



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

Campagne 2009

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

**BREVET TECHNICIEN SUPÉRIEUR
CHIMISTE**

Génie Chimique

**Durée : 3 heures
Coefficient : 3**

Matériel autorisé :

Calculatrice de poche à fonctionnement autonome, sans imprimante et sans dispositif de communication externe (circulaire n° 99-186 du 16/11/99).

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

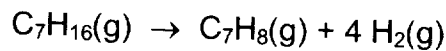
Le sujet comporte 7 pages, numérotées de 1 à 7.

Les annexes, page 7/7, sont à rendre avec la copie.

Code sujet : CHGEN – P/09

I. Principe

Le toluène ou méthylbenzène, C_7H_8 , peut être obtenu par aromatisation de l'heptane C_7H_{16} en effectuant, en continu, la réaction :



Cette réaction endothermique est réalisée en phase gazeuse au voisinage de $550\text{ }^\circ\text{C}$ en faisant circuler, sur un catalyseur solide (mélange de Al_2O_3 et de Cr_2O_3), des vapeurs d'heptane renfermant déjà un peu de toluène et largement diluées par du dihydrogène gazeux.

Dans ces conditions, des réactions parasites qui pourraient aboutir à la formation d'alcènes sont pratiquement évitées : on n'en tiendra pas compte dans cette étude.

Le condensat formé par refroidissement des effluents est traité par extraction liquide / liquide et par rectifications pour séparer le toluène fabriqué de l'heptane non converti à recycler.

II. Description du procédé (voir annexe 1, page 6/7)

1. Alimentation du réacteur

Le mélange liquide {heptane + toluène} est stocké dans le réservoir R_1 . Il est constitué par de l'heptane « frais » ajouté au raffinat qui quitte la colonne d'extraction D_3 , ce qui explique la présence de toluène dans ce liquide.

Ce liquide traverse, à débit constant, les tubes du bouilleur à faisceau tubulaire vertical E_1 où il est totalement vaporisé à la température constante de $120\text{ }^\circ\text{C}$.

Le dihydrogène destiné à la dilution de ces vapeurs traverse à débit constant la calandre de l'échangeur à faisceau tubulaire vertical E_2 dans lequel il est préchauffé avant d'être mélangé aux vapeurs d'heptane et de toluène à l'entrée du réacteur K .

2. Réaction

Le réacteur K est constitué par une chambre cylindro-conique renfermant un serpentín dont les spires sont remplies par le catalyseur et sont parcourues, de haut en bas, par le mélange de vapeurs et de dihydrogène.

À la base de cette chambre, un brûleur alimenté par un gaz combustible et par de l'air comprimé fournit la chaleur nécessaire à la réaction et au préchauffage. Le débit du gaz combustible maintient constante la température de sortie de l'effluent réactionnel tandis que le débit d'air comprimé est asservi à celui du gaz combustible consommé.

Les fumées émises par ce brûleur cèdent de la chaleur au serpentín et sont rejetées dans l'atmosphère après avoir traversé l'échangeur E_2 , à contre courant du dihydrogène,

3. Refroidissement et condensation

Le mélange gazeux {dihydrogène + vapeurs d'heptane et de toluène} traverse d'abord les tubes de l'échangeur à faisceau tubulaire vertical E_3 alimenté en eau distillée qui est transformée en vapeur de chauffe. Il traverse ensuite la calandre du condenseur à faisceau tubulaire horizontal E_4 où il subit une condensation partielle.

La séparation gaz / liquide s'effectue par traversée du séparateur cyclone S .

La phase liquide s'écoule dans le réservoir R_2 .

La phase gazeuse, mélange de {dihydrogène + vapeurs d'heptane et de toluène} est traitée dans une colonne d'absorption D_1 dans laquelle le solvant est une huile peu volatile. Cette installation sépare un gaz très riche en dihydrogène d'une solution d'heptane et de toluène dans l'huile.

Cette solution subit, dans la colonne **D₂**, une rectification en continu qui régénère l'huile et permet de récupérer, en tant que distillat, un mélange d'heptane et de toluène qui rejoint, dans le réservoir **R₂**, la phase liquide sortie du séparateur **S**.

4. Extraction liquide / liquide

Le mélange {toluène + heptane}, contenu dans le réservoir **R₂**, est injecté, par pompe doseuse, dans la colonne à garnissage **D₃** d'extraction liquide / liquide où il constitue la **phase dispersée**. Une pompe centrifuge fait circuler à contre courant un solvant riche en aniline (aminobenzène) dont le débit régule la composition du raffinat.

Ce raffinat, mélange {heptane + toluène} riche en heptane, retourne, par gravité, dans le réservoir **R₁**.

L'extrait, mélange {toluène + aniline}, est soutiré par vanne automatique avec un débit qui maintient constant le niveau de l'interphase dans **D₃**. Il s'écoule par gravité dans un réservoir de stockage intermédiaire en attente d'une rectification qui sépare l'aniline à recycler du toluène fabriqué.

III. Schéma

Représenter, à l'aide des normes fournies et en respectant le croquis d'implantation fourni en **annexe 1, page 6/7**, le schéma de fabrication correspondant aux opérations :

- d'alimentation du réacteur,
- de réaction,
- de refroidissement et condensation,
- d'extraction liquide / liquide,

c'est-à-dire les appareils **R₁**, **E₁**, **E₂**, **K**, **E₃**, **E₄**, **S**, **R₂** et **D₃**.

On inclura tous les éléments de sécurité et de régulation permettant un fonctionnement correct de l'installation.

On ne représentera pas :

- les dispositifs de stockage du dihydrogène, de l'aniline et de l'extrait ;
- les dispositifs de traitement de la phase gazeuse sortie de **S** ;
- les installations de rectification.

IV. Exercices (les exercices proposés sont totalement indépendants)

1. Réaction

L'installation reçoit, par l'intermédiaire du réservoir **R₁**, un débit massique d'alimentation **A** égal à $2,03 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$ de mélange binaire {heptane + toluène} dont le titre massique en toluène est égal à 0,0160.

On suppose que le taux de conversion de l'heptane est de 60 %, qu'il n'y a pas de réaction parasite et que le débit molaire du dihydrogène nécessaire à la dilution des vapeurs d'heptane doit être égal à cinq fois le débit molaire de ce réactif.

Calculer le débit molaire de chacun des constituants du mélange gazeux à l'entrée puis à la sortie du réacteur **K**.

On complètera le tableau de l'**annexe 2, (page 7/7, à rendre avec la copie)** et on justifiera tous les calculs.

2. Fonctionnement de l'échangeur E_1

Cet appareil, alimenté en vapeur de chauffe, vaporise totalement le mélange {heptane + toluène} qui sera traité dans le réacteur K .

Ce mélange a un débit massique d'alimentation A égal à $2,03 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$ et son enthalpie massique à l'entrée de E_1 est égale à $30,5 \text{ kJ.kg}^{-1}$. Il sort de E_1 :

- d'une part des vapeurs d'un mélange {heptane + toluène} d'enthalpie massique égale à 455 kJ.kg^{-1} ;

- d'autre part un condensat ou « eau de purge » d'enthalpie massique égale à 504 kJ.kg^{-1} .

On suppose que les condensats sont éliminés dès leur formation.

Calculer le débit massique de la vapeur de chauffe nécessaire au fonctionnement de cet appareil sachant que l'enthalpie massique de ce fluide est égale à $2,71 \times 10^3 \text{ kJ.kg}^{-1}$.

3. Fonctionnement de l'ensemble $\{E_4 + S\}$

Cette partie de l'installation reçoit un débit molaire E égal à $1,683 \times 10^5 \text{ mol.h}^{-1}$ d'un mélange gazeux **ternaire** {dihydrogène + vapeur de toluène + vapeur d'heptane}.

Le titre molaire en dihydrogène de ce mélange est égal à 0,879.

Il sort du cyclone S :

- une phase liquide de débit molaire L qui est un mélange **binaire** {heptane + toluène} ;

- une phase gazeuse de débit molaire G qui est un mélange **ternaire** {dihydrogène + vapeur de toluène + vapeur d'heptane} de titre molaire en heptane égal à 0,017 et de titre molaire en toluène égal à 0,022.

3.1. Calculer les débits molaires G et L .

3.2. Déterminer le pourcentage du toluène **fabriqué** que l'on perdrait si la phase gazeuse n'était pas ensuite traitée dans la colonne D_2 .

4. Étude de l'extraction liquide / liquide

La colonne D_3 reçoit un débit massique P égal à $1,93 \times 10^3 \text{ kg.h}^{-1}$ d'un mélange binaire {heptane + toluène} dont le titre **massique** en toluène est égal à 0,586.

On injecte à contre courant un mélange binaire {aniline + toluène} dont le titre massique en aniline est égal à 0,995.

L'installation laisse sortir :

- un raffinat, mélange binaire {heptane + toluène}, de titre massique en toluène égal à 0,0385 ;

- un extrait, mélange binaire {aniline + toluène}, de titre massique en toluène égal à 0,259.

4.1. On suppose que l'heptane et l'aniline sont rigoureusement non miscibles.

4.1.1. Calculer le débit massique d'heptane pur circulant dans la colonne.

4.1.2. En déduire le débit massique du raffinat.

4.1.3. À l'aide d'un bilan massique sur la colonne et d'un bilan massique sur l'aniline, déterminer les débits massiques du mélange binaire {aniline + toluène} à injecter dans la colonne et de l'extrait.

4.1.4. Calculer le rendement de cette extraction.

4.2. La hauteur de garnissage dans la colonne D_3 est égale à 7,0 m. Déterminer la hauteur équivalente à un plateau théorique de ce garnissage.

La courbe de partage du toluène est donnée en annexe 3, page 7/7 ; elle est à rendre avec la copie.

C.R.D.P.

75, cours Alsace et Lorraine

33075 BORDEAUX CEDEX

Tél. : 05 56 01 56 70

DONNÉES

Heptane : ce liquide inflammable, miscible en toutes proportions au toluène, totalement non miscible à l'aniline, a une masse molaire égale à 100 g.mol^{-1} .

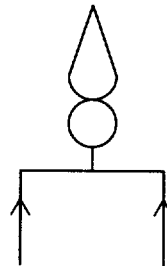
Dihydrogène : ce gaz inflammable a une masse molaire égale à $2,0 \text{ g.mol}^{-1}$.

Toluène : ce liquide inflammable est miscible en toutes proportions à l'heptane et à l'aniline ; il a une masse molaire égale à 92 g.mol^{-1} .

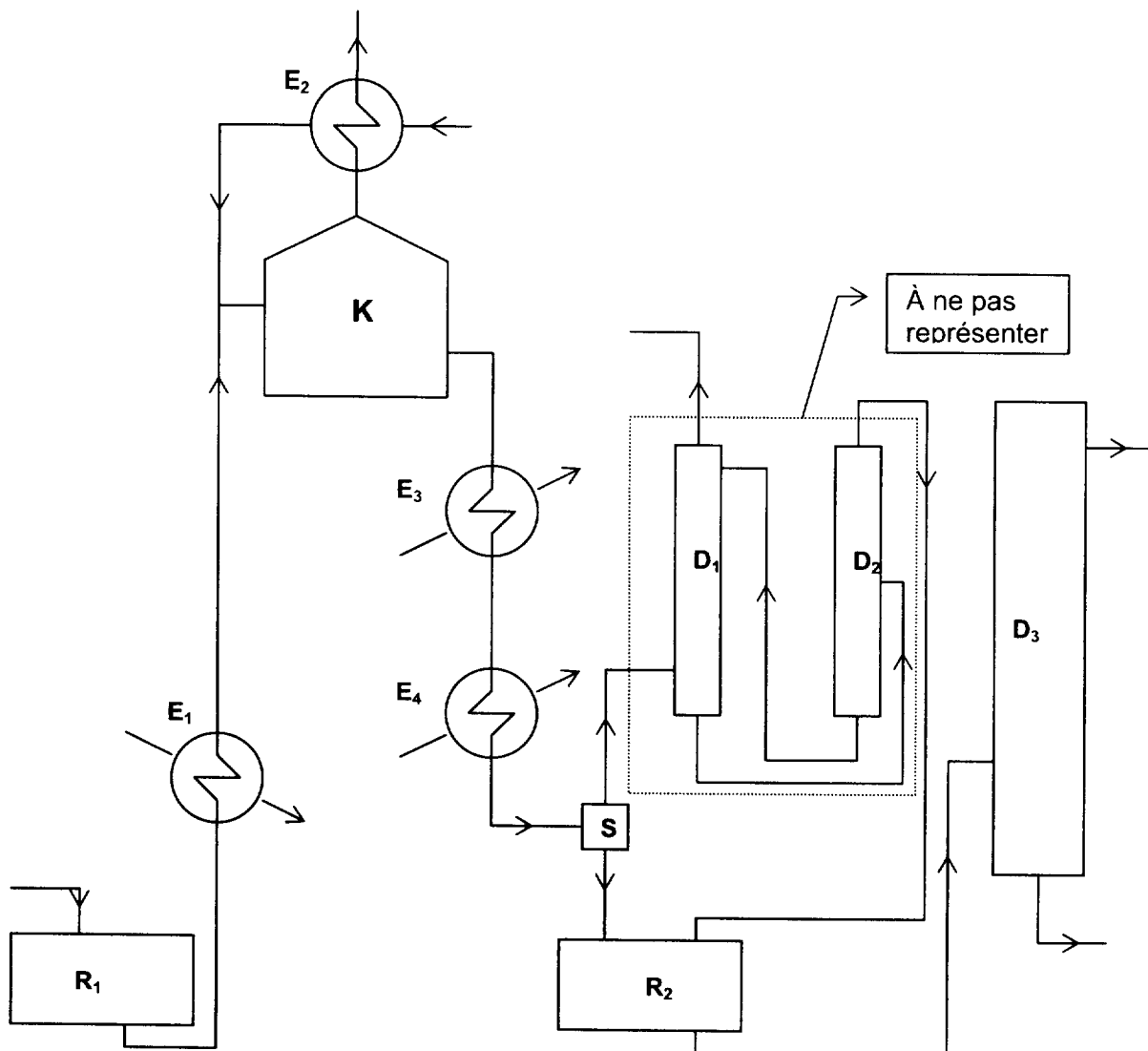
Aniline : c'est un liquide toxique.

Les mélanges binaires {aniline + toluène} ont des masses volumiques plus élevées que celles des mélanges binaires {heptane + toluène}.

Symbole à utiliser pour représenter le brûleur dont est équipé le réacteur **K** :



Annexe 1 : croquis d'implantation des principaux organes de l'installation
Attention : ce schéma simplifié ne comporte pas toutes les arrivées et sorties des fluides



C.R.D.P.

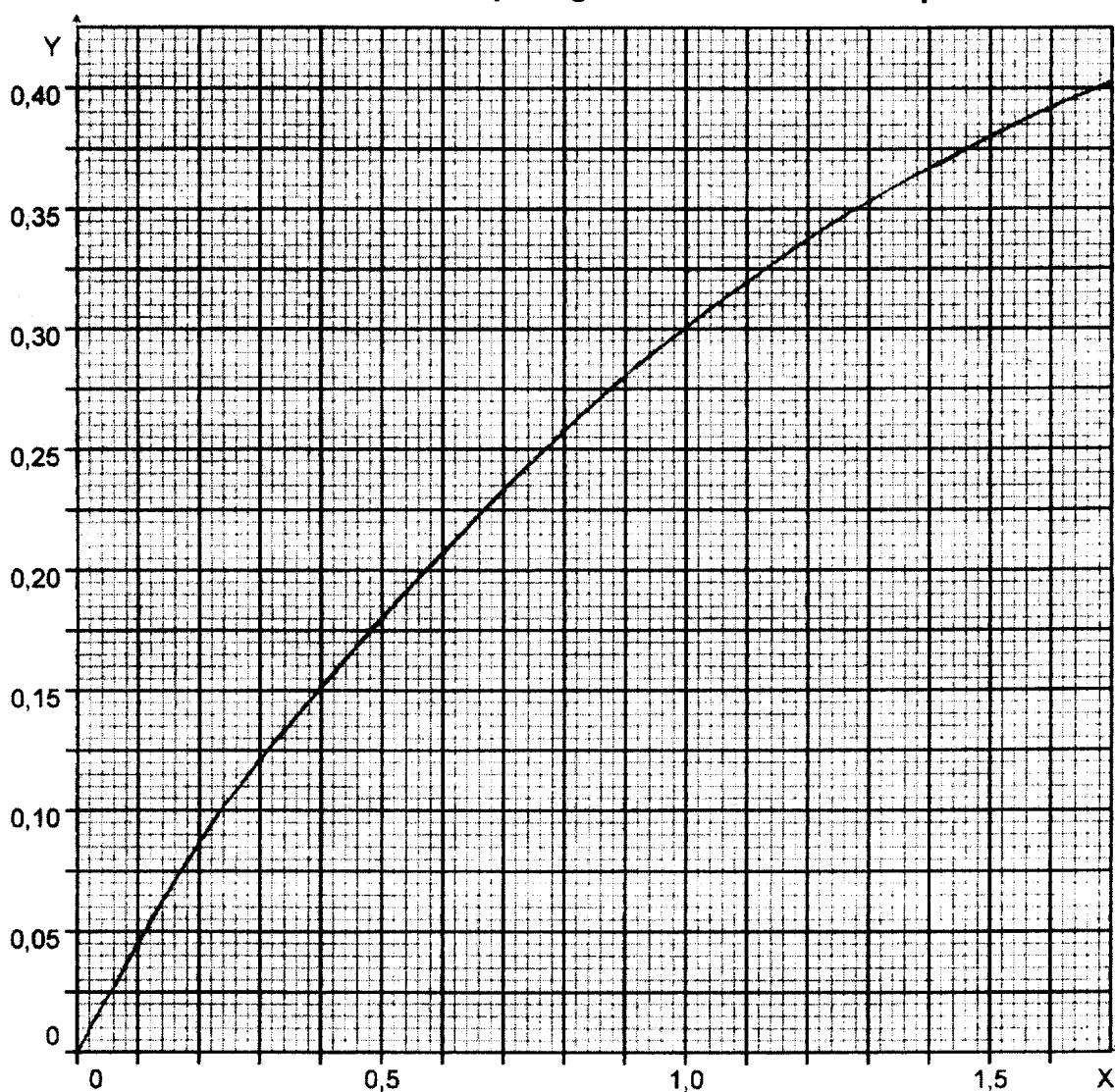
75, cours Alsace et Lorraine
33075 BORDEAUX CEDEX
Tél. : 05 56 01 56 70

Documents à rendre avec la copie

Annexe 2 : composition des courants en entrée et sortie du réacteur K

Constituant	Produits à l'entrée		Produits à la sortie
	Débit massique (kg.h^{-1})	Débit molaire (mol.h^{-1})	Débit molaire (mol.h^{-1})
Heptane	$H_{mE} =$	$H_E =$	$H_S =$
Toluène	$T_{mE} =$	$T_E =$	$T_S =$
Dihydrogène	Non demandé	$D_E =$	$D_S =$

Annexe 3 : courbe de partage du toluène entre l'heptane et l'aniline



X = rapport massique toluène / heptane

Y = rapport massique toluène / aniline