



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 2012**

# BREVET TECHNICIEN SUPÉRIEUR

## CHIMISTE

SESSION 2012

### Génie Chimique

Durée : 3 heures

Coefficient : 3

**Matériel autorisé :**

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes. (circulaire n°99-186 du 16/11/99).

**Tout autre matériel est interdit.**

**Aucun document autorisé.**

**Documents à rendre avec la copie :**

- Annexe page 6/6

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

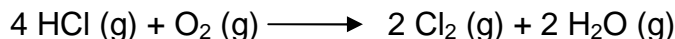
Le sujet comporte 6 pages numérotées de 1 à 6

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : <b>CHGEN-P/12</b>	Session 2012
GÉNIE CHIMIQUE		Page 1 sur 6

## I. Principe

### 1.1. Généralités

Vers 450°C et sous une pression de 400 bar, on fait circuler un « gaz de synthèse » (mélange HCl + O<sub>2</sub> + N<sub>2</sub>) sur un catalyseur solide constitué par du chlorure de cuivre II. Dans ces conditions une transformation exothermique se déroule, modélisée par l'équation ci-dessous (réaction de Deacon) :

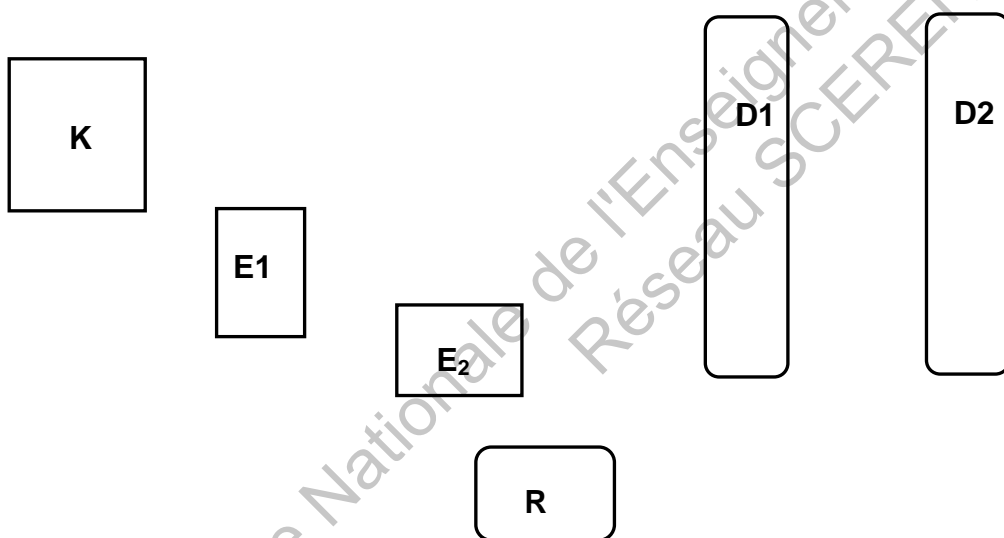


Les effluents gazeux qui quittent le réacteur, sont refroidis pour condenser une partie du chlorure d'hydrogène en excès, alors solubilisé dans l'eau. Le chlorure d'hydrogène et l'eau restant à l'état gazeux, ainsi que les autres gaz (Cl<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, et N<sub>2</sub>), sont envoyés dans une colonne de séchage. Dans cette colonne, l'eau résiduelle est éliminée par de l'acide sulfurique.

Les effluents gazeux qui quittent la colonne de séchage sont soumis à une absorption pour éliminer le dichlore du mélange gazeux, puis une désorption afin d'isoler à l'état le plus pur possible le dichlore à l'état liquide.

### 1.2. Description de l'installation

Schéma simplifié de la partie d'installation qui va être étudiée :



Le « gaz de synthèse » traverse d'abord un compresseur **C1** qui élève sa pression à 400 bar puis il parcourt de bas en haut les tubes de l'échangeur à faisceau tubulaire vertical E<sub>1</sub> où il s'échauffe en refroidissant partiellement les gaz sortant du réacteur **K**. Ensuite, il rentre au sommet du réacteur **K**.

Le réacteur **K** est un échangeur à faisceau tubulaire vertical dont les tubes, remplis de catalyseur (solide) sont parcourus par les réactifs gazeux. Dans la calandre de **K**, on injecte par une pompe centrifuge **P1** de l'eau déminéralisée qui est transformée en vapeur de chauffe en absorbant la chaleur cédée par la réaction. Le niveau d'eau déminéralisée dans la calandre du réacteur **K** est régulé.

Les effluents gazeux sortant par le bas de **K** traversent la calandre de l'échangeur **E1** où ils subissent un premier refroidissement. Le réacteur **K** et l'échangeur **E1** fonctionnent sous 400 bar. La régulation de pression s'effectue, pour ces deux appareils, au niveau de la sortie des effluents gazeux de l'échangeur **E1**.

Les effluents gazeux sortant de **E1** subissent un deuxième refroidissement dans le condenseur à faisceau tubulaire horizontal **E2** qui fonctionne sous 4 bar. Une partie du chlorure d'hydrogène et de l'eau est condensée sous forme d'acide chlorhydrique, tandis que  $\text{Cl}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  et l'autre partie de chlorure d'hydrogène et de l'eau restent à l'état gazeux à une température de 30 °C. Le condensat quittant **E2** est stocké temporairement dans le réservoir **R** également sous 4 bar, puis envoyé vers un autre atelier grâce à une pompe **P2**.

Les gaz sortant de **E2** traversent la colonne de séchage à garnissage **D1**. Cette colonne, également sous une pression de 4 bar, est parcourue à contre-courant par une solution d'acide sulfurique à 95 % injectée par pompe centrifuge **P3** avec un débit qui régule la composition du gaz sortant, qui ne doit plus contenir d'eau. Ensuite, la solution d'acide sulfurique sortant de la colonne de lavage est envoyée grâce à une pompe **P4** dans un autre atelier dont le fonctionnement ne sera pas envisagé au cours de cette étude.

Les gaz sortant de **D1** sont envoyés, à l'aide d'un compresseur **C2**, dans une colonne d'absorption à plateaux **D2** qui est également sous 4 bar. Cette colonne est parcourue à contre-courant par une solution de tétrachlorométhane ( $\text{CCl}_4$ ) injectée grâce à une pompe centrifuge **P5** avec un débit constant. En pied de la colonne d'absorption **D2**, le mélange liquide  $\text{Cl}_2 + \text{CCl}_4$  est envoyé grâce à une pompe centrifuge **P6** dans la colonne **D3**. En tête de colonne d'absorption **D2**, les effluents gazeux constitués de  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  et  $\text{HCl}$  sont envoyés vers un atelier de traitement, à ne pas représenter. **D3** n'est également pas à représenter.

La régulation de pression s'effectue, pour tous les appareils fonctionnant sous 4 bar (**E2**, **R1**, **D1** et **D2**), au niveau de la sortie des effluents gazeux de la colonne d'absorption **D2**.

## II. Schéma

Représenter, à l'aide de la schémathèque fournie, la partie de l'installation correspondant aux appareils : **K**, **E1**, **E2**, **R**, **D1**, **D2**, en respectant les règles de sécurité et en assurant le bon fonctionnement de l'installation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : <b>CHGEN-P/12</b>	Session 2012
GÉNIE CHIMIQUE		Page 3 sur 6

### III. Exercices

Les trois exercices sont indépendants.

#### III.1. Bilan matière sur le réacteur K

Connaissant :

- le débit de chlorure d'hydrogène HCl dans l'alimentation du réacteur **K** :  
 $D_{\text{MHClintroduit}} = 100 \text{ kmol.h}^{-1}$  ;
- le rapport molaire  $\left(\frac{n_{\text{HCl}}}{n_{\text{O}_2}}\right)$  de l'alimentation, qui est égal à 2 ;
- le taux de transformation du chlorure d'hydrogène HCl dans le réacteur **K** :  
$$\tau = \frac{\text{Débit molaire du réactif transformé}}{\text{Débit molaire de réactif entrant}} = 56\%$$
 ,
- le rapport molaire  $\left(\frac{n_{\text{N}_2}}{n_{\text{O}_2}}\right)$  dans les effluents du réacteur, qui est égal à 0,4.

1.1. Calculer le débit molaire de dioxygène O<sub>2</sub> dans l'alimentation.

1.2. Calculer les débits molaires des gaz HCl, Cl<sub>2</sub> et H<sub>2</sub>O sortants du réacteur **K**.

1.3. Calculer le débit molaire de N<sub>2</sub>.

1.4. En déduire le débit molaire du « gaz de synthèse » introduit dans le réacteur **K**, ainsi que le débit molaire des effluents du réacteur.

#### III.2. Étude du fonctionnement de la colonne d'absorption D2

Cette colonne reçoit en tête un mélange gazeux dont le débit est de  $1,14 \times 10^5 \text{ mol.h}^{-1}$  et dont la composition molaire est la suivante : 31,2 % de HCl, 31,6 % de O<sub>2</sub>, 12,6 % de N<sub>2</sub> et 24,6 % de Cl<sub>2</sub>. **D2** reçoit par ailleurs, en bas de colonne, un solvant constitué par du tétrachlorométhane (CCl<sub>4</sub>) pur.

Masse molaire de CCl<sub>4</sub>,  $M = 153,8 \text{ g.mol}^{-1}$  ; masse volumique de CCl<sub>4</sub>,  $\rho = 1585 \text{ kg.m}^{-3}$ .

L'installation est réglée pour laisser sortir un gaz épuré avec une composition molaire  $y_s = 0,02$  % en Cl<sub>2</sub> et le solvant (CCl<sub>4</sub>) avec une composition molaire  $x_s = 1,2$  % en Cl<sub>2</sub>.

On supposera que HCl, O<sub>2</sub>, et N<sub>2</sub> sont rigoureusement insolubles dans la phase liquide et que le tétrachlorométhane utilisé comme solvant a une volatilité nulle ce qui exclut tout passage de vapeurs de ce produit dans la phase gazeuse.

Calculer :

- 2.1. Les rapports molaires des quatre fluides entrants et sortants de la colonne d'absorption.
- 2.2. Le débit molaire du gaz « diluant » constitué de HCl, O<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>.
- 2.3. Le débit molaire du solvant à injecter dans cette colonne.
- 2.4. Le débit massique puis le débit volumique de ce solvant.
- 2.5. Le débit molaire total du liquide qui quitte cette colonne.
- 2.6. Le débit molaire total du gaz épuré qui quitte cette colonne (poser un bilan global sur toute la colonne).

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : <b>CHGEN-P/12</b>	Session 2012
GÉNIE CHIMIQUE		Page 4 sur 6

2.7. Déterminer la hauteur de la colonne sachant que :

- Le nombre de plateaux théoriques est égal à 5.
- Les plateaux sont espacés de 15 cm (la hauteur du plateau lui-même est comprise dans la valeur de 15 cm).
- L'efficacité des plateaux est de 15 %.
- On impose 0,5 m de colonne vide au-dessus du dernier plateau et au-dessous du premier plateau.

### III.3. Mécanique des fluides : étude de la pompe P5

La pompe à roue hélicoïdale **P5**, dont la courbe caractéristique « Hauteur manométrique / Débit » est donnée en annexe, transporte le tétrachlorométhane pur de la colonne **D3** vers la tête de **D2**.

Les deux colonnes **D2** et **D3** fonctionnent sous une pression de 4 bar. De plus, le niveau en pied de la colonne **D3** est maintenu constant.

La canalisation reliant ces appareils a une longueur  $L$  de 34 m et son diamètre intérieur  $d$ , constant, est égal à 15 cm.

La surface libre du liquide dans **D3** est à 12 m plus bas que le point d'arrivée du liquide dans **D2**. On indique que  $v$ , vitesse du fluide, n'est donc pas nulle.

Les accessoires en place dans ce circuit créent une perte de charge identique à celle que provoque une longueur  $L_e$  de 22 m de canalisation.

3.1. En partant de l'équation de Bernoulli, montrer que, si on appelle  $D_v$  le débit volumique du liquide exprimé en  $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$  et  $H_{mt}$  la hauteur manométrique totale exprimée en mètres de liquide, l'expression suivante est vérifiée :

$$H_{mt} = 12 + 1,725 \times 10^{-4} \times D_v^2$$

La courbe représentative de la fonction ci-dessus est appelée courbe de réseau du circuit.

3.2. La courbe caractéristique de la pompe centrifuge **P5** étant donnée **en annexe, page 6/6**, tracer sur ce graphe la courbe de réseau du circuit (**à rendre avec la copie**).

3.3. En déduire la hauteur manométrique et le débit volumique du liquide circulant entre **D3** et **D2** à l'aide de **P5**.

#### Données

Accélération de la pesanteur :  $g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

Pression atmosphérique :  $P_{atm} = 1,01 \times 10^5 \text{ Pa}$

Masse volumique de la solution de tétrachlorométhane :  $\rho_{CCl_4} = 1,59 \times 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

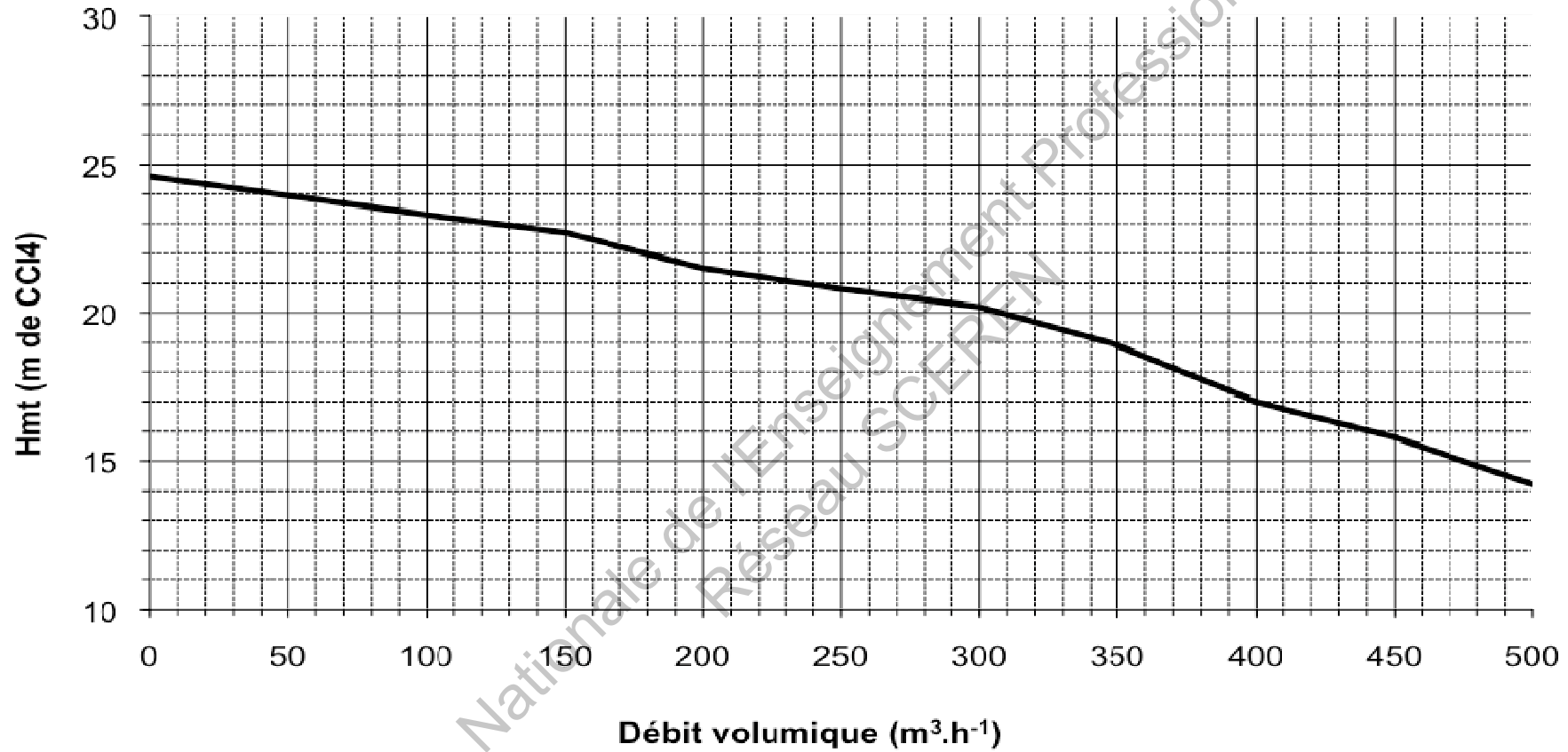
Coefficient de perte de charge par frottement :  $\lambda = 0,0340$

Perte de charge en hauteur de fluide :  $J = \frac{\lambda v^2 \cdot (L + L_e)}{2gd}$  avec  $v$ , vitesse du fluide.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR CHIMISTE	Code : <b>CHGEN-P/12</b>	Session 2012
GÉNIE CHIMIQUE		Page 5 sur 6

Annexe à rendre avec la copie

**Annexe: Courbe caractéristique de la pompe à roue hélicoïdale HUS 250-200-A  
N = 1450 tr.min<sup>-1</sup>**



**SYMBOLES DE GÉNIE CHIMIQUE**

**BACCALAURÉAT**

Chimie de laboratoire et de procédés industriels

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR**

Chimiste

# **SCHEMATHEQUE 2004**

**Juin 2005**



## SOMMAIRE

CLASSIFICATION DES APPAREILS	3
TUYAUTERIE	4
ACCESSOIRES ET ROBINETTERIE	5
APPAREILS DE SEPARATION	6
COLONNES ET REACTEURS	7
ECHANGEURS DE CHALEUR	8
MANUTENTION DES FLUIDES	9
RESERVOIRS	10
MANUTENTION DES SOLIDES	11
MESURE – CONTROLE – REGULATION	12
ANNEXE NON FOURNIE A L'EXAMEN	13

Base Nationale de l'Enseignement Professionnel  
Réseau SCEREN








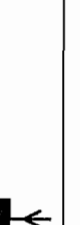

## CLASSIFICATION DES APPAREILS




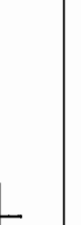



REPÈRE	TYPE	APPAREILS	REPÈRE	TYPE	APPAREILS
A	AGITATEUR	Agitateur de tous types pour homogénéiser des phases liquides	K	REACTEUR	
B	BROYEUR	Concasseurs Broyeurs Pulvérisateurs	M	MELANGEUR	Tous appareils munis intérieurement ou extérieurement de dispositifs mécaniques et destinés à l'homogénéisation des milieux semi-fluides et solides
C	COMPRESSEUR	Compresseurs Ventilateurs Pompes à vide	P	POMPE	Pompes de tous types
D	COLONNE TOUR	Colonnes et tours -Rectification -Extraction -Lavage -Absorption	R	RESERVOIR RECIPIENT	Bacs Réservoirs Ballons Gazomètres Silos Trémies
E	ECHANGEUR	-Bouilleurs -Evaporateurs -Economiseurs -Surchauffeurs -Réfrigérants -Condenseurs -Aéroréfrigérants	S	SEPARATEUR FILTRE	Cribles Décanteurs Filtres Essoreuses Dépoussiéreuses Centrifugeuses
F	FOUR	Fours de fusion, grillage, cuisson Hauts fourneaux Sécheurs	T	TRANSPORTEUR	Transporteurs Convoyeurs Elévateurs Portiques Grues
			V	CHAUDIERE A VAPEUR	Chaudières à vapeur Chaudière à fluide caloporteur Fours tubulaires

## TUYAUTERIE

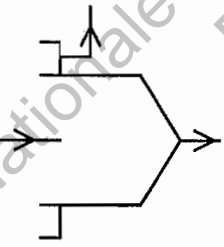
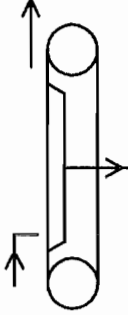
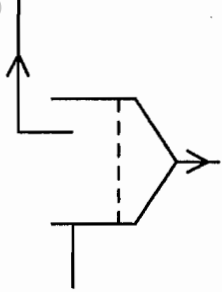
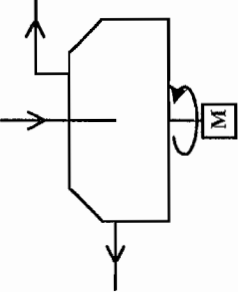
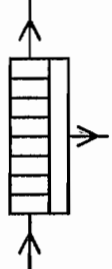
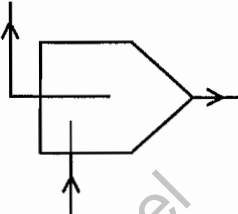
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Tuyauterie de tous types		Air	A AC AR
Croisement de tuyauterie (sans raccordement)		→ comprimé → raréfié (vide)	
Croisement de tuyauterie (avec raccordement)		Eau	E ER EL ED
Sens d'écoulement		→ de refroidissement → de lavage → déminéralisée	
Pente de tuyauterie		Vapeur	V VS
Entrée de tuyauterie (a)		→ surchauffée	G GN
Sortie de tuyauterie (b)			
Isolation thermique sur canalisation		Gaz	
		→ diazote	
		Fluide thermique	FT
		Fluide frigorigène	FF
		Fluide réfrigérant	FR
		Saumure	SA

## ACCESSOIRES ET ROBINETTERIE

NOM	SYMBOLE
Evacuation	
Respiration	
Pulvérisation par rampe	
Regard d'écoulement	
Arrêt flamme	
Adsorbeur	
Piège à vide	
Garde hydraulique	
Siphon	

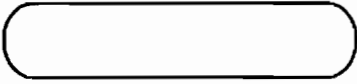

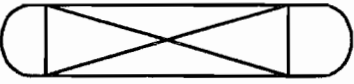
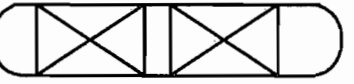
NOM	SYMBOLE
Robinet(symbole général)	
Disque de rupture	
Soupape de sûreté	
Purgeur	
Clapet de non retour	
Robinet de régulation	
Détendeur	

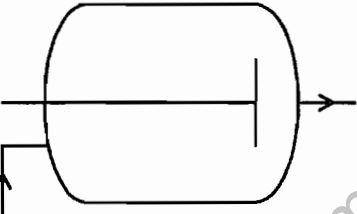
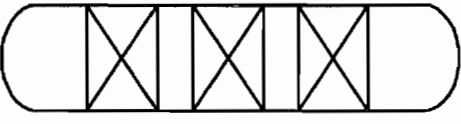

APPAREILS DE SEPARATION

NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
<p>Décanteur (Clarificateur)</p>		<p>Filtre à bande</p>	
<p>Filtre discontinu (type büchner)</p>		<p>Centrifugeuse Séparation-liquide - liquide</p>	
<p>Filtre presse</p>		<p>Cyclone</p>	

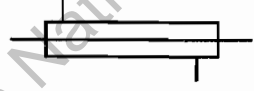
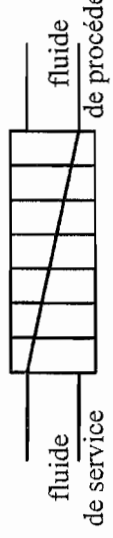

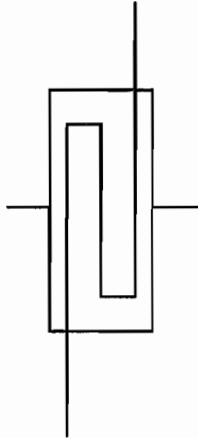
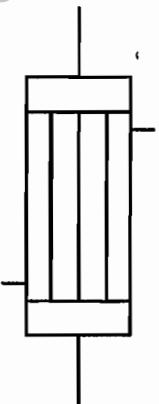
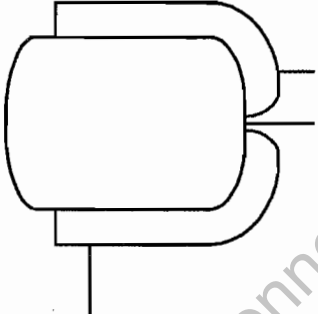
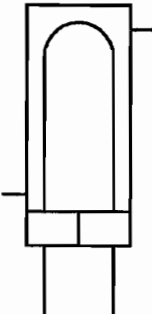
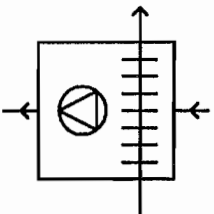
## COLONNES ET REACTEURS

### REACTEURS

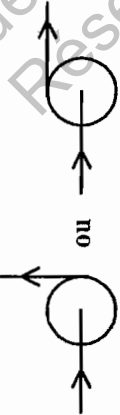





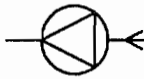
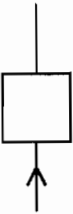
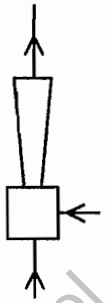
NOM	SYMBOLE
Colonne vide (a)	 (a)
Colonne à plateaux (b)	 (b)
Colonne à garnissage (c)	 (c)
Colonne à garnissage à deux tronçons (d)	 (d)

NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Réacteur agité		Réacteur à lit catalytique	
Réacteur tubulaire			

## ECHANGEURS DE CHALEUR

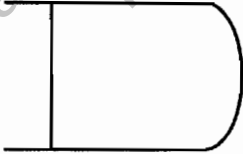
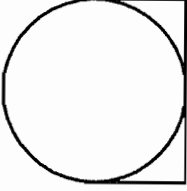
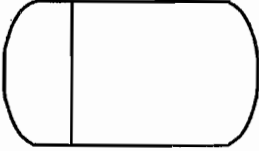
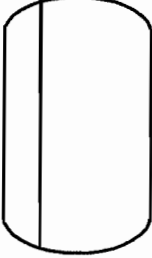
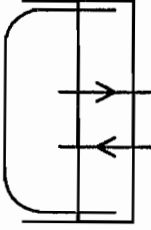
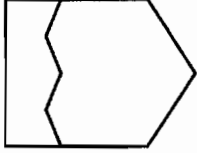
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Echangeur tubulaire (liebig)		Echangeur à plaques	
Epingle		Serpentin	
Faisceau tubulaire		Cuve à double enveloppe	
Faisceau à tubes en U			
Aéroréfrigérant			

## MANUTENTION DES FLUIDES

<b>LIQUIDES</b>		<b>GAZ</b>	
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Pompe centrifuge	 ou 	Compresseur volumétrique	
Pompe volumétrique		Compresseur centrifuge	
Pompe doseuse		Ventilateur	
		Pompe à vide	
		Ejecteur	

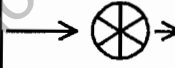

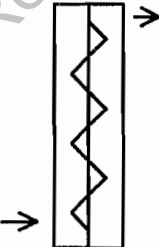
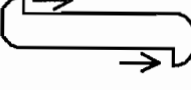


## RESERVOIRS

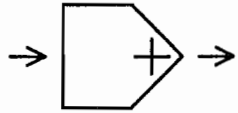
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Réservoir ouvert		Réservoir sphérique pour gaz sous pression	
Réservoir fermé	 	Gazomètre	
		Silo	

# MANUTENTION DES SOLIDES

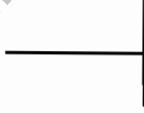
## DISTRIBUTION ET TRANSPORT

NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Distributeur		Transporteur à bande	
Transporteur à hélice		Transporteur à godets	

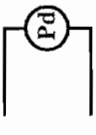
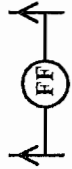
## FRAGMENTATION



NOM	SYMBOLE
Broyeur concasseur	

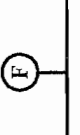



## AGITATION


NOM	SYMBOLE
Agitateur et mélangeur de tous types	

## MESURE – CONTROLE – REGULATION

<b>SYMBOLE DES GRANDEURS MESUREES: 1<sup>ère</sup> lettre</b> <i>nature de la grandeur mesurée 1 ou 2 lettre(s)</i>			
Analyse	A	masse (weight)	W
Débit (flow)	F	Conductivité	C
Densité	D	Viscosité	N
Niveau (level)	L	pH	PH
Pression	P	temps	K
Température	T	humidité (moisture)	M
Pression différentielle	Pd		
Rapport de débit (fraction flow)	FF		
Volume	V		

<i>3<sup>ème</sup> lettre (fonction assignée à la mesure dans le procédé)</i>	
<b>C</b>	<b>Régulateur</b>  Ex: pression différentielle enregistrée et réglée
<b>A</b> AH AL	<b>Alarme</b> Alarme haute alarme basse  Ex: Débit indiqué avec seuil d'alarme haut

NOM	SYMBOLE
DEBIT symbole général	
NIVEAU point de mesure intérieur (a) indication locale de niveau (b)	
PRESSION	
TEMPERATURE	

<b>REGULATION</b>	
Débit enregistré réglé	

<i>2<sup>ème</sup> lettre (indique le mode d'accès à la mesure)</i>			
<b>I</b>	<b>Indicateur</b>	<b>R</b>	<b>Enregistreur (recorder)</b>
		<b>T</b>	<b>Transmetteur</b>