Université de Djilali Bounaama
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de génie des procédés
Opérations unitaires fluide-solide
M1 GPH/M1 GA

Année universitaire : 2025- 2026

Corrigé Série d'exercices : Centrifugation

Exercice 01 :

$\omega = 2\pi N/60 = 2\pi \times 4500/60 = 471{,}2$ rad/s.
$ac = \omega^2 r = (471{,}2)^2 \times 0{,}12 = 2{,}66 \times 10^4$ m/s².
$RCF = ac/g = (2{,}66 \times 10^4)/9{,}81 = 2715$.

L'échantillon subit donc une accélération environ 2715 fois supérieure à la pesanteur. Cela explique pourquoi la centrifugation permet de séparer rapidement des particules fines, difficiles à décanter par gravité.

Réponse finale : $RCF \approx 2{,}7 \times 10^3$ g.

Exercice 02 :

$\omega = 2\pi N/60 = 2\pi \times 6000/60 = 628{,}3$ rad/s.
La vitesse de migration centrifuge s'écrit : $vc = dp^2 (\rho p - \rho f)\, \omega^2 r/(18\mu)$.
$vc = (5\times10^{-6})^2 \times (1200-1000) \times (628{,}3)^2 \times 0{,}08/(18\times10^{-3}) = 8{,}77 \times 10^{-5}$ m/s.
vc = 0,0877 mm/s.

Sous gravité : $vg = d_p^2 (\rho p - \rho f)\, g/(18\mu)$.
$Vg = (5\times10^{-6})^2 \times 200 \times 9{,}81/(18\times10^{-3}) = 2{,}73 \times 10^{-9}$ m/s.

Rapport : $vc/vg = 8{,}77\times10^{-5} / 2{,}73\times10^{-9} = 3{,}22\times10^4$.
La migration centrifuge est donc environ 32 000 fois plus rapide que la sédimentation gravitaire.
Réponse finale : $vc = 8{,}77 \times 10^{-5}$ m/s ; la centrifugation accélère fortement la séparation.

Exercice 03 :

$\omega = 2\pi \times 5000/60 = 523{,}6$ rad/s.
$vc = dp^2 (\rho p - \rho f)\, \omega^2 r_m/(18\mu)$.
$vc = (3\times10^{-6})^2 \times 500 \times (523{,}6)^2 \times 0{,}10/(18\times10^{-3})$.
$vc = 6{,}85 \times 10^{-6}$ m/s.

La distance à parcourir est $\Delta r = 2$ cm = 0,02 m.
$t = \Delta r/vc = 0{,}02/(6{,}85\times10^{-6}) = 2920$ s.
t = 2920/60 = 48,7 min.

En pratique, on choisit un temps légèrement supérieur pour tenir compte de la distribution granulométrique, des interactions entre particules et des zones mortes dans le tube.
Réponse finale : temps minimal ≈ 49 min.

Exercice 04 :

La relation de base de la méthode sigma est : $Q = vg\ \Sigma$.
$Qth = 2{,}0\times10^{-6} \times 1200 = 2{,}40\times10^{-3}$ m³/s.
Conversion en m³/h : $Qth = 2{,}40\times10^{-3} \times 3600 = 8{,}64$ m³/h.

Avec un coefficient de sécurité de 0,65 : $Qpratique = 0{,}65 \times 8{,}64 = 5{,}62$ m³/h.

Le débit pratique doit être inférieur au débit théorique car les conditions réelles ne sont pas parfaitement idéales : turbulence, distribution de taille, encrassement, non-uniformité de l'écoulement.
Réponse finale : Qth = 8,64 m³/h ; Qpratique ≈ 5,6 m³/h.

Exercice 05 :

$vg = dp^2\ (\rho p - \rho f)g/(18\mu)$.
$vg = (2\times10^{-6})^{\,2} \times 800 \times 9{,}81\ /(18\times10^{-3}) = 1{,}74 \times 10^{-9}$ m/s.

$Qlim = vg\ \Sigma = 1{,}74\times10^{-9} \times 850 = 1{,}48\times10^{-6}$ m³/s.
En m³/h : $Qlim = 1{,}48\times10^{-6} \times 3600 = 5{,}33\times10^{-3}$ m³/h.

La centrifugeuse proposée permet donc seulement environ 0,0053 m³/h, très inférieur au débit demandé de 0,50 m³/h.

Le facteur sigma minimal est : $\Sigma min = Q/g$.
$Q = 0{,}50/3600 = 1{,}389\times10^{-4}$ m³/s.
$\Sigma min = 1{,}389\times10^{-4}\ /(1{,}74\times10^{-9}) = 7{,}98\times10^{4}$ m².

Il faut donc une centrifugeuse beaucoup plus performante, par exemple une centrifugeuse à disques, ou augmenter le diamètre apparent des particules par floculation.

Réponse finale : la centrifugeuse tubulaire n'est pas suffisante ; $\Sigma min \approx 8{,}0 \times 10^{4}$ m².

Exercice 06 :

$vg = dp^2\ (\rho p - \rho f)\ g/(18\mu)$.
$vg = (10\times10^{-6})^{\,2} \times 600 \times 9{,}81\ /(18\times10^{-3}) = 3{,}27\times10^{-5}$ m/s.
Temps de décantation : $tg = 0{,}50\ /(3{,}27\times10^{-5}) = 15291$ s = 4,25 h.

À RCF = 2500 g, l'accélération est 2500 fois supérieure à g. En régime de Stokes, la vitesse est proportionnelle à l'accélération.

$vc = 2500 \times vg = 2500 \times 3{,}27\times10^{-5} = 8{,}18\times10^{-2}$ m/s.
Distance centrifuge : 1,5 cm = 0,015 m.

$tc = 0{,}015\ /(8{,}18\times10^{-2}) = 0{,}183$ s.
La comparaison montre que la centrifugation est très avantageuse pour les particules fines ou les séparations rapides. Cependant, le choix industriel dépend aussi du débit, de la concentration en solides, de la consommation énergétique et du coût d'investissement.

Réponse finale : décantation ≈ 4,25 h ; centrifugation ≈ 0,18 s dans les hypothèses simplifiées.

Exercice 07 :

$\Delta\rho = |\rho eau - \rho huile| = 120\ kg/m^3$.
$vg = d^2\ \Delta\rho\ g\ /(18\mu)$.
$Vg = (1{,}5\times10^{-6})^{\,2} \times 120 \times 9{,}81\ /(18\times10^{-3}) = 1{,}47\times10^{-10}\ m/s$.

$Qth = vg\ \Sigma = 1{,}47\times10^{-10} \times 55\ 000 = 8{,}09\times10^{-6}\ m^3/s$.
En m^3/h : $Qth = 8{,}09\times10^{-6} \times 3600 = 0{,}0291\ m^3/h$.

Débit industriel conseillé : $Q = 0{,}70 \times 0{,}0291 = 0{,}0204\ m^3/h$.

La faible différence de densité et le très petit diamètre des gouttelettes rendent la séparation difficile. Les centrifugeuses à disques sont intéressantes car leur facteur sigma est beaucoup plus élevé que celui des centrifugeuses simples, mais une étape de coalescence ou de déstabilisation de l'émulsion peut être nécessaire.

Réponse finale : débit conseillé $\approx 0{,}020\ m^3/h$, soit environ $20\ L/h$.

Exercice 08 :

Volume traité : $V = 200\ mL = 0{,}200\ L$.
Masse initiale de solides : $ms0 = C0\ V = 12 \times 0{,}200 = 2{,}40\ g$.
Masse de solides dans le surnageant : $ms,surn = 0{,}8 \times 0{,}200 = 0{,}160\ g$.
Masse de solides récupérée dans le culot : $ms,culot = 2{,}40 - 0{,}160 = 2{,}24\ g$.

Rendement de séparation : $\eta = ms,\ culot/ms0 \times 100$.
$\eta = 2{,}24/2{,}40 \times 100 = 93{,}3\ \%$.

Le culot humide contient 35 % de solides en masse. Donc : $mculot = ms,culot/0{,}35$.
$mculot = 2{,}24/0{,}35 = 6{,}40\ g$.
La masse de liquide retenue dans le culot est : $mliq = 6{,}40 - 2{,}24 = 4{,}16\ g$.

Réponse finale : rendement $\approx 93{,}3\ \%$; masse du culot humide $\approx 6{,}40\ g$.