le diamètre de la sphère équivalente à la surface spécifique $\mathbf{d_{ss}}$, en utilisant l'équation de **Kozeny**. On donne la viscosité de l'air $\mu_{air} = 1.8\ 10^{-5}$ **Pa.s**

3°/ Calculer la surface spécifique des grains (a_g).

4°/ Calculer le nombre de Reynolds de pore tel que la densité de l'air est **1,2 Kg/m³**. A ce que l'utilisation de l'équation de **Kozeny** est valide ou non ?

Exercice 3:

On désire sécher un courant d'air humide par passage à travers une couche fixe d'adsorbant constitué de particules d'alumine activée de diamètre

$d_p =$ **0,01m** et de masse volumique **1500Kg/ m³.**

1°/ Calculer en **mm** d'eau les pertes de charge par unité de hauteur de la couche subit au passage d'un fluide ayant un débit de **900m³/h** et une vitesse interstitielle de **0,75m/s**.

2°/ Calculer la masse volumique globale du lit.

Exercice 4:

Des vapeurs hydrocarbures sont craqués dans un réacteur catalytique constitué d'un garnissage ou les grains de forme cubique de cote **a= 0,5cm** ; $\rho_s = 500\mathrm{kg/m^3}$, $\rho_{lit} = 300\mathrm{kg/m^3}$. La section droite du réacteur est **1m²** et la couche du catalyseur à une profondeur de **1,8m**.

1°/ Calculer les pertes de charge subit au passage d'un gaz à travers la couche ou V_S = **0,9m/s.**

2°/ Calculer le facteur de frottement.

Avec : $\rho_f = 0,74\ \mathrm{kg/m^3}$, $\mu = 0,015.10^{-3}\mathrm{kg/\ s.m}$

SOUTION DE LA SERIE III :
Ecoulement des fluides à travers un milieu poreux

Solution 1:

Les données:

- Dimension de l'anneau: **D=10mm**; **d= 6mm**; **h= 1mm**

- Dimension de la colonne: **H= 3m** ; Ω = **1m²**

- **T=1.58; Qv= 300m³/h;** v_i = **0.25m/s;** ρ_f **= 800Kg/m³;** μ_f **= 10^{-3} Kg/m.s**

1°/- Calcule le diamètre hydraulique.

$$d_h = \frac{4\varepsilon}{a_g(1-\varepsilon)} \quad ; \quad \varepsilon = ? \quad ; a_g = ?$$

❖ **Calcule ε**

On a :

$$v_s = \frac{Q_V}{\Omega} = \frac{\left(\frac{300}{3600}\right)}{1} \Longrightarrow \boxed{v_s = 0,083\ m/s}$$

Et

$$v_s = \varepsilon\, v_i \Longrightarrow \varepsilon = \frac{v_s}{v_i} = \frac{0,083}{0,25} \Longrightarrow \boxed{\varepsilon = 0,33}$$

❖ **Calcule a_g**

$$a_g = \frac{A_p}{V_p}$$

$$A_p = \pi(D + d).h + 2\left(\frac{\pi}{4}\right)(D^2 - d^2) \Longrightarrow \boxed{Ap = 150,8mm^2}$$

$$V_p = \frac{\pi.h}{4}(D - d) \Longrightarrow \boxed{V_p = 50,26mm^3}$$

$$\Longrightarrow \boxed{a_g = \frac{A_p}{V_p} = 3\ mm^{-1}}$$

Donc : **le diamètre hydraulique**

$$d_h = \frac{4\varepsilon}{a_g(1-\varepsilon)} = \frac{4.\ 0{,}33}{3.(1-0.33)} \Longrightarrow \boldsymbol{d_h = 0,656mm = 0,65\ 10^{-3}\mathrm{m}}$$

2°/ Calcule le nombre des pores.

$$\varepsilon\, V_T = N_P\, V_p = N_P \frac{\pi}{4} d_h^2 Z_p$$

$$N_P = \frac{4.\varepsilon.V_T}{\pi.d_h^2.Z_p}$$

Avec **Z_p = ?**

On a : **Z_p =T. Z = 1,58 . 3 = 4,74m** $\Longrightarrow$ **Z_p = 4,74m**

$$N_P = \frac{4.0,33.3}{\pi(0,656\ 10^{-3})^2\ .4,74}$$

$$\boldsymbol{N_P = 618272 pore}$$

3°/ Calcule les pertes de charge.

$$Re = \frac{\rho_f v_s d_{ss}}{(1-\varepsilon)\mu_f} \quad ; \quad d_{ss} = ?$$

$$d_{ss} = \frac{d_V^3}{d_A^2} \quad ; \quad d_V = ? \quad ; \quad d_A = ?$$

$$dv = \sqrt[3]{\frac{6Vp}{\pi}} \Longrightarrow \mathbf{dv = 4{,}57mm}$$

$$d_A = \sqrt{\frac{Ap}{\pi}} \Longrightarrow \mathbf{d_A = 6{,}92mm}$$

Donc : $\boldsymbol{d_{ss} = \frac{d_V^3}{d_A^2} = 2\mathrm{mm}}$

$$Re = \frac{\rho_f v_s d_{ss}}{(1-\varepsilon)\mu_f} = \frac{(800)(0{,}083)(0{,}002)}{10^{-3}(1-0{,}33)} = 198{,}20 > 10 \quad \textbf{RT}$$

Applique l'equation de **Burke**

$$\frac{\Delta p}{Z} = 1{,}75\ \frac{\rho_f(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3 d_{ss}} {v_s}^2 \Longrightarrow \frac{\Delta p}{Z} = 1{,}75\ \frac{800\,(1-0{,}33)}{(0{,}33)^3 0{,}002}(0{,}083)^2$$

$$\frac{\Delta p}{Z} = \mathbf{51374{,}68} \Longrightarrow \mathbf{\Delta P = 154124.05\ Pa}$$

Solution 2:

1°/ Calcule la porosité ε :

on a: $\rho_s = 2{,}5 g/cm^3 = 2500\ Kg/m^3$; $d_c = 0{,}810^{-2}\ m$;

$m_s = 2{,}2g = 2{,}2\ 10^{-3} Kg$; $H = Z = 3.10^{-2} m$

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_s} = \frac{m_s}{(1-\varepsilon)V_T} = \frac{4.m_s}{(1-\varepsilon)\pi d_c^2\ H}$$

$$\Longrightarrow \boldsymbol{\varepsilon = 1 -} \frac{4.m_s}{\pi\rho_s d_c^2} = 1 - \frac{4.\ 2{,}2\ 10^{-3}}{\pi.2500(0{,}8.10^{-2})^2.3.10^{-2}}$$

$$\boldsymbol{\varepsilon = 0{,}416 \cong 0{,}42}$$

2°/ Calcule d_{ss} :

On a: $Q_V = 6{,}6 cm^3/\min \Longrightarrow Q_V = \frac{6{,}6\ 10^{-6}}{60} = 1{,}1\ 10^{-7}\ m^3/s$

$\Delta P = 60\ mmHg$

760mmHg ⟶ $1{,}01325\ 10^5$ Pa

60mmHg ⟶ ΔP

$$\Longrightarrow \mathbf{\Delta P = 7999{,}34pa}$$

$\Longrightarrow$ L'équation de **Kozeny** $\frac{\Delta P}{Z} = 150\ \frac{\mu(1-\varepsilon)^2}{M d_{ss}^2 \varepsilon^3} v_s$

$$Q_V = v_s\ A \Longrightarrow v_s = \frac{Q_V}{A} = \frac{Q_V}{\frac{\pi}{4} d_c^2} \Longrightarrow \boldsymbol{v_s = 0{,}0022\ m/s}$$

$$d_{ss}^2 = 150\ Z \frac{\mu(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3 \Delta P} v_s$$

$$d_{ss} = \left(150\,.\,3\;10^{-2}\,\frac{1{,}810^{-5}(1-0{,}42)^2}{0{,}42^3.\;7999{,}2}\,0{,}0022\right)^{1/2}$$

$\boldsymbol{d_{ss} = 1,0057\;10^{-5}}$ **m**

3°/ Calcule surface spécifique des grains $a_g = a_{ss}$

$$a_g = \frac{6}{d_{ss}} = \frac{6}{1{,}0057\;10^{-5}} = 5{,}9710^{-5}\;m^{-1}$$

$$\boldsymbol{a_g = 5,9710^{-5}\;m^{-1}}$$

4°/ Calcule le nombre de Reynolds

$$\boldsymbol{Re = \frac{\rho_g v_s d_{ss}}{(1-\varepsilon)\mu_g} = \frac{1{,}2\,.\;0{,}0022\,.\;1{,}0057\;10^{-5}}{(1-0{,}42).1{,}8.\;10^{-5}}}$$

$$\boldsymbol{Re = 0,025} < 1$$

$\Longrightarrow$ L'utilisation de l'équation de **Kozeny** est valable.

.

Solution 3:

Les donnes:

d_p = 0,01m; ρ = 1500Kg/ m^3; Qv= 900m^3/h ; v_i = 0,75m/s.

1°/ Calcule ΔP

$$Re = \frac{\rho_g v_s d_p}{(1-\varepsilon)\mu_g} \qquad ; \qquad \varepsilon = ? \qquad ; \qquad v_s = ?$$

On a :

$$v_s = \frac{Q_V}{\Omega} = \frac{Q_V}{\frac{\pi}{4}d_c^2} = \frac{\left(\frac{900}{3600}\right)}{\frac{\pi}{4}(0{,}01)^2} \Longrightarrow \boldsymbol{v_s = 0,318\;m/s}$$

$$\text{Et: } v_s = \varepsilon\, v_i \Longrightarrow \varepsilon = \frac{v_s}{v_i} = \frac{0{,}318}{0{,}75} \Longrightarrow \boldsymbol{\varepsilon = 0,42}$$

$$Re = \frac{900.0{,}318\;.0{,}01}{10^{-3}\;(1-0{,}42)} \Longrightarrow \textbf{Re = 4934,4} \qquad \textbf{(R. T)}$$

Applique l'equation de **Burke**

$$\frac{\Delta p}{Z} = 1{,}75\ \frac{\rho_f(1-\varepsilon)}{\varepsilon^3 d_{ss}} v_s{}^2 \Longrightarrow \frac{\Delta p}{Z} = 1{,}75\ \frac{900(1-0{,}42)}{(0{,}42)^3 0{,}01}(0{,}318)^2$$

$\frac{\Delta p}{Z}$ **=124685,20 Kg / m.s²**

2°/ Calcule masse volumique globale du lit.

$\rho_{lit} = \rho_s(1-\varepsilon) + \rho_f\,\varepsilon$

$\rho_{lit} = 1500(1-0{,}42) + 900(0{,}42)$

$\boldsymbol{\rho_{lit} = 1248 Kg/m^2}$

<u>Solution 4:</u>

Les donnes:

a= 0,5cm ; $\rho_s = 500$kg/m³ ; $\rho_{lit} = 300$kg/m³; Ω = 1m²; Hc = 1,8m.

V_S = 0,9m/s; $\rho_f = 0{,}74$ kg/m³; $\mu = 0{,}015.10^{-3}$kg/ s.m

1°/ <u>Calcule les pertes de charge:</u>

Re = ? $\quad Re = \frac{Vs.\ dss.\ \rho_f}{\mu(1-\varepsilon)}$; $\quad d_{ss}$ = ? ; ε = ?

- **<u>Calcule</u>** d_{ss}

$\mathbf{A_p} = 6a^2 = 6(0{,}5.10^{-2})^2 = 1{,}5.10^{-4} m^2$

$\mathbf{V_p} = a^3 = (0{,}5.10^{-2})^3 = 0{,}125.10^{-6}\ m^3$

$\mathbf{a_g} = \frac{Ap}{Vp} = \frac{6}{a} = 12.10^2\ m^{-1}$

- $\mathbf{dv} = \sqrt[3]{\frac{6Vp}{\pi}} = = \sqrt[3]{\frac{6}{\pi}a^3} = a\sqrt[3]{\frac{6}{\pi}} = 6{,}2.10^{-3} m$

- $d_A = \sqrt{\frac{Ap}{\pi}} = \sqrt{\frac{6a^2}{\pi}} = a\sqrt{\frac{6}{\pi}} = 6{,}9.10^{-3}m$
- $d_g = d_{ss} = \frac{dv^3}{dA^2} = a = 0{,}5.10^{-2}m$

❖ **Calcule la porosité ε**

$m_T = m_f + m_s$

$\rho_T . V_T = \rho_f . V_f + \rho_s . V_s$

$\rho_{lit} . V_T = \rho_s (1 - \varepsilon) . V_T + \rho_f . \varepsilon . V_T \Longrightarrow \boldsymbol{\varepsilon = \frac{\rho_{lit} - \rho_s}{\rho_f - \rho_s}}$

$\varepsilon = \frac{300 - 500}{0{,}74 - 500} \Longrightarrow \boldsymbol{\varepsilon = 0.4}$

$Re = \frac{0.9 * 0.5.10^{-2} * 0{,}74}{\mu(1-0.4)} = 370 \longrightarrow$ **Re > 10 (R.T)**

Donc d'après **Burke** on a:

$\boldsymbol{\frac{\Delta P}{Z} = \frac{1{,}75.\rho(1-\varepsilon)}{dss.\varepsilon^3} V_S^2}$; $\boldsymbol{\frac{\Delta P}{Z} = \frac{1{,}75.(0{,}74)(1-0{,}4)}{0{,}5.10^{-2}(0{,}4)^3} (0{,}9)^2 = 1966{,}78[Pa/m]}$

ΔP = 3540,20 Pa

2°/ Calcule le facteur de frottement.

D'après l'équation adimensionnelle d'HERGUN on a :

$$\boldsymbol{f = \frac{\Delta P d_{ss}}{2.Z.\rho_f v_s^2} = \frac{(3540{,}20)(0{,}005)}{2.(1{,}8)(0{,}74)(0{,}9)^2}}$$

$$\boldsymbol{f = 8{,}2}$$

SERIE IV: Fluidisation

Exercice 1:

Un ensemble de particules de **5mm** de diamètre et de **2200kg/m³** de masse volumique. Constitue un lit fluidisé avec un liquide ayant les propriétés physique –chimiques suivantes : μ_L**= 1,2 mPa.s** , $\rho_L = 1,2 g/cm^3$

La masse de solide employée est de **30kg**, le diamètre de la colonne est **100mm**

- **Calculer:**

1°/ La vitesse minimale de la fluidisation.

2°/ Le coefficient **n** et V_T de l'équation de **R-Z**.

3°/ Quelle est la porosité du lit lorsque la vitesse du liquide est égale à **3** fois celle correspondante au minimum de fluidisation.

4°/ On suppose que la porosité du lit fluidisé égale **0,42 ;** calculer la hauteur du lit.

Les données

R.Stokes Ar < 27.2	$10^{-4} <$ $Re_T = Ar/18$ < 1	f= $24/Re_T$
R.Van Allen 27.2 < Ar <4.4*10^5	$1 <$ $Re_T = 0.152\ Ar^{0.714}$ $< 10^3$	f= $18.5 Re_T^{-0.6}$
R.Newton 4.4 10^5<Ar<11 10^{11}	$10^3 <$ $Re_T = (3Ar)^{1/2}$ $<$ 510^5	f= 0.44

$$n=1.09*[7.54-Ln[((1 + 4.15.10^{-5} Re^2*f)^{0.4} – 1)/(2.07*10^{-5} * Re_T)]$$

Exercice 2:

On utiliser un empilage de particules **ovale** de masse volumique **2.4 g/cm³** et de diamètre **3mm**, et de hauteur **4mm**, dans une expérience de fluidisation (Liq-Sol).

1°/ Estimer la masse du solide utilisée.

2°/ Calculer la vitesse minimale de fluidisation.

Les Données :

- Le diamètre du réacteur (colonne) **20 cm**.
- Débit volumique du liquide **:** $Q_V = 5.55\ 10^{-3} m^3/s$.
- Hauteur du réacteur **2m**
- Fluide c'est l'eau $\mu = 10^{-3}$ **Kg /m.s**

Exercice 3:

Un lôt de particules de polypropylènes de masse volumique de **2640 kg/cm³** et de diamètre d_p **= 1, 37 mm** a été utilisé dans une expérience de fluidisation diphasique liquide _ solide. La colonne utilisée est de **0,052m** de diamètre.

Les propriétés physique du liquide sont : masse volumique = **1623 Kg/m³,** viscosité = **0,89mPa.s**

1°/ Estimer les paramètres V_t (vitesse terminales de chut des particules) et **n** (Coefficients de la relation de Richardson-Zaki).

2°/ Comparez les résultats calculée à ceux obtenus expérimentalement sont

n_{exp} **= 2,92** et V_t **= 0,128m/s**

3°/ Quelle est la hauteur du lit qui correspond à une vitesse de liquide est **0,1m/s** et m_s **= 40Kg .**

Les données:

R.Stokes Ar < 27.2	$10^{-4} <$ $Re_T = Ar/18$ < 1	f= $24/Re_T$
R.Van Allen 27.2 < Ar <$4.4*10^5$	$1 <$ $Re_T = 0.152\ Ar^{0.714}$ $< 10^3$	f= $18.5 Re_T^{-0.6}$
R.Newton $4.4\ 10^5 < Ar < 11\ 10^{11}$	$10^3 <$ $Re_T = (3Ar)^{1/2}$ $< 510^5$	f= 0.44

SOLUTION DE LA SERIE IV: Fluidisation

Solution1:

Les donnes:

dp = 5mm; ρ_s = 2200kg/m³ ; μ_L= 1,2 mPa.s ; $\rho_L = 1,2 g/cm^3$

m_s = 30kg; Dc = 100mm

1°/ calcule du V_{minf} :

$$Re_{minf} = \frac{\rho_f . dp . V_{min}}{\mu_L} \rightarrow V_{minf} = \frac{Re_{min} . \mu_L}{\rho_f . dp}$$

Re_{minf} = ?

$$Re_{min\ fluidisation} = \sqrt{C_1^2 + C_2 Ar} - C_1 \quad \text{avec } C_1 = 27,2 \quad C_2 = 0,0408$$

$$= \sqrt{(27,2)^2 + 0,0408 Ar} - 27,2 \quad ; \quad Ar = ?$$

$$Ar = \frac{g.\rho_f d^3.(\rho_s - \rho_f)}{\mu_f^2}$$

$$Ar = \frac{10(1,2.10^3).(0,005)^3(2200-1200)}{(1,2.10^{-3})^2} \quad ; \quad \mathbf{Ar = 1,041.10^6}$$

$$Re_{minf} = \sqrt{(27,2)^2 + 0,0408.1,041.10^6} - 27,2 \quad ; \quad \mathbf{Re_{minf} = 180,74}$$

$$V_{minf} = \frac{180,74 * 1,2.10^{-3}}{1,2.10^3 (0,005)} \quad ; \quad \mathbf{V_{minf} = 0,036 m/s}$$

2°/ calcule de n et V_T:

$Ar = 1,041.10^6 \rightarrow 4.4\ 10^5 < Ar < 1.1\ 10^{11}$ Régime Newton

$Re_T = (3Ar)^{½} = (3.1,04.10^6)^{½}$

$Re_T = 1767,20$

$Re_T > 500 \longrightarrow n = 2,4$

$$V_T = \frac{Re_T.\mu_L}{\rho_f.dp} = \frac{1767,20\ .1,2.10^{-3}}{1200.\ 0,005} \qquad \mathbf{V_T = 0,353\ m/s}$$

3°/ calcule de ε:

$$\varepsilon^n = \nu_L / \nu_T\ ; \quad = \frac{3V\min}{V_T} \qquad \text{ou} \qquad \nu_L = 3V\min$$

$$\varepsilon^{2.4} = \frac{3.0,036}{0,353} = 0,305$$

$$\rightarrow 2.4\ \mathrm{Ln}\ \varepsilon = \mathrm{Ln}\ 0,305 \qquad \rightarrow \mathrm{Ln}\ \varepsilon = \frac{\mathrm{Ln}\ 0,305}{2.4}$$

$$\varepsilon = e^{\frac{\mathrm{Ln}\ 0,305}{2.4}} \Longrightarrow \boldsymbol{\varepsilon = 0,610}$$

4°/ Calcule de la hauteur lorsque $\varepsilon = 0,42$

$\rho_s = m_s / V_s$ avec $V_s = V_T(1-\varepsilon) = H_c\ .\Omega\ (1-\varepsilon) = (1-\varepsilon)\ H_c(\pi/4).d_c^2$

$$\Longrightarrow \quad H_c = \frac{m_s}{(1-\varepsilon)\ .\rho_s\,(\pi/4).d_c^2}$$

AN : $$H_c = \frac{30}{(1-0,42)\ .2200.(\pi/4).(100.10^{-3})^2}$$

$H_c = 2,995$m

Solution 2:

Les Données :

La particules de forme **ovale; $\rho_s = 2.4$ g/cm^3** ; **dp= 3mm; hp = 4mm;**

Dc = 20 cm; $Q_V = 5.55\ 10^{-3}$m^3/s; Hc = 2m; $\mu = 10^{-3}$Kg /m.s

1°/ Calcule la masse du solide utilisée.

On a : $\rho_s = m_s / V_s \Longrightarrow m_s = \rho_s\ .\ V_s$; $V_s = V_T(1-\varepsilon) = H_c\ .\Omega(1-\varepsilon)$

$\Longrightarrow$ $\mathbf{m_s = \rho_s . H_c . \Omega (1-\varepsilon)}$; $\varepsilon = ?$

D'après la relation de R- Z on a : $\varepsilon^n = \nu_L / \nu_T$

Avec $\nu_L = ?$; $\nu_T = ?$; $n = ?$ $\nu_T = ?$

$$Ar = \frac{g.\rho_f d_P^3.(\rho_s - \rho_f)}{\mu_f^2}$$

$$Ar = \frac{10(3.10^{-3})^3.(10)^3(2400-1000)}{(10^{-3})^2} \quad ; \quad \mathbf{Ar = 3.78.10^5}$$

Alors: $27{,}6 < Ar = 3.78.10^5 < 4.4.10^5 \Longrightarrow$ Régime de Van Allen

$\Longrightarrow$ $Re_T = 0.153.Ar^{0.714}$ $\Longrightarrow$ $\mathbf{Re_T = 1469}$

Donc :

$$\nu_T = \frac{Re_T.\mu_L}{\rho_f.dp} = \frac{1469..10^{-3}}{10^3.3.10^{-3}} \qquad \mathbf{\nu_T = 0{,}48\ m/s}$$

- $n = ?$

On a $Re_T > 500$ $\Longrightarrow$ $\mathbf{n = 2{,}4}$

- $\nu_L = ?$ $\Longrightarrow$ $\nu_L = \dfrac{Q_L}{\frac{\pi}{4}d_C^2} = \dfrac{5.55.10^{-3}}{\frac{\pi}{4}(20..10^{-2})^2}$ $\Longrightarrow$ $\mathbf{\nu_L = 0.175}$

$$\varepsilon = \left(\frac{0.175}{0.48}\right)^{\frac{1}{2.4.}} \Longrightarrow \mathbf{\varepsilon = 0.65}$$

$\Longrightarrow$ $m_s = 2 . (\pi/4).(20.10^{-2})^2.2400(1- 0.65)$

$\Longrightarrow$ $\mathbf{m_s = 52.75Kg}$

2°/ Calcule la vitesse minimale de fluidisation

- $\mathbf{\nu_{min\ flui} = ?}$

$$Re_{minf} = \frac{\rho_f.dp.V\min}{\mu_L} \rightarrow V_{minf} = \frac{Re_{min}.\mu_L}{\rho_f.dp}$$

Re_{minf} = ?

$$Re_{min\ fluidisa\ tion} = \sqrt{C_1^2 + C_2 Ar} - C_1 \quad \text{avec } C_1 = 27{,}2 \quad C_2 = 0{,}0408$$

$$= \sqrt{(27{,}2)^2 + 0{,}0408Ar} - 27{,}2 \quad \text{avec} \quad Ar = 3{,}78.10^5$$

$$Re_{minf} = \sqrt{(27{,}2)^2 + 0{,}0408.3{,}78.10^5} - 27{,}2$$; $\mathbf{Re_{minf} = 99{,}9 \cong 100}$

$$Vminf = \frac{100.10^{-3}}{10^3(3.10^{-3})} \Longrightarrow \boldsymbol{Vminf = 0{,}033 m/s}$$

Solution 3:

Les donnes:

ρ_s = 2640 kg/cm^3 ; d_p = 1, 37 mm; Dc = 0,052m ; ρ_l = 1623 Kg/m^3;

μ_l = 0,89mPa.s

1°/ calcule n et ν_T:

$$Ar = \frac{g.\rho_f d^3.(\rho_s - \rho_f)}{\mu_f^2}$$

$$Ar = \frac{10(1623).(1{,}37.10^{-3})^3(2640-1623)}{(0{,}89.10^{-3})^2} \quad ; \quad \mathbf{Ar = 0{,}535.10^5}$$

$Ar = \mathbf{0{,}535.10^5} \rightarrow 27{,}6 < Ar < 4{,}4\ 10^5$ $\Longrightarrow$ **Régime Van Allen**

D'après le tableau

$Re_T = 0{,}152.Ar^{0{,}714}$ = **$3{,}61.\ 10^2$**

$10^3 < Re_T = 3{,}61.\ 10^2 < 5\ 10^2$

$$\Longrightarrow \nu_T = \frac{Re_T.\mu_L}{\rho_f.dp} = \frac{3{,}61.10^2\ .0{,}89.10^{-3}}{1623.\ 1{,}37\ 10^{-3}} \qquad \boldsymbol{\nu_{t(cal)} = 0{,}144\ m/s}$$

n : Coefficient de la relation de R-Z.et ce coefficient est déterminé à partir de la relation **DAPTON** qui on fait dépond de régime.

$n = 4{,}4\ Re_T^{-0{,}1} = 2{,}44$ $\quad\quad 200 < Re_T < 500$

$\Longrightarrow$ **n (cal) = 2,44**

2°/ Comparaison :

$$\begin{cases} \nu_{t(cal)} = 0{,}144\ m/s \\ \nu_{t(exp)} = 0{,}128 \end{cases}$$

$\nu_{t(cal)} > \nu_{t(exp)}$

$$\Delta v = \frac{\nu_{t(cal)} - \nu_{t(exp)}}{\nu_{t(cal)}} = \frac{0{,}144 - 0{,}128}{0{,}144} = 0{,}11 \approx 11\%$$

$$\begin{cases} n\ (cal) = 2{,}44 \\ n(exp) = 2{,}92 \end{cases}$$

n(exp) > n (cal)

$$\Delta n = \frac{n_{(exp)} - n_{(cal)}}{n_{(exp)}} = \frac{2{,}92 - 2{,}44}{2{,}92} = 0{,}16 \approx 16\%$$

3°/ Calcule la hauteur du lit si $\nu = 0{,}1 m/s$

$\rho_s = m_s / V_s$ avec $V_s = V_T(1-\varepsilon) = H_c\ .\Omega\ (1-\varepsilon) = (1-\varepsilon)\ H_c(\pi/4).d_c^2$

$$\Longrightarrow \quad H_c = \frac{m_s}{(1-\varepsilon)\ .\rho_s(\pi/4).d_c^2}$$

$\varepsilon = ?$; $\varepsilon^n = \frac{v_L}{v_t}$ $\Longrightarrow$ $\varepsilon = \left(\frac{v_L}{v_t}\right)^{1/n} = \left(\frac{0{,}1}{0{,}144}\right)^{1/2{,}44}$

$\Longrightarrow$ $\varepsilon = 0{,}86$

AN : $H_c = \frac{40}{(1-0{,}86)\ .1640.(\pi/4).(0{,}052)^2}$ $\Longrightarrow$ **H_c = 82m**

SERIE V:

Filtration et sédimentation

Exercice 1:

A.

1. Entoure la bonne réponse:

«On ne voit pas mes constituants à l'œil nu; je suis un mélange homogène/ hétérogène.»

2. Donner deux exemples pour ce type de mélange.

B.

1. Entoure la bonne réponse:

«On voit mes constituants à l'œil nu; je suis un mélange homogène/ hétérogène.»

2. Donner deux exemples pour ce type de mélange

C. Répondre par Vrai ou Faux?

1. Le mélange obtenu après décantation d'une eau boueuse est un mélange homogène.

2. Le liquide obtenu après filtration d'une eau boueuse, appelé potable.

Exercice 2:

Soit une opération de filtration d'une solution contenant du **$CaCO_3$**(carbonate de calcium ; **ρ_s 2,71 g/cm³**) et **l'eau**. Le filtre utilisé contient une seule membrane ou cadre de filtration **($\Omega = 0{,}56 m^2$)**.

Les résultats de l'opération sont présents comme suit:

Le volume du filtrat récupéré; **$V_{filtrat} = 0{,}0759 m^2$**

La masse du gâteau sec; $\mathbf{m_{sec}}$ **= 0,724 kg**

La masse du gâteau humide; $\mathbf{m_{humide}}$ **= 2,109 kg**

Calculer:

1. La porosité du gâteau;

2. Le facteur W;

3. L'épaisseur du gâteau.

Exercice 3:

Calculer la vitesse de **sédimentation** d'une particule de diamètre **dp =10 micromètres**, de masse volumique ρ_S**=1700 kg.m**$^{-3}$, plongée dans un fluide de masse volumique ρ_L**=1000 kg.m**$^{-3}$ et de viscosité μ_L**=10**$^{-3}$ **Pa.s**.

.

Exercice 4:

On considère un bassin de décantation de section rectangulaire (**h=1 m** de hauteur de liquide et **l = 24 m** de largeur), dont la longueur est **L=10m**. Une suspension contenant des particules de diamètre allant de **1 à 100 microns** est alimentée à raison de **5 m**^{3}**.h**$^{-1}$ à la surface du bassin, à une de ses extrémités. On considère l'écoulement de liquide comme étant uniforme sur toute la section verticale du bassin. Le liquide clarifié sort par débordement à l'autre extrémité du bassin.

1. Calculer la section de l'écoulement, l'inventaire en solution dans l'appareil, le temps de séjour moyen, la vitesse horizontale V_L du liquide.

2. Calculer la vitesse de sédimentation V_S que doit avoir une particule pour qu'elle se retrouve au fond du bassin à l'aplomb du débordement (cette particule aura donc parcouru **10 m** horizontalement et **1 m** verticalement).

3. Calculer le diamètre minimal des particules qui seront sédimentées dans ce bassin.

Rappel:

En régime laminaire, la vitesse de sédimentation d'une particule est donnée par la loi de Stokes, $\mathbf{V_S = (d^2.(\rho_S - \rho_L).g)/(18.\mu_L)}$

Les Données:

h=1 m, l=4 m, L=10 m, ρ_S=1700 kg.m^{-3}, ρ_L=1000 kg.m^{-3} et μ_L=10^{-3} Pa.

SOLUTION DE LA SERIE V:

Filtration et sédimentation

Exercice 1:

A)-

Entoure la bonne réponse:

1. «On ne voit pas mes constituants à l'œil nu; je suis un mélange **homogène**/ hétérogène.»

2. Donne deux exemples pour ce type de mélange: **eau salée et eau sucrée**

B)-

Entoure la bonne réponse:

1. «On voit mes constituants à l'œil nu; je suis un mélange homogène/ **hétérogène**.»

2. Donne deux exemples pour ce type de mélange: **eau et huile; eau et sable.**

C)- Vrai ou Faux:

1. Le mélange obtenu après décantation d'une eau boueuse est un mélange homogène: FAUX

2. Le liquide obtenu après filtration d'une eau boueuse, appelé potable: FAUX

Exercice 2:

1°/ La porosité du gâteau.

$m = M_T / M_s$ = 2,109/0.724 = 2,91

m= 2,91

$$\varepsilon_G = \frac{\rho s\,(1-m)}{\rho s\,(1-m) - \rho_L} = \frac{2{,}71.10^3\ (1-2.91)}{2{,}71.10^3\ (1-2.91) - 1000}$$

$\varepsilon_G = 0{,}84$

2°/ Le facteur W.

$W = M_s / V = 0{,}724 / 0{,}0759 = 9{,}016$

W = 9,016

3°/ L'épaisseur du gâteau.

$$Z = \frac{W.V}{\Omega(1-\varepsilon).\rho s} = \frac{(9{,}016)(0{,}0759)}{0.56(1-0{,}84)2{,}71.10^3}$$

$Z = 2{,}818\ 10^{-3}$m

Exercice 3:

On a:

$dp = 10x10^{-6}$ m; ρ_S=1700 kg.m^{-3}, ρ_L=1000 kg.m^{-3} ; μ_L=10^{-3} Pa.s.

La vitesse de sédimentation est donnée par la loi de Stokes:

$V_S = (d^2.(\rho_S - \rho_L).g) / (18.\mu_L)$

$Vs = (10x10^{-6})^2x(1700-1000)x9.81/18x10^{-3}$

$V_S = 0.000038$ m.s^{-1}

soit **$V_S = 0.1368$ m.h^{-1}**, ou encore **1.09 m en 8 heures.**

Exercice 4:

1°/ Le section du bassin est:

S = h x l = 4 m^2

Et son inventaire: **V = h x l x L = 40 m^3**

2°/ La vitesse horizontale est:

$V_L = Q_V/S = (5/3600)/4 = 0.000347$ m.s^{-1}, soit **1.25 m.h^{-1}.**

Donc: $V_L = 1.25$ m.h^{-1}

3°/ Le temps de séjour s'écrit:

$t_s = V/Q_V = 40/5 = 8$ heures

4°/ Pour que la particule qui sédimente se retrouve au fond du bassin à l'aplomb du débordement, sa vitesse de sédimentation doit être telle que:

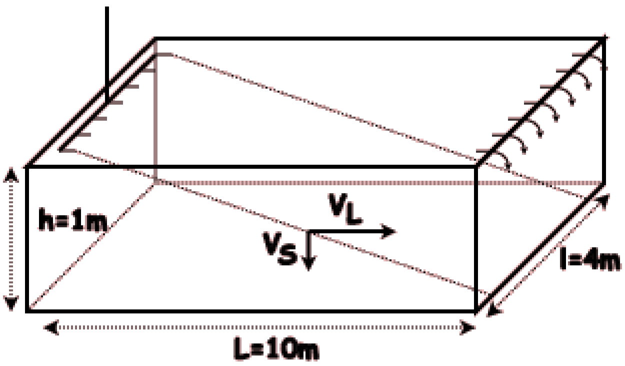
$h/V_S = L/V_L$, càd **$V_S = V_L \times (h/L) = 1.25/10 = 0.125$ m.h^{-1}**

soit: **$V_S = 0.0000347$m.s^{-1}.**

Le diamètre de la particule qui sédimentera à cette vitesse est:

$d = [(V_S \times 18\mu_L)/(g.(\rho_S-\rho_L))]^{1/2} = [(0.125x18x10^{-3}/3600/9.81/(1700-1000)]^{1/2}$

$d = 6.54x10^{-6}$ m



REFERENCES

[1] Henri Fauduel **« Mécanique des fluides et des solides appliquée à la chimie »** Editeur Lavoisier Paris (2011).

[2] Coulson and Richardson's ; J. F. RICHARDSON; J. H. HARKER; J. R. BACKHURST **« CHEMICAL ENGINEERING »** volume 2 fifth edition (2002).

[3] Emilian Koller **« Aide-mémoire Génie chimique »** 3ème édition (2010).

[4] Didier Ronze **« Introduction au génie des procédés».** Editeur Lavoisier (2008).

[5] Frédéric Élie « **Décantation et filtration-aspects hydrodynamiques** » (2014).