

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2018

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

16-CH-A5 Conception et rentabilité d'usine chimique

PROBLÈME 1 - (35 points)

NOUVELLE ALUMINERIE

Vous lisez dans le journal l'annonce de la construction d'une nouvelle aluminerie. D'après l'article du journal, le coût de l'investissement en capital total du projet serait de 2.0 milliards de dollars. La capacité de l'usine serait de 400 000 tonnes métriques par année et le prix de vente du métal de 2 500\$/tonne.

On assumera que le fond de roulement représente 15% de l'investissement en capital total du projet.

a) Quel seraient les coûts directs de production annuels de ce projet ?

On supposera que la consommation en électricité est de 15 kWh/kg de métal, le prix de vente de l'électricité de 3.4 cent/kWh, le coût de la main d'œuvre et des ingrédients de 100 et 700 \$/tonne, respectivement. Pour les autres composantes des coûts directs, utilisez les facteurs typiques (règles de pouce) usuels pour des projets industriels.

b) D'après les règles de pouce usuelles pour des projets de construction d'usine de produits chimiques, quels pourraient être les coûts totaux annuels de production ? (on supposera que les frais d'administration, les frais de ventes, les frais de financement et les frais de R&D représentent 200 000 000\$/année)

c) Quel serait alors le taux de retour sur l'investissement (Return On Investment) de ce projet ?

PROBLÈME 2 - (15 points)

DIMENSIONNEMENT, COÛTS D'INSTRUMENTATION ET D'OPÉRATION D'UN RÉACTEUR

Soit un réacteur chauffé, dans lequel la matière première est ajoutée en continue avec un catalyseur. Le mélange séjourne pendant un temps donné dans le réacteur avant d'être évacué continuellement vers les étapes subséquentes.

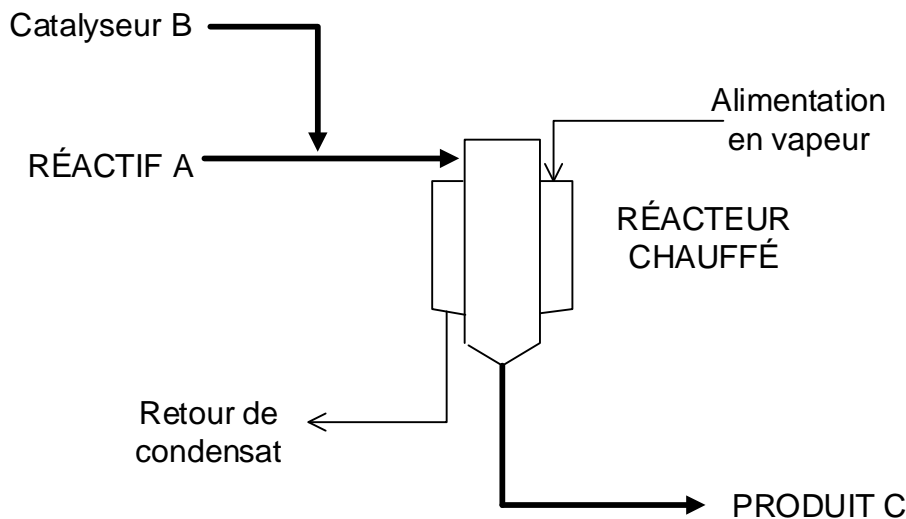


Figure 1 – Schéma d'un réacteur chauffé avec addition de catalyseur

- Sachant que le taux de production du réacteur est de $100 \text{ m}^3/\text{h}$, et que le temps de séjour du mélange pour une conversion complète est de 10 heures, quelle serait la capacité du réacteur, en termes de volume ?
- Sachant que la capacité calorifique du mélange est de $1 \text{ BTU}/\text{lb}/^\circ\text{F}$ de mélange, et que la vapeur coûte $3\$/\text{million de BTU}$, quel serait le coût horaire de vapeur pour opérer le réacteur ?

NB : On prendra $1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ pour la densité du mélange, des températures de 20 et 80°C à l'entrée et à la sortie du réacteur, respectivement et que le réacteur est adiabatique.

- En supposant que le coût de capital installé du réacteur serait de $1\,000\,000 \$$, et en utilisant les règles du pouces usuelles, quel pourrait être le coût de l'instrumentation et des contrôles du réacteur.

PROBLÈME 3 - (20 points)

RÉCUPÉRATION D'UN ÉPURATEUR À GARNISSAGE EN VRAC

Une usine évalue la possibilité de récupérer un épurateur à garnissage en vrac afin de respecter une norme sur les émissions de contaminants atmosphériques. L'épurateur permettrait de traiter des vapeurs d'acide sulfurique diluées contenues dans l'air émise d'un procédé. Le volume d'air à traiter serait de 10 000 m³/h d'air contaminé avec 100 mg/m³ d'acide, et la norme à respecter de 1 mg/m³ à la sortie de l'épurateur.

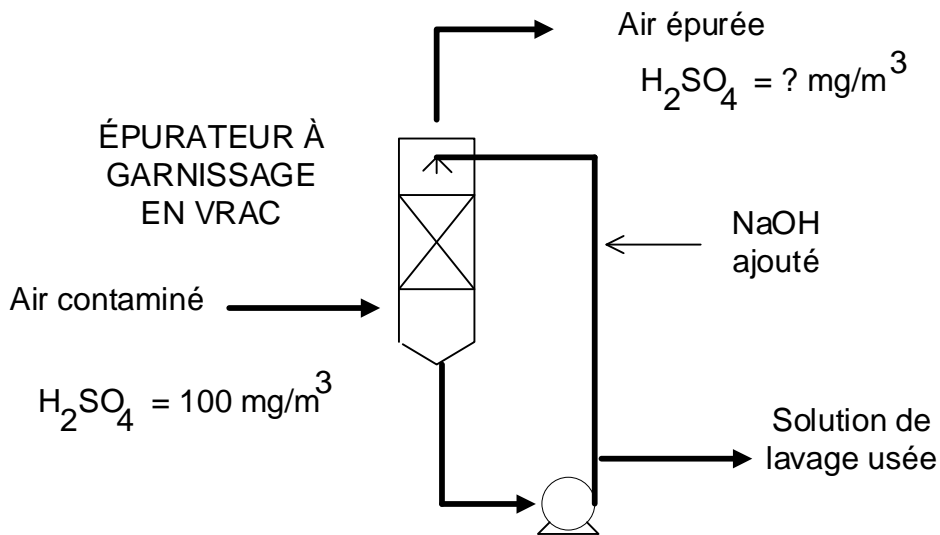


Figure 2 – Schéma d'un épurateur de traitement d'acide

a) Sachant que l'épurateur est muni de 10 pieds de garnissage en vrac dont la hauteur d'une unité de transfert (HTU) serait de 1 pied aux conditions d'opération normales de l'épurateur, opéré avec une solution d'eau ajoutée de NaOH, quelle serait la concentration d'acide dans l'air à la sortie de l'épurateur ?

On prendra que pour le système air-H₂SO₄ – NaOH-eau, le nombre d'unité de transfert est : $NTU = \ln(Y_i / Y_o)$, où Y_i et Y_o représentent la concentration de l'acide dans l'air à l'entrée et à la sortie de l'épurateur, respectivement.

b) Vous souhaitez évaluer le coût pour un épurateur neuf, mais vous avez uniquement une soumission du prix pour un épurateur comportant les mêmes spécifications de $100\,000\text{ m}^3/\text{h}$, au coût de $150\,000\$$ et vous souhaitez avoir une estimation du coût de l'équipement pour votre projet. En vous basant sur les règles du pouce (« rules of thumb ») reliant les coûts d'achat en fonction des dimensions des équipements de procédé, estimer le coût d'achat de l'épurateur requis de $10\,000\text{ m}^3/\text{h}$.

c) Quelles seraient les coûts annuels de NaOH pour neutraliser l'acide, sachant que le coût unitaire du NaOH serait de $1\$/\text{kg}$ et l'opération de l'épurateur de $8\,600$ heures/année. Les poids moléculaires de l'acide et de la base sont de 98 et 40 g/mole , respectivement.

PROBLÈME 4 - (20 points)

DIMENTIONNEMENT ET COÛTS D'OPÉRATION D'UNE POMPE CENTRIFUGE

On vous demande de dimensionner une pompe afin de transférer $1\,000$ USGPM d'eau pour alimenter le circuit de refroidissement d'un réacteur situé à $5\,000\text{ ft}$ de l'emplacement prévu de la pompe. Le circuit de refroidissement du réacteur est pressurisé à 50 psig , et est localisé à 150 ft d'élévation par rapport au niveau de la succion de la pompe (voir figure 3). La pompe prendra sa succion d'un réservoir dont le niveau moyen est de 50 ft par rapport au sol.

a) En utilisant les règles de pouce usuelles de vitesse d'écoulement pour des conduites d'eau, quelle serait le diamètre optimal de la nouvelle conduite, en pouces ?

b) En considérant la gravité, la pression et les pertes par friction, quelle serait la puissance requise du moteur de la pompe, en kW ?

NB : À ce stade d'estimation, on supposera 85% et 90% pour l'efficacité mécanique du ventilateur et électrique du moteur, respectivement. On supposera de plus que les pertes par friction sont de 1.9 ft d'eau par 100 ft de conduite.

c) En vous basant sur vos calculs précédents, quel serait le coût annuel de puissance à raison de 8 400 h/an et à 0.05\$/kWh ?

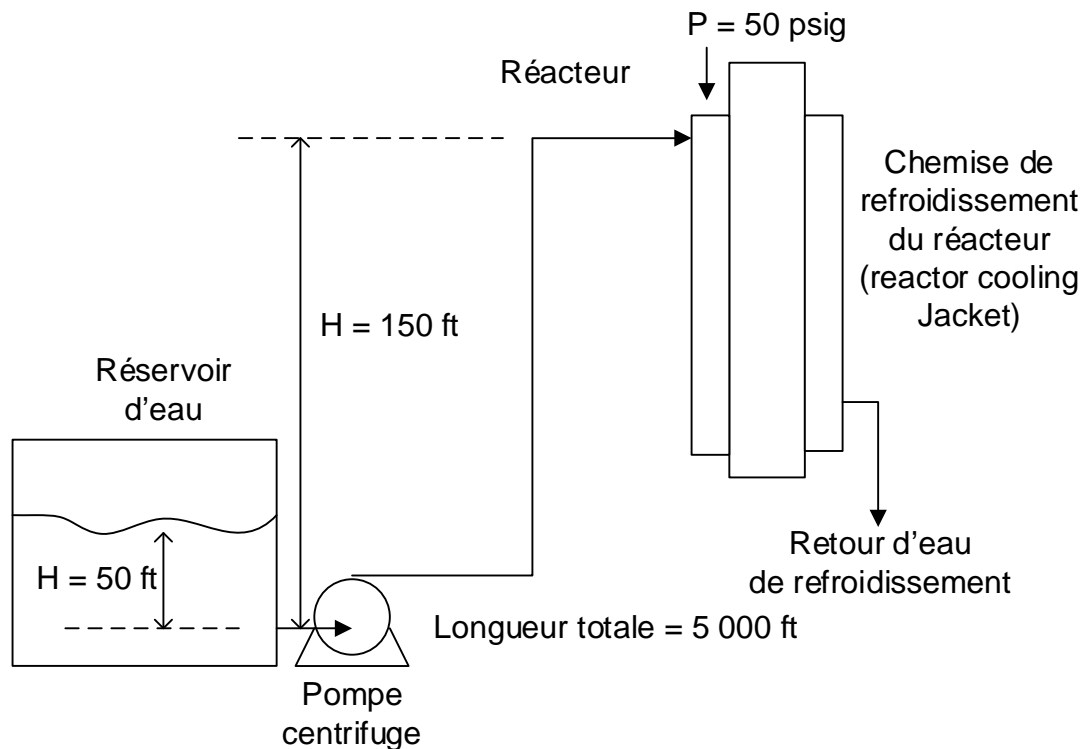


Figure 3 – Schéma du circuit de refroidissement d'un réacteur

Note : 7.48 USG = 1 pied cube, 101.3 kPa = 14.696 psig, $g=9.81 \text{ m/s}^2$
densité de l'eau = 1000 kg/m^3

PROBLÈME 5 - (10 points)

FRAIS DE FINANCEMENT D'UN PROJET INDUSTRIEL

Vous lisez dans le journal l'annonce de la construction d'une nouvelle usine de carbonate de lithium. D'après l'article du journal, le coût de l'investissement en capital total du projet serait de 0.8 milliards de dollars. On mentionne que le projet est financé par un prêt de 400 M\$ sur 15 ans au taux d'intérêt de 6%. Quels seraient alors les frais d'intérêt annuels moyens sur ce prêt, en assumant qu'il est remboursé par des annuités égales sur 15 ans ?