

# BACCALAURÉAT TECHNOLOGIQUE - SESSION 2002

SÉRIE SCIENCES ET TECHNOLOGIES DE LABORATOIRE

Spécialité : chimie de laboratoire et de procédés industriels

## Épreuve de GÉNIE CHIMIQUE

### Partie écrite

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

Le sujet comporte 5 pages, dont une annexe (page 5/5) à rendre avec la copie.

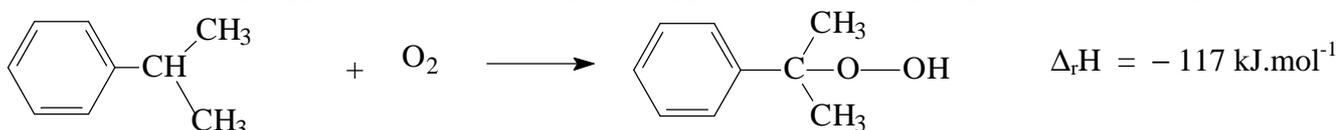
Calculatrice autorisée.

## TECHNOLOGIE ET SCHÉMA : DU CUMÈNE AU PHÉNOL

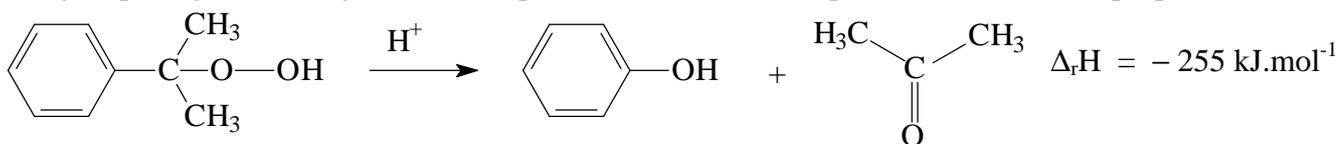
Le phénol constitue un intermédiaire de synthèse important de l'industrie chimique dans la fabrication des polymères. Il est principalement fabriqué à partir du cumène (isopropylbenzène).

### A- PRINCIPE

Le cumène ou isopropylbenzène est oxydé par l'oxygène de l'air en hydroperoxyde de cumyle :

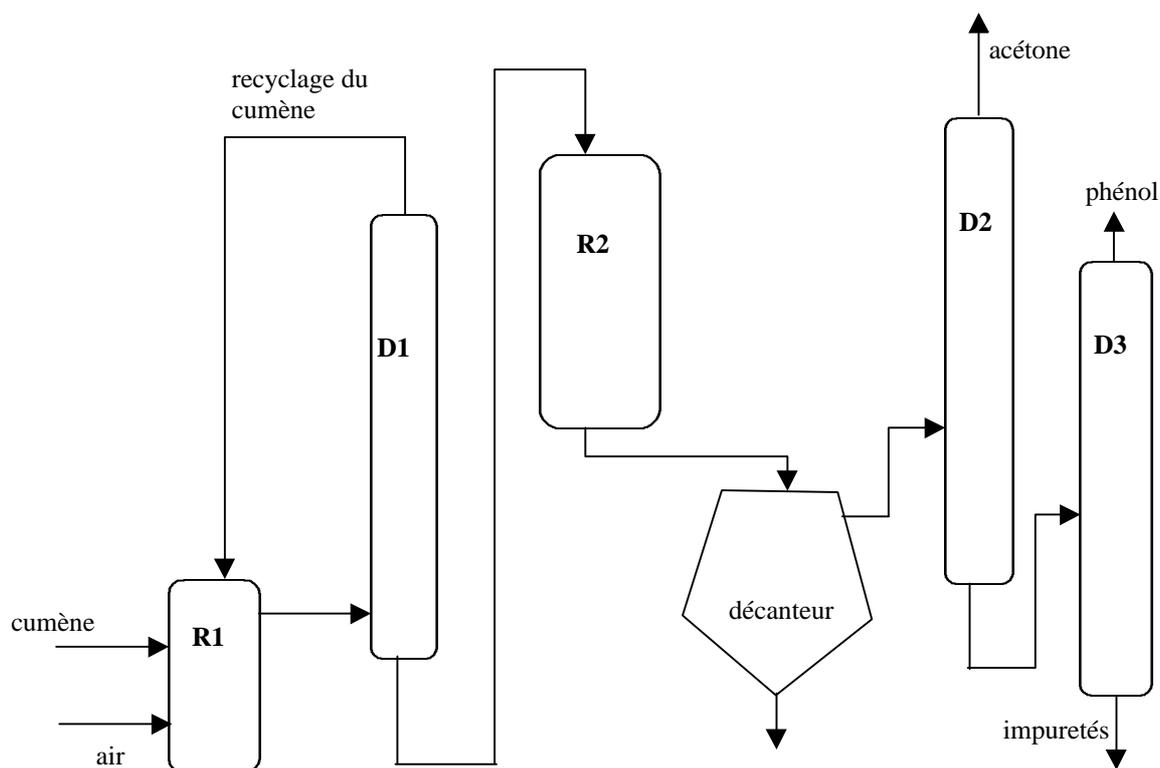


L'hydroperoxyde de cumyle est décomposé en milieu acide en phénol et en acétone (propanone) :



Le phénol et l'acétone sont séparés par distillation.

### B- DESCRIPTION DU PROCÉDÉ



### 1. Oxydation du cumène en hydroperoxyde de cumyle

- L'oxydation du cumène par l'air est exothermique. Elle se fait dans le réacteur **R1** cylindrique vertical. **R1** est muni d'une double-enveloppe permettant le chauffage à la vapeur lors du démarrage ou le refroidissement en cas de besoin.
- Le cumène liquide, préchauffé par de la vapeur dans un échangeur à faisceau tubulaire horizontal **E1**, est introduit en haut du réacteur par une pompe. Son débit est asservi à la température du réacteur qui doit rester voisine de 100 °C.
- L'air sous pression (6 bar), dont le débit est mesuré, est injecté en bas du réacteur **R1** à l'aide d'une rampe. Les effluents gazeux sortent en haut du réacteur en passant dans un échangeur à faisceau tubulaire horizontal **E2** alimenté en eau de refroidissement. Les condensats retournent dans le réacteur. Les incondensables sont rejetés à l'atmosphère après détente.
- La solution d'hydroperoxyde de cumyle est soutirée de **R1** par le bas, à niveau constant, et envoyée en continu à l'aide d'une pompe placée en charge dans la colonne à distiller à plateaux **D1** au niveau du premier tiers inférieur. Le chauffage de la colonne à distiller est assuré par un faisceau tubulaire vertical **E3** monté en thermosiphon. Le débit de vapeur est asservi à la pression différentielle mesurée entre la tête et le pied de la colonne.
- La solution enrichie (en bas de colonne) est envoyée par pompe dans le réacteur **R2** (à ne pas représenter) dont le débit est asservi au niveau du pied de colonne.
- Les vapeurs issues de la colonne sont condensées dans un échangeur à faisceau tubulaire horizontal **E4** alimenté en eau de refroidissement. Le débit du reflux est asservi à la température de tête de colonne. Le débit de l'eau de refroidissement est asservi à la température de sortie de l'eau de refroidissement. Le distillat (cumène) est recyclé (à ne pas représenter).

### 2. Décomposition de l'hydroperoxyde de cumyle

- L'hydroperoxyde (en bas de colonne) est décomposé dans un réacteur **R2** surmonté d'un condenseur Liebig.
- Le pH du milieu est maintenu à 4 par ajout d'une solution d'acide sulfurique dans l'acétone.
- La température du réacteur est maintenue constante à 60 °C.
- La phase aqueuse lourde est éliminée dans un décanteur à la sortie du réacteur.

### 3. Purification de l'acétone et du phénol par rectification

- La phase organique légère est envoyée dans la colonne à distiller à garnissage **D2** en milieu de colonne.
- L'acétone est récupérée en haut de colonne.
- Le phénol impur est récupéré niveau du pied de colonne et envoyé dans la colonne à distiller **D3** pour subir une purification.

## C- TRAVAIL DEMANDÉ

### I- Schéma

Sur le support joint (**annexe, page 5/5, à rendre avec la copie**), représenter la partie de l'installation correspondant à **l'oxydation du cumène (1.)** c'est-à-dire les appareils **R1, E1, E2, E3, E4** et **D1** en tenant compte des indications données en **B-** et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

## II- COURS : FABRICATION DE LA VAPEUR

1. Donner le schéma de principe de fonctionnement d'une chaudière ou générateur de vapeur en précisant tous les organes de mesure et de sécurité nécessaires à son fonctionnement.
2. Préciser la qualité de l'eau utilisée dans une chaudière.
3. Donner la définition d'une vapeur surchauffée et d'une vapeur saturante.

## III- EXERCICES

### 1 Transport du cumène

Le cumène stocké dans une cuve est amené dans le réacteur **R1** à l'aide d'une pompe centrifuge placée en charge.

La canalisation d'amenée est longue de 30 m et présente 3 coudes. La dénivellation entre la cuve (située en sous-sol) et le réacteur est de 15 m.

La perte de charge linéaire est de 5 cm par mètre de canalisation. Les coudes ont chacun une perte de charge équivalente à 50 cm de hauteur de fluide.

On considère que la pression absolue régnant dans le réacteur est de 4 bar. La cuve est à la pression atmosphérique.

Le rendement de la pompe est de 85 %.

- 1.1. Calculer la perte de charge totale J.
- 1.2. Vérifier que la hauteur manométrique totale de la pompe est égale à 52,9 m.
- 1.3. Calculer la puissance utile de la pompe.
- 1.4. Calculer la puissance absorbée par la pompe.

### DONNÉES

- Relation de Bernoulli généralisée entre deux points A et B :

$$\frac{P_A}{\rho g} + h_A + \frac{v_A^2}{2g} + H_{mt} = \frac{P_B}{\rho g} + h_B + \frac{v_B^2}{2g} + J$$

(les termes faisant intervenir la vitesse du fluide seront négligés devant les autres termes).

- Masse volumique du cumène :  $\rho_c = 860 \text{ kg.m}^{-3}$
- Débit du cumène :  $q_c = 3\,000 \text{ kg.h}^{-1}$
- Accélération de pesanteur :  $g \approx 10 \text{ m.s}^{-2}$
- Pression atmosphérique :  $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$

## 2. Étude du réacteur R2

Un système adéquat permet de récupérer 90 % de la chaleur dégagée par la réaction de décomposition de l'hydroperoxyde de cumyle au niveau du réacteur **R2**. Rappel : l'enthalpie de la réaction de décomposition de l'hydroperoxyde de cumyle est  $\Delta_r H = -255 \text{ kJ. mol}^{-1}$

La chaleur récupérée sert à fabriquer de la vapeur d'eau surchauffée à la température de 220 °C sous une pression absolue de 16 bar.

Dans le premier étage de l'installation, l'eau arrive à  $\theta_i = 20 \text{ °C}$  et est transformée en vapeur saturante sous 16 bar à la température  $\theta_1$ .

Dans le deuxième étage de l'appareil, la vapeur est surchauffée de  $\theta_1$  à  $\theta_f = 220 \text{ °C}$

**2.1.** Vérifier que le flux thermique ( $\Phi_R$ ) dégagé par la réaction est égal à  $6,0 \times 10^6 \text{ kJ.h}^{-1}$ .

**2.2.** Calculer le flux thermique ( $\Phi'_R$ ) récupéré.

**2.3.** Déterminer la valeur de la température  $\theta_1$ .

**2.4.** Calculer le débit massique ( $q_v$ ) de la vapeur surchauffée, fabriquée à partir de l'eau à 20 °C.

**2.5.** Calculer le débit volumique ( $q_G$ ) de gaz naturel nécessaire pour obtenir le même débit massique de vapeur.

### DONNÉES

- débit de phénol fabriqué dans le réacteur **R2** :  $q_p = 2200 \text{ kg.h}^{-1}$
- masse molaire du phénol :  $M_p = 94 \text{ g.mol}^{-1}$
- formule empirique de Duperray  
$$p = (\theta/100)^4$$
 avec p, pression absolue en bar et  $\theta$ , température en °C
- enthalpie massique de vaporisation de l'eau (en  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) :  $L_v = 2535 - 2,9 \times \theta$ , avec  $\theta$ , température en °C
- capacité thermique massique de l'eau liquide :  $c_l = 4,2 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- capacité thermique massique moyenne de la vapeur d'eau :  $c_v = 2,7 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- pouvoir calorifique du gaz naturel :  $38000 \text{ kJ.m}^{-3}$

## 3. Étude de la colonne D2

On considère le mélange d'alimentation comme étant un mélange binaire acétone – phénol.

Le débit d'alimentation de la colonne en phase organique est  $q_A = 1800 \text{ kg.h}^{-1}$ .

Le taux de reflux est 5.

Le débit du reflux est  $q_R = 800 \text{ kg. h}^{-1}$ .

**3.1.** Calculer le débit ( $q_D$ ) du distillat (soutirage).

**3.2.** Calculer le débit du résidu au niveau du bouilleur ( $q_B$ ).

**ANNEXE à rendre avec la copie**

**E4**

**E2**

**D1**

**E3**

**E1**

**R1**