

# 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

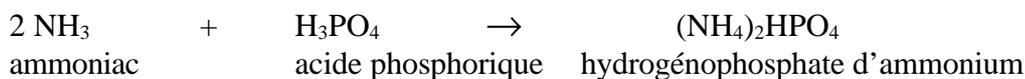
Coefficient : 3

*Le sujet comporte 4 pages dont une annexe (page 4/4) à rendre avec la copie.  
Calculatrice autorisée.*

## FABRICATION DE L'HYDROGÉNOPHOSPHATE D'AMMONIUM

### A-PRINCIPE

Cet engrais est obtenu en faisant réagir de l'ammoniac avec une solution aqueuse d'acide phosphorique :



On utilise la chaleur dégagée au cours de cette réaction exothermique pour évaporer une partie de l'eau du milieu réactionnel ; le départ de ce solvant et le refroidissement du mélange provoquent la cristallisation d'une partie de l'hydrogénophosphate d'ammonium qui est récupéré par essorage centrifuge.

### B-DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

L'acide phosphorique, préchauffé au cours de la traversée des tubes de l'échangeur à faisceau tubulaire horizontal **E**<sub>1</sub>, est injecté à débit constant en tête de la colonne à garnissage **D**.

La solution qui quitte le pied de **D** au moyen d'un siphon s'écoule par gravité dans la cuve **R** où se déroule la réaction.

De l'ammoniac gazeux arrivant sous pression est détendu avant de barboter dans le contenu de la cuve **R** ; le débit de ce réactif régule le pH du milieu réactionnel et le barbotage suffit pour assurer l'homogénéisation de ce milieu.

La chaleur dégagée par la réaction porte à ébullition le contenu de **R** : les vapeurs d'eau et d'ammoniac traversent la colonne **D** où l'acide phosphorique arrête l'ammoniac tandis que la vapeur d'eau est envoyée dans la calandre de **E**<sub>1</sub> où elle sera condensée sous pression atmosphérique.

Le niveau de liquide dans **R** est maintenu constant par soutirage du mélange réactionnel qui est aspiré dans la chambre d'évaporation **X** maintenue sous pression réduite, la prise de vide se faisant sur **E**<sub>2</sub>.

Dans **X**, simple récipient cylindro-conique, la brutale diminution de pression que subit le mélange réactionnel provoque la vaporisation d'une partie de l'eau et le refroidissement de la phase non vaporisée ; ces deux phénomènes entraînent la cristallisation partielle de l'hydrogénophosphate d'ammonium.

Les vapeurs émises dans **X** sont condensées dans la calandre de l'échangeur à faisceau tubulaire vertical **E**<sub>2</sub> alimenté en eau de refroidissement. Le débit de cette eau régule la température du condensat. Celui-ci s'écoule par gravité dans le réservoir **B** dont le niveau est maintenu constant par la pompe centrifuge **P**<sub>2</sub> qui évacue cette eau distillée vers un autre atelier.

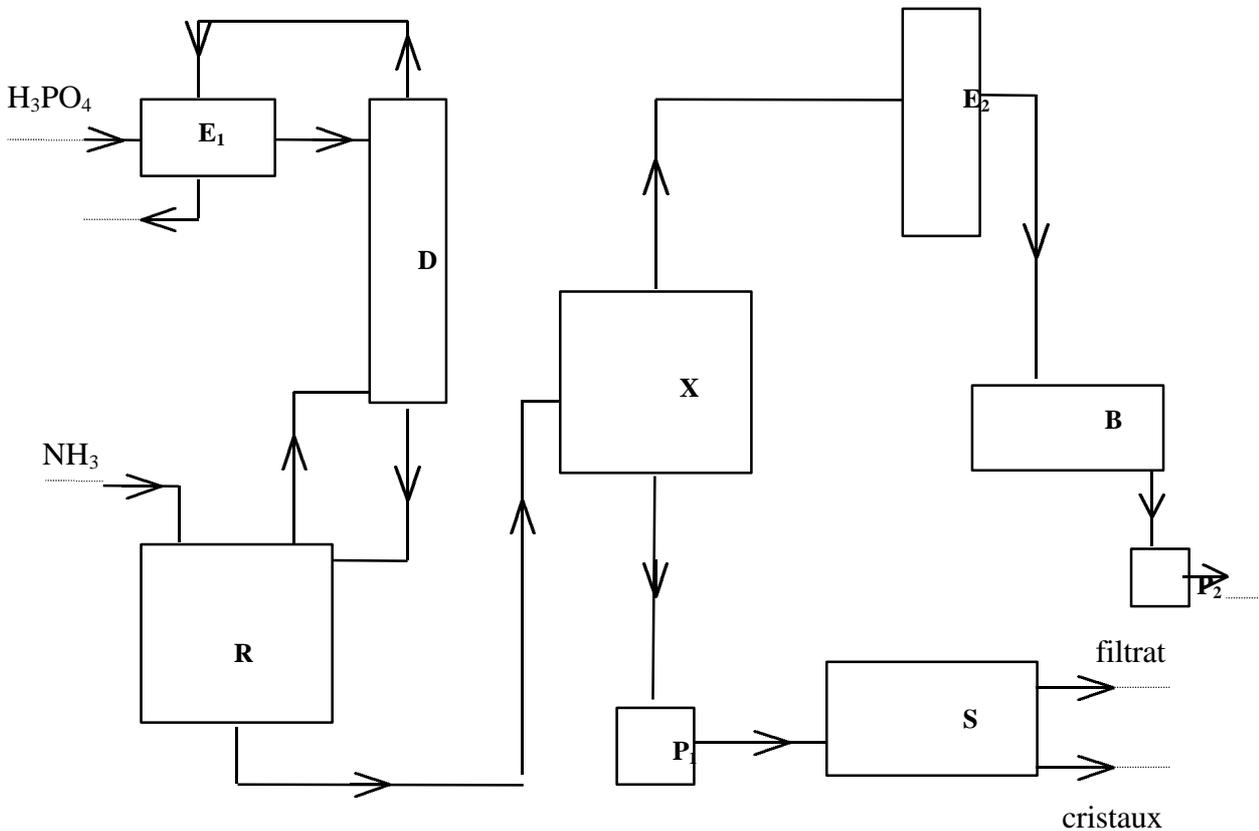
La bouillie composée d'une solution saturée d'hydrogénophosphate d'ammonium contenant les cristaux en suspension est évacuée par la pompe centrifuge **P**<sub>1</sub> de façon à maintenir constant le niveau de ce produit dans la chambre **X**.

Cette bouillie est traitée dans l'essoreuse centrifuge **S** (à ne pas représenter) qui sépare les cristaux du filtrat ; ce liquide subira ensuite une nouvelle évaporation et une nouvelle cristallisation pour récupérer l'hydrogénophosphate d'ammonium qu'il contient (stockage à ne pas représenter).

## C- TRAVAIL DEMANDÉ

### I - Schéma

Compléter le document donné en **annexe (page 4/4)**, à rendre avec la copie, en respectant les indications du plan de circulation des fluides ci dessous et en représentant les appareils principaux, leurs liaisons et les organes de contrôle et de réglage nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.



### II - Cours

Pour récupérer l'hydrogénophosphate d'ammonium en solution dans le filtrat, le liquide est concentré dans un évaporateur chauffé à la vapeur.

À l'aide d'un schéma, décrire et expliquer le fonctionnement d'un tel appareil (modèle au choix du candidat).

### III - Exercices

#### 1. Étude de l'alimentation du réacteur

On veut fabriquer  $2,5 \times 10^4 \text{ mol.h}^{-1}$  d'hydrogénophosphate d'ammonium ; on suppose que la conversion des réactifs est totale et qu'il n'y a pas de réaction parasite.

1.1. Vérifier que le débit massique de l'ammoniac pur gazeux doit être  $B = 850 \text{ kg.h}^{-1}$ .

1.2. Vérifier que le débit massique de la solution aqueuse d'acide phosphorique doit être  $A = 4900 \text{ kg.h}^{-1}$ .

#### Données :

- la masse molaire de l'ammoniac est égale à  $17 \text{ g.mol}^{-1}$
- la masse molaire de l'acide phosphorique est égale à  $98 \text{ g.mol}^{-1}$
- le titre massique en acide phosphorique de la solution aqueuse est  $w_A = 0,500$

## 2. Étude du fonctionnement du réacteur

La chaleur dégagée par la réaction provoque la vaporisation d'une partie de l'eau amenée par la solution d'acide phosphorique ; on estime que le débit massique de cette vapeur est  $V_1 = 436 \text{ kg.h}^{-1}$  à la sortie de la colonne **D**.

**2.1.** Vérifier que le débit massique de l'effluent qui quitte le réacteur **R** pour passer dans la chambre de vaporisation **X** est  $C_1 = 5314 \text{ kg.h}^{-1}$ .

**2.2.** Calculer le débit massique  $F$  de l'hydrogénophosphate d'ammonium fabriqué et en déduire que le titre massique en hydrogénophosphate d'ammonium de l'effluent qui passe de **R** à **X** est  $w_1 = 0,621$ .

### Donnée :

- la masse molaire de l'hydrogénophosphate d'ammonium est égale à  $132 \text{ g.mol}^{-1}$ .

## 3. Bilan matière sur la cristallisation et l'essorage.

À la suite de l'évaporation et de la cristallisation qui ont lieu dans la chambre **X** la bouillie qui sort de cet appareil pour aller vers l'essoreuse **S** a un titre massique en hydrogénophosphate d'ammonium  $w_2 = 0,689$ .

**3.1.** Calculer le débit massique  $C_2$  de ce mélange.

**3.2.** La solubilité dans l'eau de l'hydrogénophosphate d'ammonium est égale à  $84,5 \text{ g}$  pour  $100 \text{ g}$  d'eau à la température où se déroule l'essorage.

**3.2.1.** Schématiser simplement l'opération d'essorage.

**3.2.2.** Calculer le débit massique de l'eau extraite.

**3.2.3.** Calculer la masse d'hydrogénophosphate d'ammonium évacuée dans le filtrat, par heure.

**3.2.4.** En déduire le débit massique  $K$  du filtrat et le débit massique  $L$  des cristaux (supposés secs) sortant de l'essoreuse **S**.

## 4. Étude du fonctionnement de l'échangeur $E_2$

Cet appareil, fonctionnant à contre-courant, condense les vapeurs sortant de **X** à  $40 \text{ }^\circ\text{C}$  et refroidit jusqu'à  $30 \text{ }^\circ\text{C}$  le condensat formé. L'eau de refroidissement entre dans  $E_2$  à  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  et en ressort à  $28 \text{ }^\circ\text{C}$  ; son débit massique est  $E = 2,37 \times 10^4 \text{ kg.h}^{-1}$ .

**4.1.** La capacité thermique massique de l'eau liquide étant égale à  $4,18 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ , calculer le flux de chaleur  $\Phi$  échangé dans  $E_2$ .

**4.2.** Le faisceau tubulaire de  $E_2$  est constitué par  $214$  tubes de diamètre égal à  $20 \text{ mm}$ . Le coefficient global d'échange étant  $U = 2500 \text{ kJ.h}^{-1}.\text{m}^{-2}.\text{K}^{-1}$ , calculer la hauteur  $h$  de ce faisceau.

### Donnée :

L'écart moyen logarithmique de deux valeurs  $a$  et  $b$  est égale à  $\frac{a-b}{\ln \frac{a}{b}}$

**Annexe : document à compléter et à rendre avec la copie**

