

ORDRE DES INGÉNIEURS DU QUÉBEC

SESSION DE NOVEMBRE 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 USINE DE GAZ NATUREL LIQUÉFIÉ**

Vous lisez dans le journal l'annonce de la construction d'une nouvelle usine de gaz naturel de liquéfié (GNL). D'après l'article du journal, le coût de l'investissement en capital total du projet serait de 0.8 milliards de dollars. La capacité de l'usine serait de 500 000 tonnes métriques par année et les revenus de la conversion du GNL de 200\$/tonne. Pour l'analyse économique du projet, on considère uniquement l'opération de liquéfaction, de sorte qu'on ne considère pas le coût du gaz naturel dans les coûts d'opération, ni dans les revenus. On assumera que le fonds de roulement représente 15% de l'investissement en capital total du projet.

a) Quels seraient les frais de financement annuels (*frais d'intérêt annuels moyens*) de ce projet ?

On mentionne également que le projet est financé à 50% sur 15 ans au taux d'intérêt de 6% et que l'emprunt sera 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 50 MW, à raison de 8760 h/année à 0.034\$/kWh, le coût de la main d'œuvre et des ingrédients de 8 et 5 \$/tonne, respectivement. On supposera aussi que les frais d'administration, les frais de ventes et les frais de R&D représentent 5 000 000\$/année. Pour les autres composantes des coûts directs, 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 RÉACTEUR

Soit un réacteur refroidi, dans lequel la matière première est ajoutée en continue. Le réacteur consiste en un échangeur de type tubes et calandre, dans lequel les réactifs sont introduits du côté tube, lequel est remplis avec un catalyseur. Le produit C se forme dans le réacteur avant d'être évacué continuellement vers les étapes subséquentes, et la réaction est exothermique. De l'eau froide est circulée du côté calandre, à contre-courant du procédé (côté tubes), tel qu'illustré dans le schéma suivant.

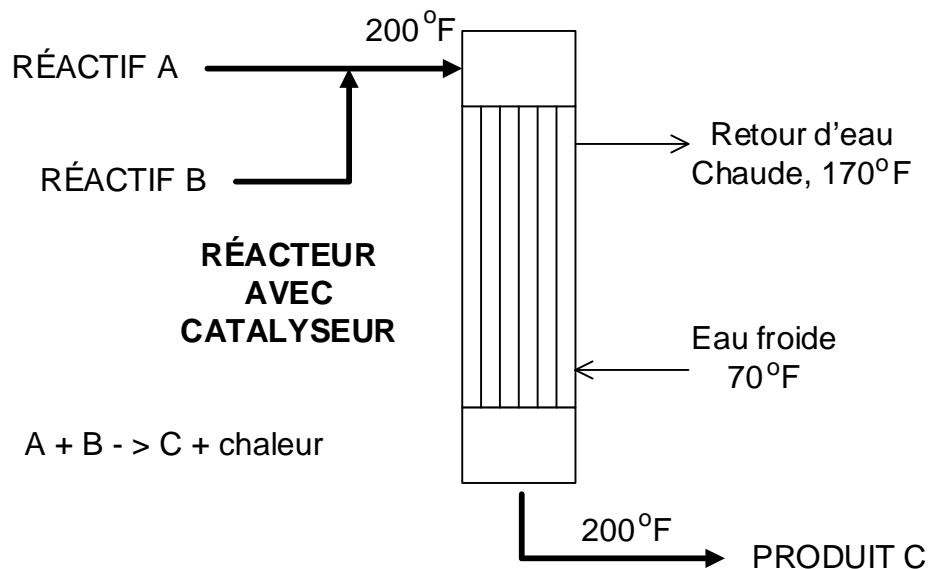


Figure 1 – Schéma d'un réacteur refroidi avec de l'eau

a) Sachant que le taux production du réacteur est de 10 000 lbs/h du produit C, et la chaleur de réaction est de 15 000 BTU/lb de C, quelle serait le coût annuel de refroidissement du réacteur, au prix de 0.05\$/mètre cube d'eau de refroidissement et à raison de 8 760 heures d'opération par année ?

NB : On prendra 1000 kg/m<sup>3</sup> pour la densité de l'eau, 1 BTU/lb/°F pour la capacité calorifique de l'eau, des températures de 200 °F à l'entrée et la sortie du réacteur du côté tube, et que le réacteur est adiabatique. La température de l'eau froide côté calandre est de 70 °F et celle du retour d'eau chaude de 170 °F.

b) Sachant que le coefficient global de transfert de chaleur de l'échangeur serait de 300 BTU/h/°F/ft<sup>2</sup> pour cette application, quelle serait la surface d'échange du réacteur ?

c) En supposant que le coût d'achat d'un échangeur ayant les mêmes spécifications est de 100 000 \$, mais une surface de référence de seulement 1 000 ft<sup>2</sup> de surface d'échange, et en utilisant les règles de pouces usuelles pour les équipements de procédé, quel pourrait être le coût du réacteur ?

### PROBLÈME 3 - (20 points)

#### RÉCUPÉRATION DE TÉRÉBENTHINE DU PROCÉDÉ KRAFT

Une usine évalue la possibilité de récupérer la térébenthine formée durant la cuisson du bois par le procédé Kraft. Les vapeurs sont séparées du procédé de cuisson, dirigées vers un séparateur et vers un condenseur primaire, suivit d'un condenseur secondaire. Les condenseurs sont de types tubes et calandre, avec les vapeurs côté tube. Le débit de vapeur à traiter serait de 10 000 lbs/h d'eau (98%)/térébenthine (2%), et le partage entre l'eau contaminée et la térébenthine selon le schéma suivant.

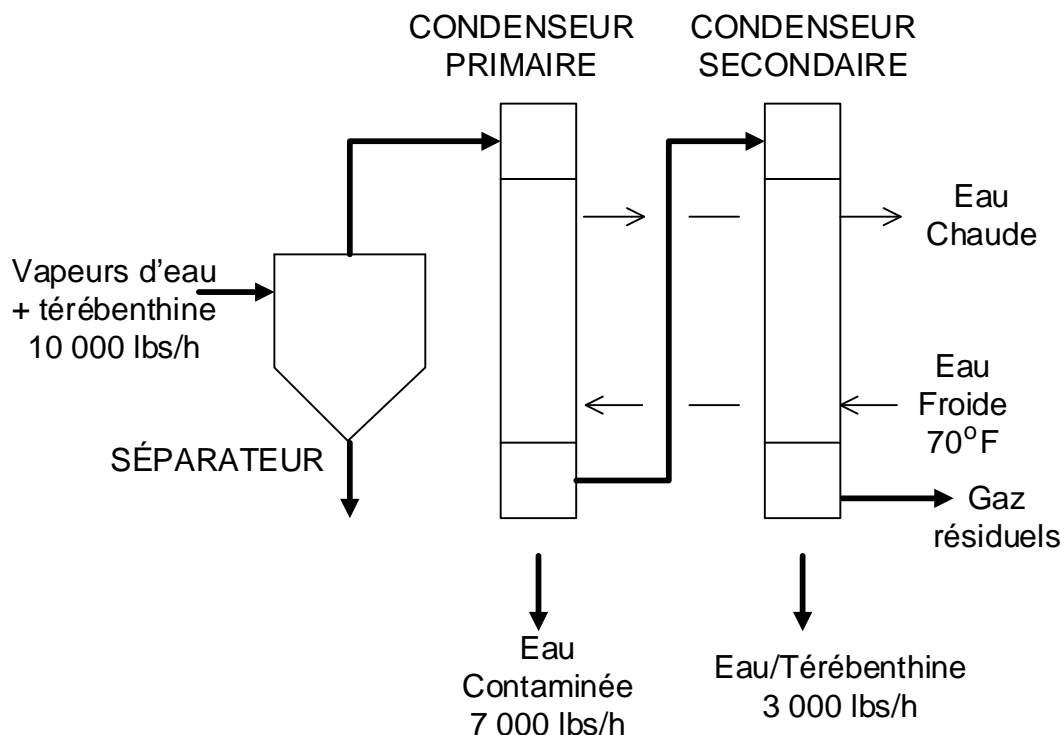


Figure 2 – Schéma d'un système de récupération de térébenthine

a) Sachant que le coût d'achat des équipements de procédé serait de 250 000\$, quel pourrait être le coût de l'investissement en capital fixe, en utilisant les facteurs typiques (règles de pouce) usuels pour des projets industriels ?

On considérera que tous les services nécessaires sont disponibles et existant, qu'aucune bâtisse n'est nécessaire et qu'il s'agit d'un *procédé fluide*.

b) En présumant que la chaleur latente de condensation du mélange eau/térébenthine est de 1 000 BTU/lb, que de l'eau à 70 °F est utilisée pour opérer les deux condenseurs, et que l'énergie des gaz résiduels est négligeable, *calculer l'économie annuelle d'énergie récupérée* à 5\$/million de BTU sur la base de 8 400 heures par année.

c) En présumant que la térébenthine (2%, en poids de l'alimentation) récupérée vaut 1400\$/tonne, et que les coûts d'opération du système sont négligeables, quel serait le taux de retour brut du projet ?

#### **PROBLÈME 4 - (20 points)**

##### **COÛTS D'OPÉRATION D'UN SÉCHOIR DE LEVURES**

On vous demande de dimensionner les équipements auxiliaires d'un séchoir de levure. Le séchoir consiste en une chambre d'atomisation, un brûleur au gaz naturel et une pompe à piston 20 m<sup>3</sup>/h pour l'atomisation de la solution de levure à 5% (en poids).

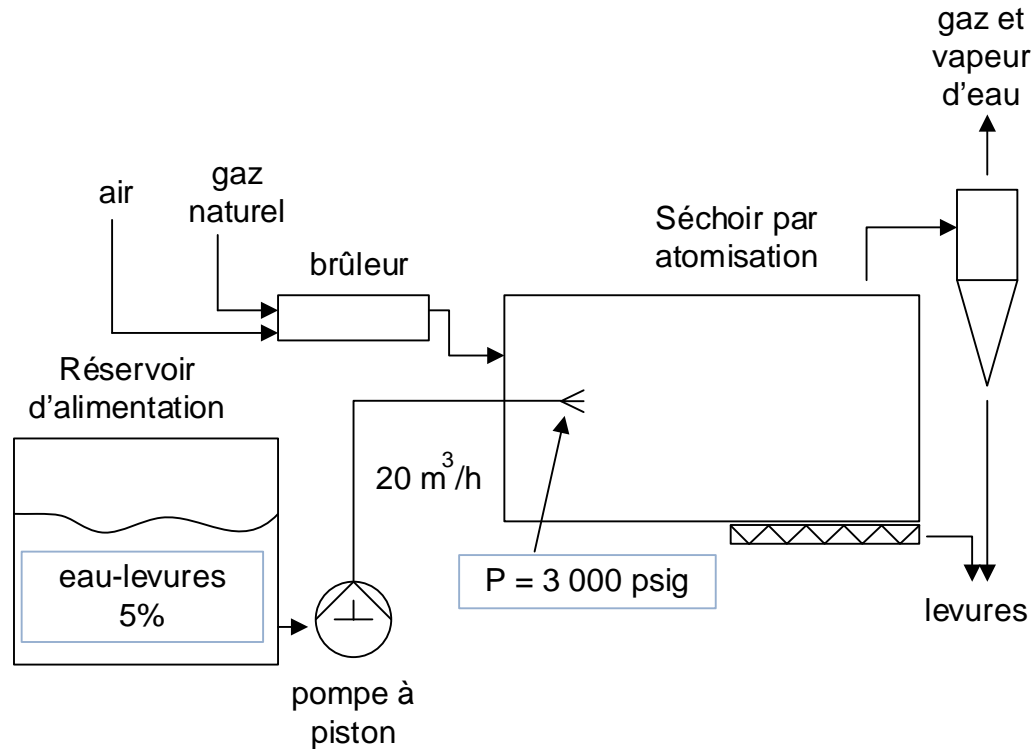
a) En considérant que la perte de charge du circuit d'alimentation du séchoir est principalement due aux buses d'atomisation, de 3 000 psig, quelle serait la puissance requise du moteur de la pompe, en kW ?

NB : À ce stade d'estimation, on supposera 65% et 90% pour l'efficacité mécanique de la pompe et électrique du moteur, respectivement. On supposera de plus que la perte de charge due à la gravité et à la friction sont négligeables.

b) En supposant que l'énergie requise du séchoir est principalement celle nécessaire à l'évaporation de l'eau de la solution de levure, *quelle serait la quantité horaire de gaz naturel* nécessaire à l'opération du séchoir, sachant que son efficacité thermique globale est de 67%.

On prendra 1 000 BTU/lb comme chaleur latente d'évaporation de la solution et 1 000 BTU/ft<sup>3</sup> comme chaleur nette de combustion du gaz naturel.

c) En vous basant sur vos calculs précédents, quel serait le *coût annuel* d'opération total de puissance de la pompe et du brûleur à raison de 8 400 h/an, à 0.05\$/kWh d'électricité et de 0.005\$/ft<sup>3</sup> de gaz naturel ?



**Figure 3 – Schéma d'un séchoir par atomisation**

Note : 101.3 kPa = 14.696 psi,  $g=9.81 \text{ m/s}^2$  densité de l'eau=1000 kg/m<sup>3</sup>

### **PROBLÈME 5 - (10 points)**

#### **COÛTS D'ÉQUIPEMENT ET DE MAINTENANCE D'UN PROJET INDUSTRIEL**

Vous lisez dans le journal l'annonce de la construction d'une nouvelle usine d'acide téréphtalique. D'après l'article du journal, le coût de l'investissement en capital total du projet serait de 750 millions de dollars. En vous basant les facteurs typiques (règles de pouce) usuels pour des projets industriels (le procédé est solide-fluide) :

- Quels pourraient être les coûts d'achat d'équipements ?
- Quels pourraient être les coûts de maintenance de l'usine ?