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

Série d'exercices : Centrifugation

Objectifs : calculer la force centrifuge relative, la vitesse de migration, le temps de clarification, le débit d'une centrifugeuse et le facteur sigma, puis analyser le choix d'un équipement.

Rappels de cours

La centrifugation est une opération de séparation fluide-solide ou liquide-liquide qui utilise un champ d'accélération centrifuge supérieur à la pesanteur. Elle permet d'accélérer la sédimentation lorsque les particules sont fines, lorsque la différence de densité est faible ou lorsque la décantation gravitaire devient trop lente.

Grandeurs et relations utiles

Grandeur	Relation	Remarque
Vitesse angulaire	$\omega = 2\pi N/60$	N en tr/min ; ω en rad/s
Accélération centrifuge	$a_c = \omega^2 r$	r : rayon de rotation
Force centrifuge relative	$RCF = a_c/g = \omega^2 r/g$	souvent exprimée en nombre de g
Vitesse de migration, régime de Stokes	$v_c = d_p^2(\rho_p - \rho_f)\omega^2 r/(18\,\mu)$	valable si Rep faible
Temps de migration radial	$t = \Delta r/v_{c,moy}$	approximation avec un rayon moyen
Débit limite par méthode sigma	$Q = v_g \Sigma$	v_g : vitesse de Stokes sous gravité ; Σ : surface équivalente

Dans les exercices, on supposera les particules sphériques, la suspension diluée et le régime de Stokes lorsque cela est indiqué.

Exercice 01 :

Une centrifugeuse de laboratoire tourne à N = 4500 tr/min. Le tube est placé à un rayon moyen r = 12 cm :

- Calculer la vitesse angulaire ω ?
- Calculer l'accélération centrifuge a_c ?
- Calculer la force centrifuge relative RCF en nombre de g ?
- Comparer l'accélération centrifuge à la pesanteur ?

Exercice 2 :

Des particules solides sphériques de diamètre $d_p = 5$ µm sont dispersées dans l'eau. La centrifugeuse tourne à N = 6000 tr/min. Le rayon moyen de migration est r = 8 cm :

Données : $\rho_p = 1200$ kg/m³ ; $\rho_f = 1000$ kg/m³ ; $\mu = 1{,}0 \times 10^{-3}$ Pa.s ; $g = 9{,}81$ m/s².

- Calculer la vitesse de migration centrifuge v_c ?
- Calculer la vitesse de sédimentation gravitaire v_g ?
- Comparer v_c et v_g ?

Exercice 3 :

Une suspension contient des particules de diamètre $d_p = 3$ µm. Elle est centrifugée à N = 5000 tr/min dans un tube où les particules doivent parcourir radialement une distance $\Delta r = 2$ cm pour atteindre la paroi. Le rayon moyen est $r_m = 10$ cm.

Données : $\rho p = 1500$ kg/m³ ; $\rho f = 1000$ kg/m³ ; $\mu = 1{,}0 \times 10^{-3}$ Pa.s.

- Calculer la vitesse de migration centrifuge ?
- Déterminer le temps minimal de centrifugation ?
- Donner le résultat en minutes ?

Exercice 4 :

Une centrifugeuse possède un facteur sigma $\Sigma = 1200$ m². On veut séparer des particules dont la vitesse de sédimentation gravitaire est $vg = 2{,}0 \times 10^{-6}$ m/s.

- Calculer le débit maximal théorique Q ?
- Convertir le résultat en m³/h ?
- Si on applique un coefficient de sécurité de 0,65, déterminer le débit pratique conseillé ?

Exercice 5 :

On souhaite clarifier une suspension aqueuse contenant des particules de diamètre d_p = 2 µm. Le débit à traiter est Q = 0,50 m³/h. La centrifugeuse tubulaire possède un volume annulaire tel que le facteur sigma peut être estimé à $\Sigma = 850$ m².

Données : $\rho p = 1800$ kg/m³ ; $\rho f = 1000$ kg/m³ ; $\mu = 1{,}0 \times 10^{-3}$ Pa.s.

- Calculer la vitesse de sédimentation gravitaire des particules ?
- Calculer le débit limite par méthode sigma ?
- Vérifier si la centrifugeuse est suffisante ?
- Calculer le facteur sigma minimal nécessaire pour traiter 0,50 m³/h ?

Exercice 6 :

Une suspension contient des particules de diamètre dp = 10 µm. On compare deux procédés : décantation gravitaire et centrifugation à RCF = 2500 g.

Données : $\rho p = 1600$ kg/m³ ; $\rho f = 1000$ kg/m³ ; $\mu = 1{,}0 \times 10^{-3}$ Pa.s.

Les particules doivent parcourir une distance équivalente de 0,50 m dans le décanteur et 1,5 cm dans la centrifugeuse.

- Calculer la vitesse de sédimentation gravitaire ?
- Calculer le temps nécessaire en décantation ?
- Calculer la vitesse équivalente en centrifugation ?
- Calculer le temps nécessaire en centrifugation ?
- Conclure ?

Exercice 7 :

Une centrifugeuse à assiettes possède un facteur sigma $\Sigma = 55\,000$ m². Elle traite une émulsion contenant de fines gouttelettes d'huile dans l'eau. Les gouttelettes ont un diamètre d = 1,5 µm.

Données : $\rho au = 1000$ kg/m³ ; $\rho huile = 880$ kg/m³ ; $\mu = 1{,}0 \times 10^{-3}$ Pa.s.

On prendra la valeur absolue de la différence de masse volumique.

- Calculer la vitesse de migration gravitaire équivalente ?
- Calculer le débit maximal théorique ?
- Proposer un débit industriel en prenant 70 % du débit théorique ?
- Commenter l'intérêt de la centrifugeuse à disques ?

Exercice 8 :

On centrifuge 200 mL d'une suspension contenant 12 g/L de solides. Après centrifugation, on obtient un surnageant contenant encore 0,8 g/L de solides. Le culot humide récupéré contient 65 % de liquide et 35 % de solides en masse.

On prendra $\rho liquide = 1000$ kg/m³ et on négligera la variation de volume du surnageant.

- Calculer la masse initiale de solides ?
- Calculer la masse de solides restant dans le surnageant ?
- Calculer le rendement de séparation ?
- Calculer la masse du culot humide ?