

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE MAI 2019

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)

NOUVEAU PROCÉDÉ DE MAGNÉSIUM

Vous lisez dans le journal l'annonce de la construction d'une usine de magnésium. D'après l'article du journal, le coût de l'investissement en capital total du projet serait de 750 millions de dollars. La capacité de l'usine serait de 60 000 tonnes métriques par année et les revenus de 300 millions de dollars/année de métal. L'article fait également mention que la matière première serait un stock de résidu d'exploitation abandonné de mines d'amiantes, à coûts nuls pour le projet, et contenant en moyenne 24% de magnésium. On assumera que le fonds de roulement représente 15% de l'investissement en capital total du projet.

- a) L'article mentionne que le projet est financé par un prêt de 300 M\$ sur 15 ans au taux d'intérêt de 4%. 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 ?
- 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 la consommation en électricité est de 18 MWh/tonne de Mg, à raison de 8760 h/année à 0.024\$/kWh, le coût des ingrédients et autres services de 600\$/tonne de Mg et les coûts de la main d'œuvre de 500 \$/tonne de Mg, respectivement. Pour les autres composantes des coûts annuels, utilisez les facteurs typiques (règles de pouce) usuels pour des projets industriels.

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

PROBLÈME 2 - (15 points)

DIMENSIONNEMENT, COÛTS D'OPÉRATION ET D'ACHAT D'UN ÉVAPORATEUR

Soit un évaporateur à circulation forcée, dans lequel 6 000 lbs/h de solution mère à 1% (en poids) de solides dissous est concentrée en continue. L'évaporateur consiste en un échangeur de type tubes et calandre, dans lequel la solution est introduite du côté tube, et la vapeur vive est injectée côté calandre. La solution concentrée est transférée dans un réservoir de détente, d'où la vapeur est dirigée vers un condenseur. La solution concentrée à 6% (en poids) de solides dissous est extraite de la boucle de retour du séparateur, et la solution mère est introduite en amont de la pompe de circulation. Le procédé est illustré dans le schéma suivant.

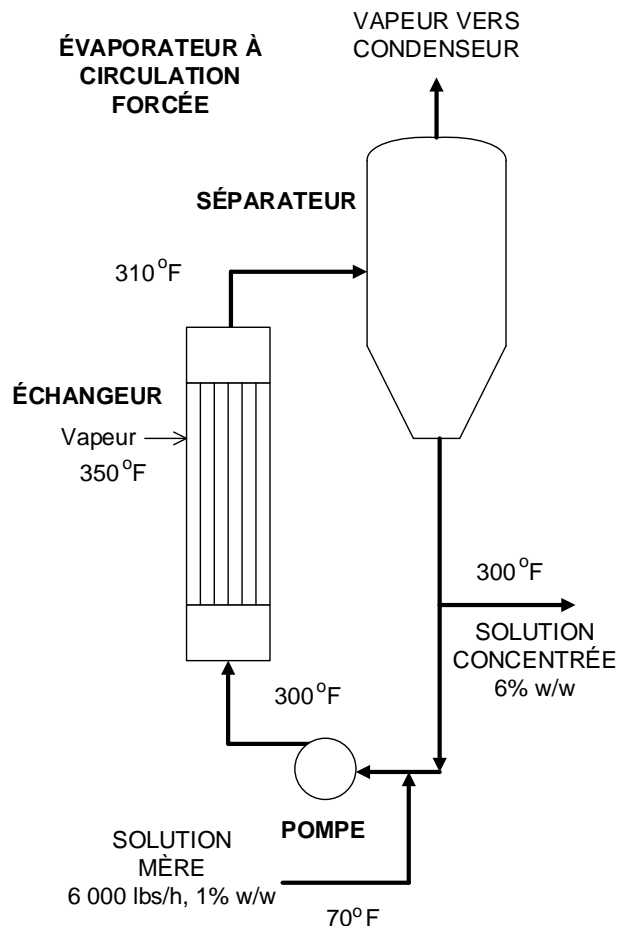


Figure 1 – Schéma d'un évaporateur à circulation forcée opéré à la vapeur

a) Sachant que la température de la solution mère est de 70 °F, et que la boucle de circulation passe de 300 °F à 310 °F dans l'échangeur, quel serait le *coût annuel de vapeur* nécessaire de l'évaporateur, au prix de 5\$/million de BTU de vapeur et à raison de 8 760 heures d'opération par année ?

NB : On prendra 1 BTU/lb/°F et 1000 BTU/ lbs pour la capacité calorifique et la chaleur latente de la solution mère, respectivement, et 1050 BTU/lb pour la chaleur de la vapeur vive à 350 °F.

b) Sachant que le coefficient global de transfert de chaleur de l'échangeur serait de 175 BTU/h/°F/ft² pour cet évaporateur, quelle serait la *surface requise* de l'échangeur ?

c) En supposant que le coût d'achat d'un évaporateur ayant les mêmes spécifications est de 200 000 \$, mais une surface de référence de seulement 150 ft² de surface d'échange, et en utilisant les règles de pouces usuelles pour les équipements de procédé, quel pourrait être le *coût de cet évaporateur* ?

PROBLÈME 3 - (20 points)

OPTIONS D'INCINÉRATION DES COMPOSÉS ORGANIQUES VOLATILS (COV)

Une nouvelle usine d'acide organique doit contrôler les émissions atmosphériques de COV du réacteur de l'usine afin d'être conforme aux normes environnementales, en incinérant ces émissions. Sachant que la valeur énergétique des contaminants peut être considérée comme négligeable, vous devez évaluer l'alternative optimale entre un incinérateur direct comparé à un incinérateur catalytique dont la chambre de combustion est de 800 ft³. L'incinérateur direct consommera environ 30 millions de BTU/h en gaz naturel et l'incinérateur catalytique, environ 3 millions de BTU/h. Comme l'usine est neuve, on prendra comme horizon économique de projet 15 ans, et 8 000 h d'opération par année.

a) À l'aide de l'abaque de la figure 2 et en vous basant sur l'analyse factorielle des coûts de l'investissement en capital fixe, estimer le coût installé de chacun des incinérateurs. Le procédé est fluide.

b) En supposant que les coûts d'opération se résument aux coûts annuels de service des incinérateurs (prendre 1 000 BTU/ ft³ pour la chaleur de combustion du gaz naturel et au prix de 0.30\$/m³), *quel serait le choix optimal* pour l'usine ?

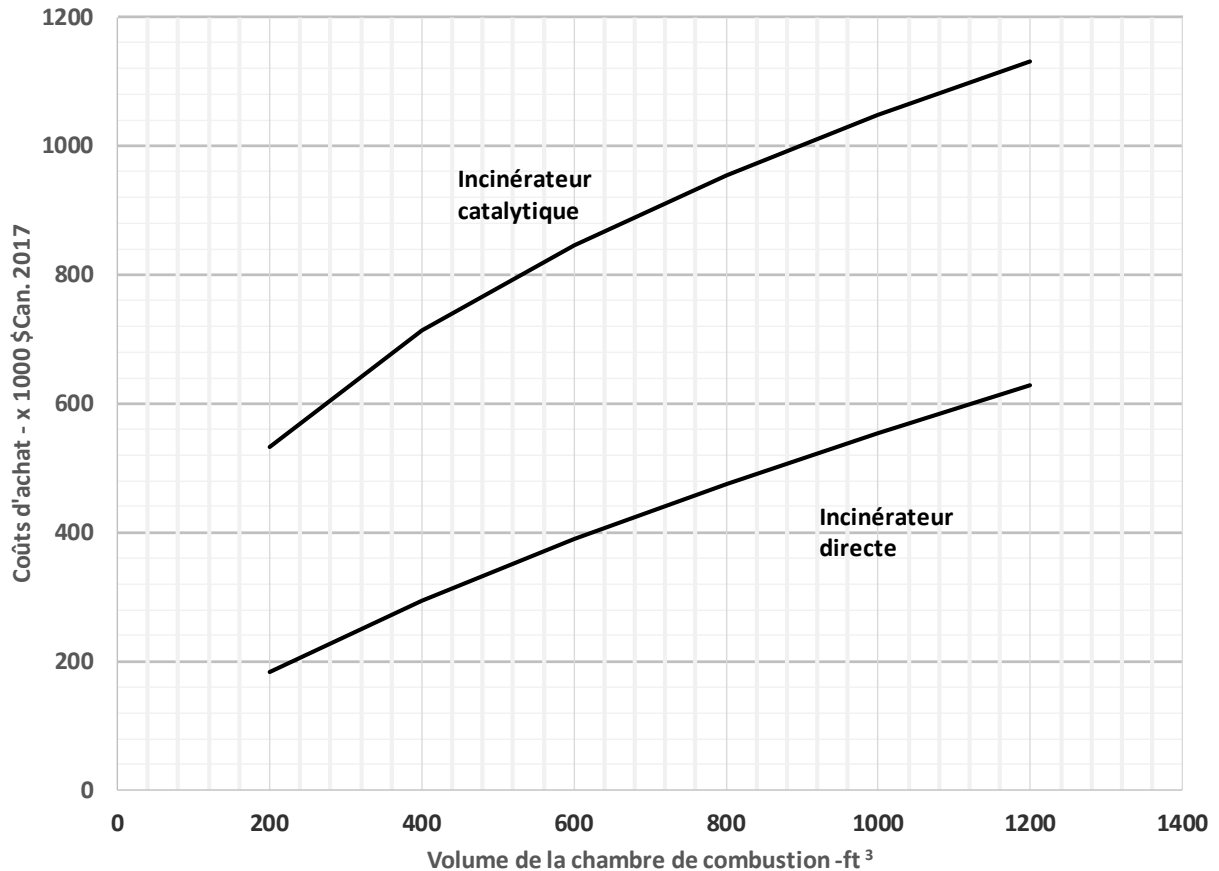


Figure 2 – Coût d’achat d’un incinérateur catalytique et d’un incinérateur direct en fonction du volume de la chambre de combustion.

PROBLÈME 4 - (20 points)

RÉCUPÉRATION DE CHALEUR D’UNE USINE DE COGÉNÉRATION

Une entreprise projette de récupérer la chaleur de la tour de refroidissement d’une usine de cogénération. Le concept consiste à ajouter une pompe sur le réservoir de recirculation de la tour de refroidissement afin de diriger l’eau tiède (à 40 °C) vers l’échangeur de chaleur d’une serre de légumes afin de permettre à des producteurs de chauffer leurs installations. Une étude d’ingénierie a démontré que si la température de retour d’eau des serres était de 25 °C, on pourrait récupérer 100 Millions de BTU/h, avec une pompe de circulation de 10 000 USGPM.

On assumera :

- i) que la nouvelle pompe est installée à côté du réservoir d’eau de recirculation de la tour de refroidissement (atmosphérique),

- ii) que la distance entre le réservoir et la serre est de 1 000 ft,
- iii) que la perte de charge à travers l'échangeur est de 15 psig
- iv) que l'entrée d'eau se situe à 5 ft d'élévation par rapport au niveau du réservoir d'eau de la tour de refroidissement (gravité négligeable).

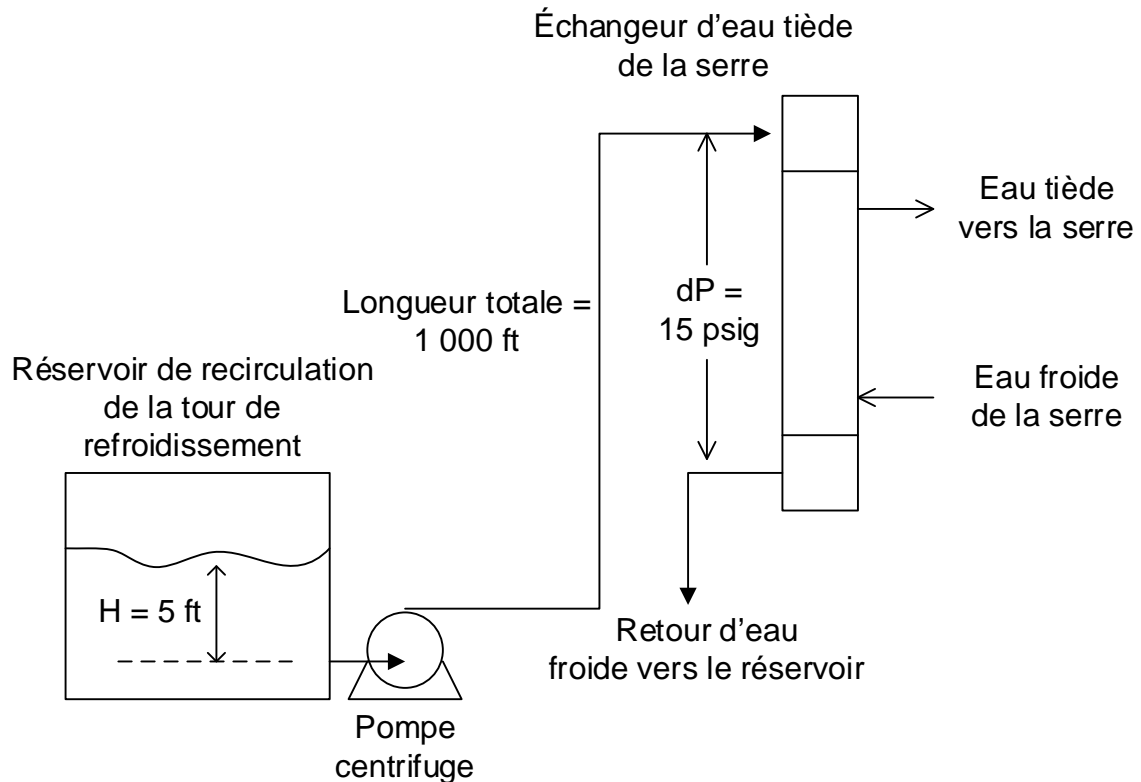


Figure 3 – Schéma d'écoulement : Récupération de chaleur d'une usine de cogénération

a) Quelle serait le diamètre optimal d'une conduite en acier inoxydable, en vous basant sur les règles de pouce usuelles à la sortie d'une pompe centrifuge ?

b) Quel est le coût annuel de puissance requis par la pompe (à 0.05\$/kWh) ?
 À ce stade, on supposera que les pertes par friction de la conduite et des accessoires est de 1 ft d'eau/100 ft de conduite. On supposera que l'efficacité mécanique de la pompe est de 85% et l'efficacité du moteur est de 90%.

c) Si l'entreprise exigeait d'être payée de 5\$/Million de BTU pour l'énergie récupérée par les propriétaires de la serre, quel serait le taux de retour brut sur l'investissement de ce projet si on suppose que le coût de capital total du projet est de 1.5 M\$ et que les coûts d'opération sont limités au coût de puissance de la pompe ?

NB : 101,3 kPag = 14,7 psig, $g = 9.81 \text{ m/s}^2$, la densité de l'eau = $1\,000 \text{ kg/m}^3$

PROBLÈME 5 - (10 points)

COÛTS DES ÉQUIPEMENTS ET DE L'INGÉNIERIE D'UN PROJET INDUSTRIEL

Vous lisez dans le journal l'annonce de la construction d'une nouvelle usine de gaz naturel liquéfié. D'après l'article du journal, le coût de l'investissement en capital total du projet serait de 7.5 milliards de dollars. En vous basant les facteurs typiques (règles de pouce) pour des projets industriels (le procédé est fluide):

- a) Quels pourraient être les coûts d'achat d'équipements de ce projet ?
- b) Quels pourraient être les coûts de l'ingénierie détaillée du projet ?