

# BTS CHIMISTE

## GÉNIE CHIMIQUE

Durée : 3 h

Coefficient : 3

Calculatrice autorisée

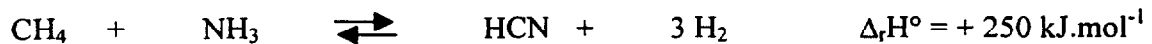
**FABRICATION DE L'ACIDE CYANHYDRIQUE**

### A- DESCRIPTION DU PROCÉDÉ

Le schéma de principe est donné en annexe 1 (page 5/6)

#### 1. Réacteur (R<sub>1</sub>)

L'acide cyanhydrique est préparé par réaction du méthane sur l'ammoniac, à 1373 K et sous une pression absolue de 2 bars selon l'équilibre suivant :



On utilise comme catalyseur de la toile de platine.

La réaction est fortement endothermique, ce qui exige d'amener une grande quantité de chaleur dans le milieu réactionnel. Cet apport d'énergie se fait « in situ » en ajoutant de l'air au mélange CH<sub>4</sub>/NH<sub>3</sub> pour provoquer la réaction suivante :



**(le dihydrogène est issu de la première réaction)**

On suppose que cette addition d'air n'entraîne pas d'autres réactions.

#### 2. Colonne de lavage (D)

Après réaction, les effluents gazeux passent dans un échangeur de chaleur (E<sub>1</sub>) puis dans une colonne de lavage (D), sous pression atmosphérique. L'ammoniac qui n'a pas réagi est éliminé par une solution aqueuse d'acide sulfurique à contre courant.

En tête les effluents gazeux lavés sont dirigés vers la colonne d'absorption (Da).

En pied la solution de sulfate d'ammonium obtenue est envoyée vers la colonne de désorption (De).

#### 3. Colonne de désorption (De)

En effet, la solution issue de (D) contient un peu d'acide cyanhydrique qu'il faut enlever par désorption. Celle-ci est réalisée à contre courant par de l'azote.

En tête, les gaz sont dirigés vers la colonne d'absorption (Da).

En pied, la solution de sulfate d'ammonium est envoyée vers un récipient de stockage.

#### 4. Colonne d'absorption

Les effluents gazeux (contenant entre autres du méthane) issus de (D) et de (De) sont mélangés puis absorbés dans la colonne (Da) par le résidu de la colonne de rectification (Di).

En tête, les effluents gazeux sont collectés en vue d'un ultime traitement.

En pied, la solution est dirigée vers la colonne de rectification (Di) fonctionnant sous pression atmosphérique.

#### 5. Colonne de rectification

Cette colonne permet d'obtenir un distillat titrant 99,5 % en mole d'acide cyanhydrique. Le résidu est dirigé en tête de la colonne d'absorption (Da).

**B- ÉTUDE DU PROCÉDÉ (les exercices 1, 2, 3, 4 sont indépendants)****1. Réacteur (R)**

1.1. Sachant que l'on part d'un mélange équimolaire de dioxygène, méthane, ammoniac et que les gaz effluents du réacteur ne contiennent ni dioxygène ni dihydrogène mais contiennent  $60 \text{ kmol.h}^{-1}$  de diazote, calculer les débits molaires des différentes substances à l'entrée et à la sortie du réacteur (recopier les tableaux 1 et 2 de l'**annexe 2**, page 6/6, et les compléter après avoir justifié ces résultats). L'air contient, en volume, 20 % de dioxygène et 80 % de diazote.

1.2. Calculer le taux de conversion

**2. Échangeur ( $E_1$ )**

Les gaz sortant du réacteur à  $1100 \text{ }^\circ\text{C}$  sont refroidis à  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  dans l'échangeur  $E_1$  (faisceau multitubulaire à simple passe), l'énergie récupérée servant à produire de la vapeur d'eau saturante ( $t = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ) à partir d'une eau de refroidissement à  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . L'échangeur est utilisé à contre-courant. On suppose que l'échangeur est adiabatique.

2.1. Calculer le débit massique d'eau nécessaire.

2.2. Calculer l'aire de la surface d'échange.

2.3. En déduire le nombre de tubes de l'échangeur.

**Données :**

- Débit molaire des effluents gazeux sortant du réacteur :  $110 \text{ kmol.h}^{-1}$
- Capacité thermique molaire moyenne des effluents gazeux :  $30 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Capacité thermique massique de l'eau :  $4,20 \text{ kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
- Enthalpie massique de vaporisation de l'eau :  $L_v$  (en  $\text{kJ.kg}^{-1}$ ) =  $2535 - (2,9 \times t)$  avec  $t$  en  $^\circ\text{C}$
- Coefficient global de l'échange thermique :  $540 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$
- Diamètre d'un tube :  $50 \text{ mm}$  ; longueur d'un tube :  $2,4 \text{ m}$

- Formule donnant la moyenne logarithmique des écarts de température :

$$\Delta\theta_m = \frac{\Delta\theta_1 - \Delta\theta_2}{\ln \frac{\Delta\theta_1}{\Delta\theta_2}}$$
**3. Colonne de lavage (D)**

Les gaz refroidis sont lavés par une solution d'acide sulfurique, afin d'éliminer l'ammoniac qui n'a pas réagi. La solution d'acide est stockée dans un réservoir au sol à niveau constant et respirant à l'atmosphère. La solution est envoyée par pompe centrifuge en tête de la colonne de lavage, qui fonctionne sous pression atmosphérique. La dénivellation entre le niveau dans le réservoir de stockage et la tête de colonne est de  $18 \text{ m}$ .

**Données :**

- Débit massique de la solution d'acide sulfurique :  $F = 1225 \text{ kg.h}^{-1}$
- Masse volumique de la solution d'acide sulfurique :  $\rho = 1145 \text{ kg.m}^{-3}$
- Diamètre des canalisations :  $D = 2,0 \text{ cm}$
- Pertes de charge totales du circuit :  $\Delta P = 6,0 \times 10^4 \text{ Pa}$
- Accélération de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$

3.1. Calculer la vitesse d'écoulement dans la canalisation.

3.2. Exprimer les pertes de charge dans le circuit de pompage en mètres de liquide.

3.3. Calculer la hauteur manométrique de la pompe.

3.4. Calculer la puissance utile et la puissance électrique de la pompe sachant que le rendement de la pompe est égal à  $0,7$ .

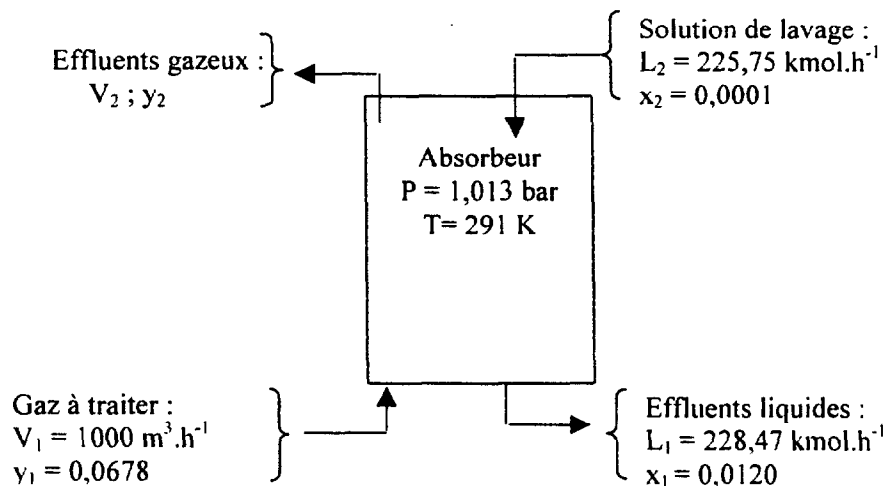
#### 4. Colonne d'absorption (Da)

Les gaz issus de la colonne de lavage (D) et du désorbeur (De) sont mélangés et envoyés vers la colonne d'absorption (Da) pour que l'acide cyanhydrique soit en partie absorbé par une solution aqueuse qui est le résidu de la colonne de rectification (Di).

L'absorbeur fonctionne à 18 °C et sous pression atmosphérique ( $P = 1,013 \text{ bar}$ ).

On désire que les effluents gazeux contiennent moins de 0,3 % en mole d'acide cyanhydrique et on souhaite enrichir la solution de lavage de 0,01 % à 1,2 % en mole d'acide cyanhydrique.

Les différents débits entrant et sortant sont donnés dans le schéma ci-dessous.



$V_1$  et  $V_2$  : débits gazeux exprimés en mètres cube par heure ;

$L_1$  et  $L_2$  : débits des solutions exprimés en kilomoles par heure.

$y_1, y_2, x_1, x_2$  : fractions molaires en acide cyanhydrique

4.1. Calculer le débit ( $V_2$ ) des effluents gazeux en  $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$  et la fraction molaire ( $y_2$ ) en acide cyanhydrique. On donne le volume molaire dans les conditions du procédé ( $T = 291 \text{ K}$  ;  $P = 1,013 \text{ bar}$ ) :  $V_M = 23,9 \text{ L.mol}^{-1}$ .

4.2. A partir de la courbe d'équilibre HCN-H<sub>2</sub>O-Inertes, fournie en **annexe 2 (page 6/6)**, estimer le nombre de plateaux théoriques nécessaire à l'absorption.

**C- SCHÉMA**

Représenter (dessin format A4 sur la fiche bristol quadrillé 5x5 fournie) la partie de l'installation correspondant à la distillation, c'est à dire les appareils **Di**, **E<sub>2</sub>**, **E<sub>3</sub>**, **E<sub>4</sub>**, **E<sub>5</sub>**, **R<sub>2</sub>**, en tenant compte des indications données ci-dessous, en respectant les règles de sécurité et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

La colonne à distiller (**Di**) comporte 15 plateaux.

**1. L'alimentation** : La solution à distiller provient de la colonne d'absorption (**Da**) ; elle est envoyée, par pompe centrifuge (**P<sub>2</sub>**), au 4<sup>ème</sup> plateau de la colonne. Avant son introduction dans la colonne, la solution à distiller est préchauffée (température réglée) dans un échangeur à faisceau tubulaire horizontal (**E<sub>2</sub>**) chauffé à la vapeur.

**2. Le bouilleur** est constitué par un faisceau tubulaire vertical externe (**E<sub>3</sub>**) monté en thermosiphon chauffé par de la vapeur dont le débit est asservi à la perte de charge de la colonne.

**3. Le système de rétrogradation** est constitué de deux échangeurs tubulaires verticaux :

- un condenseur partiel (**E<sub>4</sub>**) assurant un reflux en tête de colonne et dont le débit d'eau froide régule la température de tête de colonne ;
- un condenseur total (**E<sub>5</sub>**) produisant un distillat dont la température est réglée par le débit d'eau du condenseur.

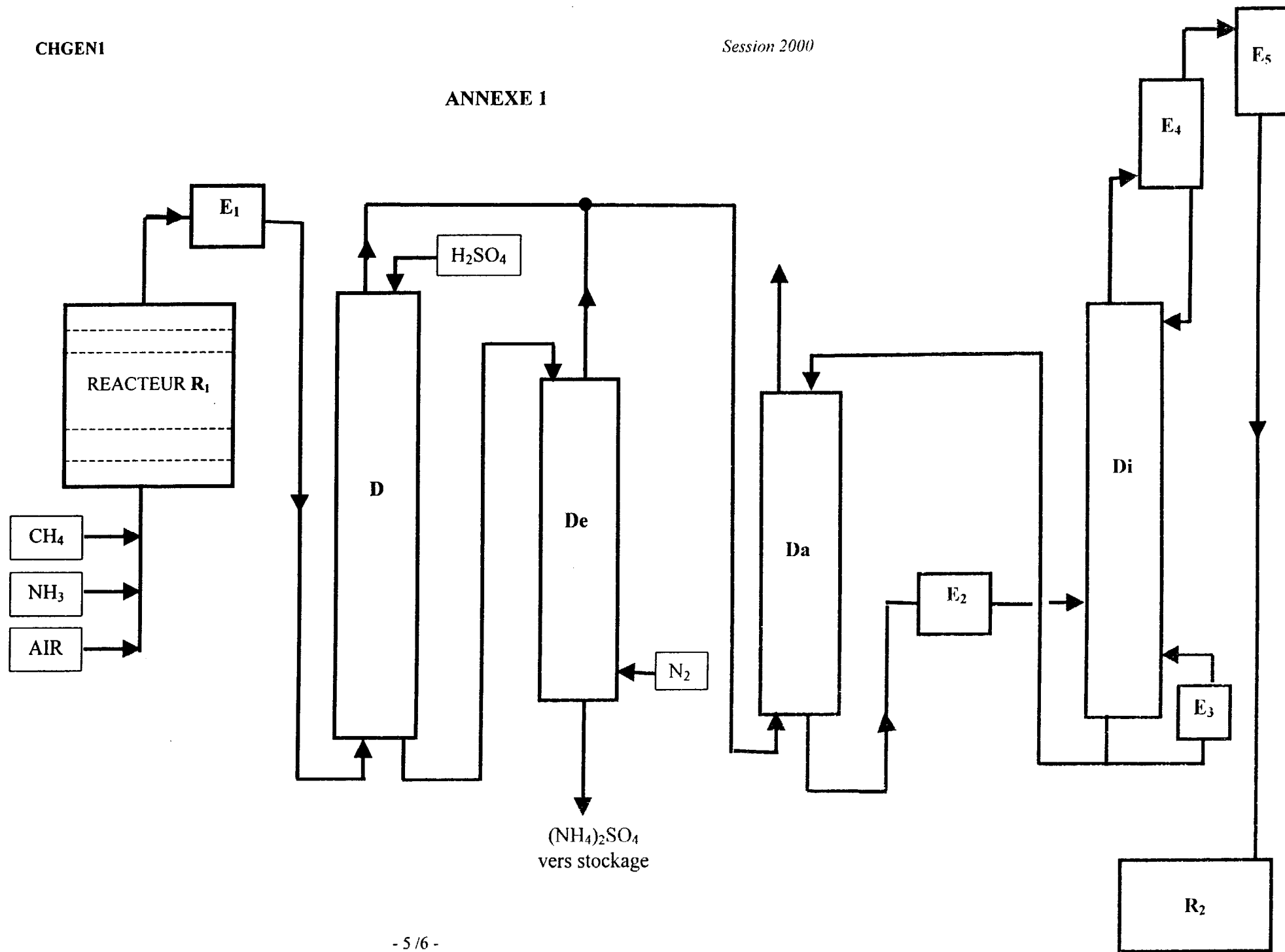
**4. Le distillat** est stocké dans un réservoir au sol (**R<sub>2</sub>**).

**5. Le résidu** est soutiré par pompe centrifuge en pied de colonne par une régulation de niveau et est envoyé en tête de la colonne d'absorption ( à ne pas représenter).

**Caractéristiques physico-chimiques de l'acide cyanhydrique :**

- |                                     |                                      |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| - Température de fusion : - 13,3 °C | - Température d'ébullition : 25,7 °C |
| - Toxicité : poison violent         | - Liquide extrêmement inflammable    |

ANNEXE 1



ANNEXE 2

Tableau 1

Composé	Débit molaire (en kmol.h <sup>-1</sup> )
CH <sub>4</sub>	
NH <sub>3</sub>	
O <sub>2</sub>	
N <sub>2</sub>	

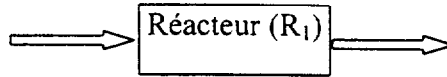
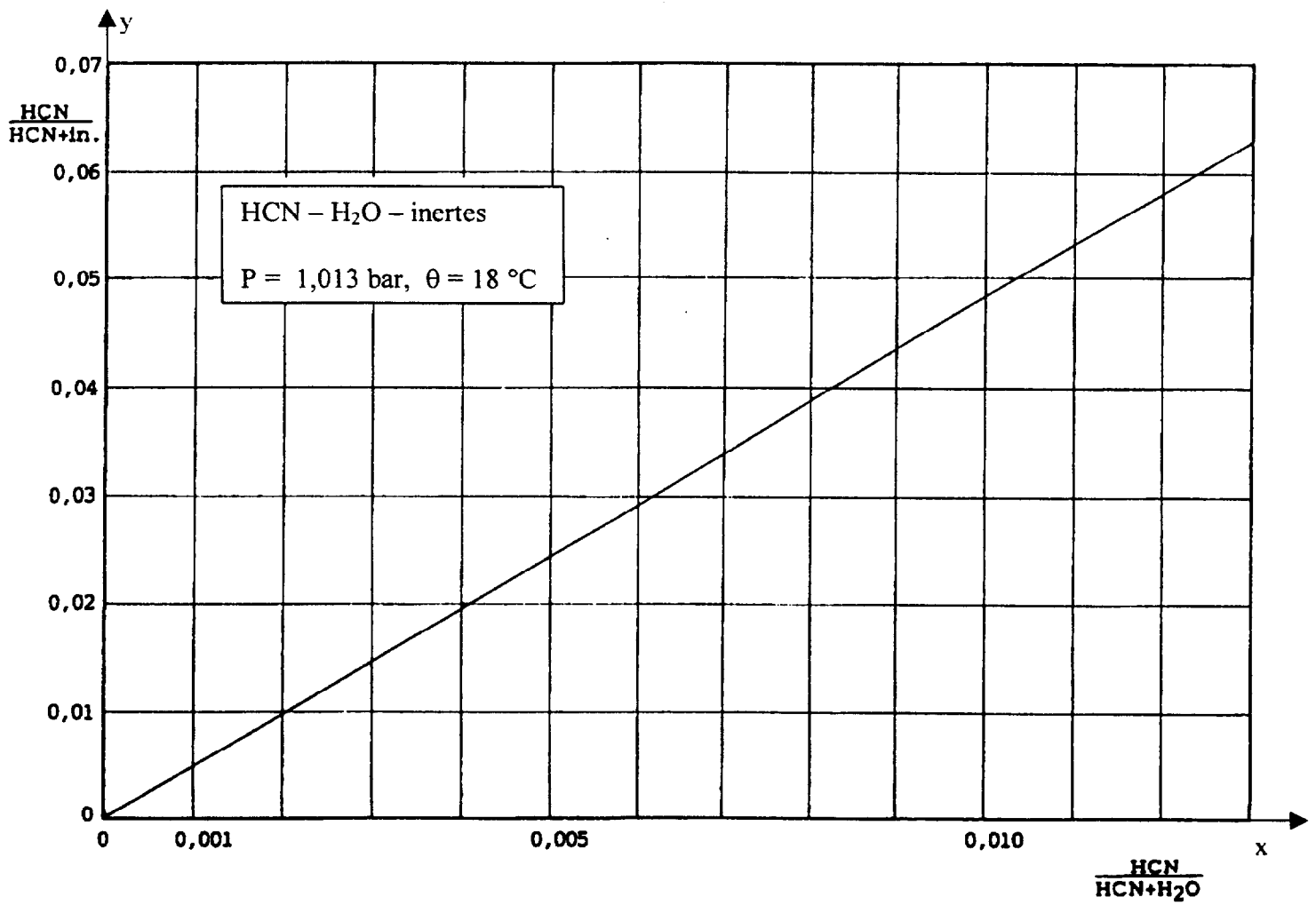


Tableau 2

Composé	Débit molaire (en kmol.h <sup>-1</sup> )
CH <sub>4</sub>	
NH <sub>3</sub>	
H <sub>2</sub>	
H <sub>2</sub> O	
O <sub>2</sub>	
N <sub>2</sub>	
HCN	






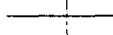
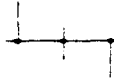
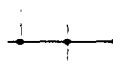
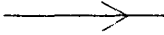
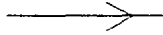
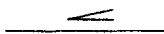
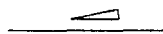
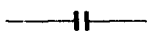
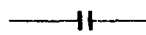
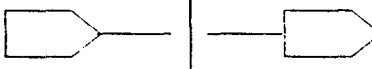

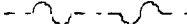
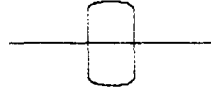
# SYMBOLES DE GENIE CHIMIQUE

## BACCALAUREAT *Chimie de laboratoire et de procédés industriels* BREVET DE TECHNICIEN SUPERIEUR *Chimiste*

### Classification des appareils

Repère	Type	Appareils	
A	AGITATEUR	Agitateurs de tous types pour homogénéiser des phases liquides	
B	BROYEUR	Concasseurs Broyeurs Pulvérisateurs	
C	COMPRESSEUR	Compresseurs Ventilateurs Pompes à vide ...	
D	COLONNE TOUR	Colonnes et tours - Rectification - Extraction	- Lavage - Absorption
E	ÉCHANGEUR	- Bouilleurs - Évaporateurs - Économiseurs - Surchauffeurs ...	- Réfrigérant - Condenseurs - Aéroréfrigérant ...
F	FOUR	Fours de fusion, grillage, cuisson Hauts fourneaux Sécheur	
M	MÉLANGEUR	Agitateurs de tous types pour homogénéiser des phases semi-fluides et solides	
P	POMPE	Pompe de tous types	
R	RÉSERVOIR RÉCIPIENT	Bac Réservoirs Ballons	Gazomètres Silos Trémies ...
S	SÉPARATEUR FILTRE	Crible Décanteurs Filtres	Essoreuses Dépoussiériers Centrifugeuses ...
T	TRANSPORTEUR	Transporteurs Convoyeurs Élévateurs	Portiques Grues ...
V	CHAUDIÈRE À VAPEUR	Chaudières à vapeur Chaudières à fluide caloporteur Fours tubulaires	


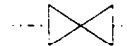
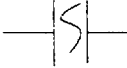
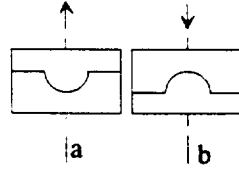

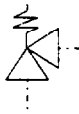






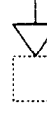


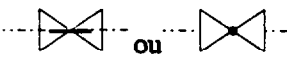
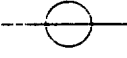


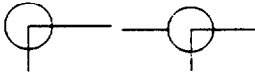
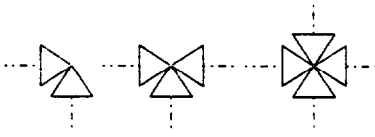
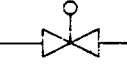
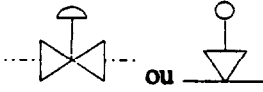

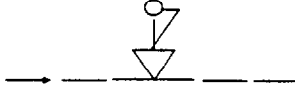
## Tuyauteries

Nom	Norme 1976	Norme 1995
Tuyauteries de tous types		
Croisement de tuyauteries (sans raccordement)		
Croisement de tuyauteries (avec raccordement)		
Sens d'écoulement		
Pente de tuyauterie		
Assemblage par bride		
Entrée de tuyauterie (a) Sortie de tuyauterie (b)		
Tuyauterie flexible		
Isolation thermique		

Air	A	A
Eau	E	E
- de refroidissement	ER	ER
- de lavage	EL	EL
- condensée	EC	EC
- déminéralisée	ED	ED
Vapeur	V	V
- surchauffée	VS	VS
Gaz	G	G
Diazote	GN	GN
Dihydrogène	GH	GH
Dioxygène	GO	GO
Fluide thermique	FT	FT
Fluide frigorigène	FF	FF
Fluide réfrigérant	FR	FR
Saumure	SA	SA



## Robinetterie

Nom	Norme 1976	Norme 1995
Robinet (symbole général)		
Disque de rupture (a) à surpression (b) à dépression		
Soupape de sûreté		
Purgeur		
Clapet de non retour		
Clapet d'arrêt		
Clapet de pied de crépine		
Robinet vanne		
Robinet à soupape		
Robinet à tournant droit		
Robinet à papillon		
Robinet d'équerre ou d'angle (2, 3 ou 4 orifices)		
Robinet de régulation		
Régulateur autonome détendeur		

## Accessoires

Nom	Norme 1976	Norme 1995
Evacuation		
Respiration		
Pulverisation par buse		
Pulverisation par rampe herse et nochière		
Florentin Séparateur avec florentin ouvert		
Florentin Séparateur avec florentin fermé		
Regard d'écoulement		
Arrête flamme		
Filtre (sur canalisation)		
Adsorbeur ou Absorbeur		
Accessoire divers		
Piège à vide		
Garde hydraulique		
Dispositif anti bélièr		
Mise à la terre		
Siphon		

## Manutention des fluides

### Liquides

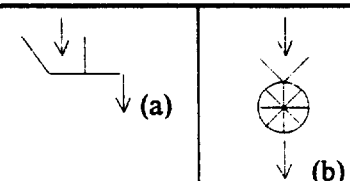
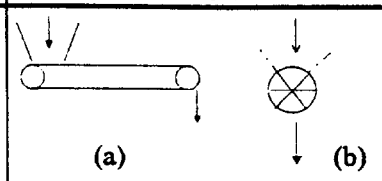
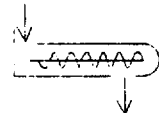
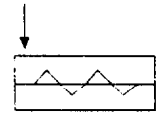
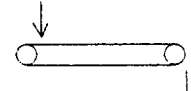
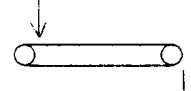
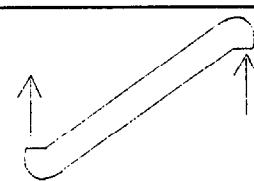

Noms	Norme 1976	Norme 1995
Pompe Symbole général		
Pompe Volumétrique		
Pompe Volumétrique à engrenages		
Pompe Volumétrique alternative à piston		
Pompe Volumétrique alternative à membrane		
Volumétrique à palette		
Pompe Rotodynamique		
Pompe centrifuge		
Pompe doseuse		

### Gaz



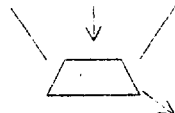
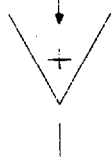
Compresseur volumétrique		
Compresseur volumétrique à palettes		
Compresseur volumétrique à piston		
Compresseur volumétrique à membrane		
Centrifuge		
Ventilateur		
Pompe à vide (en général) à palettes		
A anneau liquide		
Ejecteur pour le vide (à eau)		
Appareil à jet (général) injecteur éjecteur		

# Manutention des solides

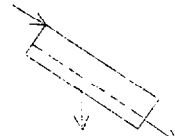
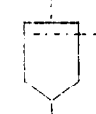
## Distribution et transport

Noms	Norme 1976	Norme 1995
Distributeur (a) à bande (b) écluse		
Transporteur à hélice		
Transporteur à bande		
Transporteur à godets		



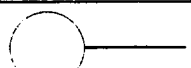
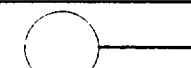
## Fragmentation

Broyeur		
Concasseur		

## Tamis




Tamis à toile		
---------------	---	---

## Agitation

Agitateur et mélangeurs de tous types		
Moteur de tout type		

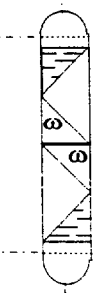
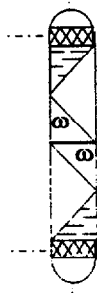
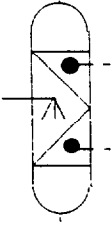
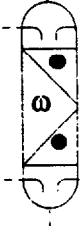
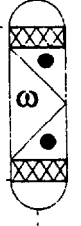
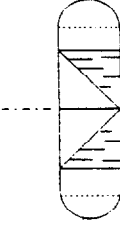
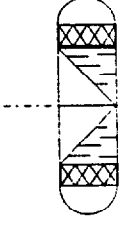
# Colonnes

## Normes 1976

		
Colonne	Colonne à plateaux	Colonne à garnissage

## Normes 1995

On pourra se reporter à la page 'APPAREILS de SEPARATION' pour retrouver les symboles généraux

			
Extraction liquide / liquide Plateaux perforés	Extraction liquide / liquide à garnissage		
			
Séparation gaz / gaz à pulvérisation	Séparation gaz / gaz à ruisellement	Séparation gaz / gaz à garnissage	
			
Rectification-Distillation Plateaux perforés	Rectification-Distillation à garnissage		


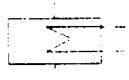
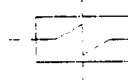
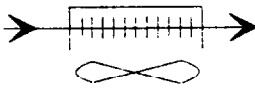
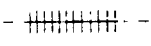
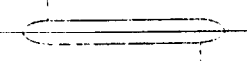
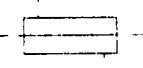
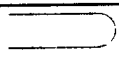
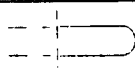
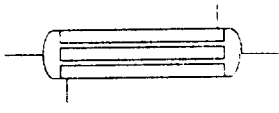
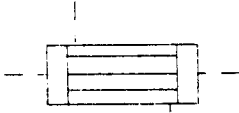
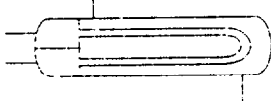
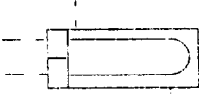

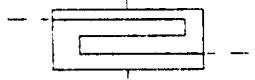
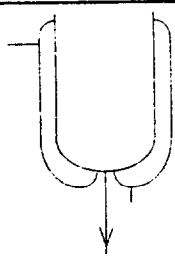
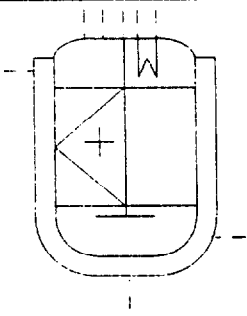
## Appareils de séparation

### Symbole généraux des séparations


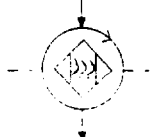
Sol / gaz	Liq / gaz	Sol / Liq	Liq / Liq

Noms	Norme 1976	Norme 1995	
Décantation			
Filtration (général)			
à cuve ouverte			
à depression (buchner)			
Filtre-presse			
Filtre à tambour			
Essoreuse			
Centrifugeuse			
Cyclone (a) Cyclone liquide gaz (b)			
	a	a	b
Hydrocyclone			
Flottation pneumatique (a) Flottation agitée (b)			
		a	b

Echangeurs de chaleur






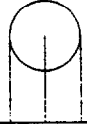
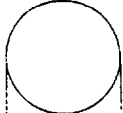

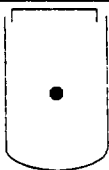



Noms	Norme 1976	Norme 1995
Symbole général		
Refroidisseur (a) Réchauffeur (b)		<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> a</div> <div style="text-align: center;"> b</div> </div>
Tube à ailettes		
Double enveloppe (Liebig)		
Tube en U (épingle)		
Faisceau tubulaire		
Faisceau à tubes en U		
Echangeur à plaques		
Serpentin		
Séchoir tournant		
Cuve à double enveloppe Réacteur de type Grignard		

Chauffage

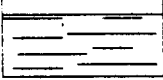
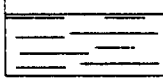
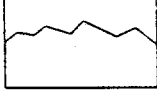

Noms	Norme 1976	Norme 1995
Séchoir Tournant		

## Réservoirs et produits

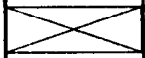

### Réservoirs

Noms	Norme 1976	Norme 1995
Ouvert		
Fermé		
Sous pression		
Sphérique		
Gazomètre		
Silo	 	

### Produits

Produit liquide		
Produit solide		



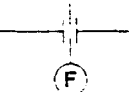
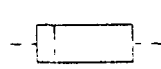
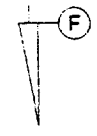
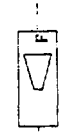

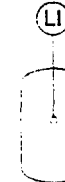
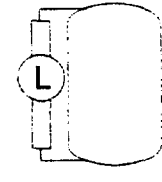
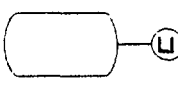






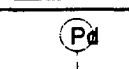


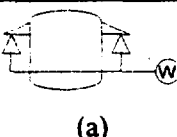
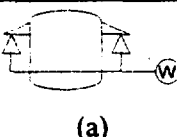
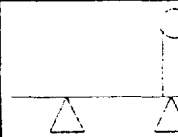
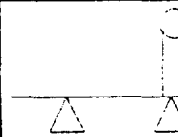
### Garnissage

Symbole		
---------	---	---



## Mesures et controle

### Symbole des grandeurs mesurées : 1ère lettre

Noms		Norme 1976	Norme 1995
Analyse	<b>A</b>		
Débit (Flow)	<b>F</b>	Symbole général 	 Compteur
		Diaphragme 	
		Rotamètre 	
Densité	<b>D</b>		
Niveau (Level)	<b>L</b>	(a) Symbole général 	(a) 
		(b) Niveau en verre 	(b) 
		(c) Point de mesure intérieur 	(c) 
		(d) Indication locale de niveau 	(d) 
Pression (Pressure)	<b>P</b>	Symbole général 	
		Pression différentielle <b>Pd</b>	
Température	<b>T</b>	Symbole général 	
Masse	<b>W</b>	(a) peson 	(a) 
		(b) bascule 	(b) 

Autres Grandeurs	Conductivité	<b>C</b>	Viscosité	<b>N</b>	pH	<b>PH</b>
	Temps	<b>K</b>	Humidité	<b>M</b>	Analyse	<b>A</b>



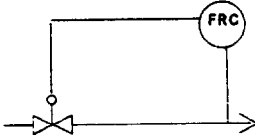
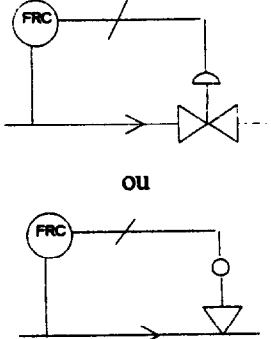
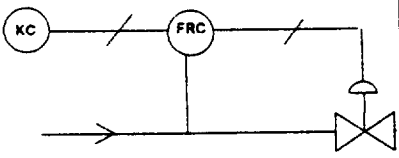
### Autres lettres

#### Seconde lettre

Grandeur lue	<b>I</b>	Grandeur Enregistrée	<b>R</b>	Alarme	<b>A</b>
Totalisation	<b>Q</b>				
Grandeur régulée	<b>C</b>				

#### Troisième lettre

# Régulation

Nom	Norme 1976	Norme 1995
Actionneur		
Débit régulé		
Débit régulé pendant un temps donné		
Débit enregistré, totalisé et régulé		