

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC
SESSION D'ÉTÉ 2019

Toute documentation permise Calculatrices : modèles autorisés seulement Durée de l'examen : 3 heures
--

14-EN-A4

APPROVISIONNEMENT EN EAU ET TRAITEMENT DES EAUX USÉES

QUESTION 1 (18 %)

Une eau usée présente une concentration en orthophosphates solubles de 3,0 mg/L exprimée en P-PO_4^{3-} . Le pH de l'eau usée est neutre et la concentration en alcalinité suffisante pour satisfaire les différentes réactions présentes.

- a) Quelle concentration théorique d'alun (exprimée en mg Al/L et en mg $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O/L}$) permettrait d'éliminer 100 % des orthophosphates présents? (5 %)
- b) Quelle autre réaction se produit nécessairement dans l'eau suite à l'ajout d'alun? (2 %)
- c) Compte tenu de la concentration théorique d'alun obtenue en a), quelle est l'alcalinité consommée en mg CaCO_3/L ? (3 %)
- d) En pratique, la concentration finale en orthophosphates sera-t-elle nulle? Expliquez. (2 %)
- e) En pratique, quelle concentration d'alun (exprimée en mg Al/L) devrait être ajoutée afin d'obtenir minimalement un enlèvement de 75 % des orthophosphates présents? (3 %)
- f) Quelle(s) condition(s) opérationnelle(s) doivent être mises en œuvre en pratique (dans une station d'épuration) afin de garantir de bonnes réactions chimiques du coagulant injecté? (3 %)

QUESTION 2 (15 %)

Le débit de purge de boues (décantées) d'une station de boues activées classique est établi à une moyenne de $80 \text{ m}^3/\text{jour}$. La concentration moyenne des boues extraites du décanteur est de $13\,000 \text{ mg/L}$.

- a) Estimez le volume quotidien de boues déshydratées produites et à disposer (m^3), en supposant que cette boue présente une siccité moyenne de 25 % et une masse volumique de 1030 kg/m^3 ? (4 %)
- b) En station, que fait-on de l'eau issue du processus de déshydratation des boues? Expliquez. (4 %)
- c) Si la concentration moyenne de polymère (conditionneur à boues) utilisée en déshydratation des boues (extraites des décanteurs) est de 5 g/kg de solides secs de boues, quelle quantité (en kg) de polymère est requise annuellement? (3 %)
- d) Sachant que le débit d'eau usée traitée par la station de boues activées est de $14\,800 \text{ m}^3/\text{jour}$, estimez l'enlèvement moyen de phosphore des eaux usées (en mg P/L). (4 %)

QUESTION 3 (10 %)

Une industrie génère près de 180 m^3 d'eau usée par jour contenant en moyenne 55 mg/L de phénol. L'eau doit être traitée grâce à l'ajout de charbon actif en poudre en bassin (en cuvée) pour un temps de contact prévu de deux heures à 20°C .

Des essais d'adsorption (en cuvées) ont été réalisés en laboratoire à une température constante de 20°C suivant l'ajout de différentes concentrations de charbon actif pour un temps de contact de deux heures. Les résultats obtenus obéissent au modèle de Freundlich. Les constantes obtenues sont les suivantes :

$$K = 12 (\text{mg/g})(\text{L/mg})^{1/n} \text{ et } n = 0,32 \text{ (sans dimension)}$$

Estimez la masse quotidienne de charbon actif (kg/jour) requise pour traiter (en cuvée) l'eau usée industrielle afin de diminuer la concentration en phénol jusqu'à 6,8 mg/L en vue de son rejet dans l'environnement.

QUESTION 4 (20 %)

Une station d'épuration des eaux usées municipales comprend l'ensemble des éléments présentés au Tableau 1. La station rejette ses eaux traitées dans un milieu récepteur sensible nécessitant d'avoir une filière de traitement avancée. Établissez une filière de traitement de station qui comprend l'ensemble des éléments présentés au tableau. Votre solution doit être présentée sous la forme d'un schéma général avec des représentations graphiques simplifiées des éléments, ainsi que des traits et flèches (avec les N° correspondants, allant de E1 à E14 pour ceux associés au traitement des eaux et de B1 à B7 pour ceux du traitement des boues) permettant de suivre le cheminement. Vous pouvez, au besoin, ajouter un (des) élément(s) à la filière de traitement liquide ou solide, à condition qu'ils soient justifiés. (20 %)

Tableau 1 : Éléments d'une station d'épuration des eaux usées municipales

N°	Éléments associés au traitement des eaux	N°	Éléments associés au traitement des boues
E1	Bennes des stockages des résidus de dégrilleur(s) et de dessableur	B1	Conduite(s) de retour des eaux issues de la déshydratation des boues + écumes vers la filière liquide de traitement
E2	Désinfection par rayonnement ultraviolet	B2	Filtres-presse(s) (déshydratation des boues + écumes)
E3	Décanteur tertiaire	B3	Bennes de stockage des boues déshydratées
E4	Réacteur à biofilm à lit en mouvement – RBLM (<i>Moving Bed Biofilm Reactor – MBBR</i>) (étape de nitrification biologique)	B4	Bassin de mélange des boues + écumes (étape de floculation)
E5	Marais artificiel (<i>wetland system</i>)	B5	Système de préparation et d'injection du polymère cationique (nécessaire à la floculation de la boue et des écumes)
E6	Dessableur(s) aéré(s)	B6	Bassin de stockage des boues + écumes
E7	Pompe-doseuse de coagulant pour l'enlèvement du phosphore	B7	Réservoir de stockage de polymère cationique (nécessaire à la floculation des boues + écumes)
E8	Émissaire (rejet dans le milieu sensible)		
E9	Décanteur secondaire		
E10	Réservoir de stockage de coagulant		
E11	Décanteur primaire		
E12	Bassin aéré (boues activées)		
E13	Dégrilleur(s)		
E14	Mélangeur rapide (coagulant)		

QUESTION 5 (5 %)

Dans un système d'épuration par lits bactériens (*trickling filter*), pourquoi est-il intéressant de recirculer l'eau traitée?

QUESTION 6 (10 %)

Discutez de l'importance environnementale de bien contrôler la quantité de nutriments (matière organique, azote, phosphore) rejetés par les stations d'épuration.

QUESTION 7 (17 %)

Un bassin de décantation idéal est alimenté par une eau usée industrielle (température moyenne de l'eau = 20°C) contenant à parts égales deux types de particules discrètes (particule #1 et particule #2). Chacun des types de particules discrètes présente les mêmes caractéristiques de forme, de masse volumique et de taille, et conséquemment la même vitesse de chute. Le débit d'eau est distribué à l'entrée du bassin sur toute sa profondeur et sa largeur (section d'entrée). Les dimensions du bassin sont les suivantes :

Longueur : 25 m; largeur : 8 m; profondeur : 3,5 m

Des essais réalisés à différents débits d'alimentation du décanteur ont mené aux résultats présentés au Tableau 2.

Tableau 2 : Résultats d'essais de décantation en bassin des eaux usées industrielles

Particules	Débits (m ³ /jour)	Résultats observés
#1	12 000	Les particules #1 sont toutes juste éliminées à 100 % par décantation.
#2	32 000	Les particules #2 sont toutes juste éliminées à 100 % par décantation.

- Quelle est la vitesse de chute (en cm/s) de chaque type de particules discrètes? (4 %)
- Quel débit (en m³/jour) permet d'éliminer 40 % des particules discrètes ayant la vitesse de chute la plus faible? À ce débit, quelle est l'élimination (en %) des particules ayant la vitesse de chute la plus élevée? (4 %)
- Quel débit (en m³/jour) permet d'éliminer 50 % des particules ayant la vitesse de chute la plus élevée? Quelle sera alors l'élimination (en %) des particules ayant la vitesse de chute la plus faible? Quelle sera alors l'élimination globale des particules? (6 %)
- Quel serait l'impact d'une diminution de la température de l'eau usée industrielle sur l'élimination des particules? Expliquez. (3 %)

QUESTION 8 (5 %)

Quels sont les enjeux (de conception ou d'exploitation) liés à la présence de boues anaérobies dans les lagunes facultatives d'épuration des eaux usées?