

# **SCHEMATHEQUE 2004**

## **Exemples et commentaires**

**Octobre 2005 – Version 1.2**

Vous trouverez dans ce document la nouvelle schémathèque 2005 ainsi qu'un document d'accompagnement avec de nombreux exemples.

Ce travail a été effectué par une équipe d'enseignants sous l'autorité de M Daniel ASSOULINE, IGEN, ainsi que de M Michel VIGNERON, IA-IPR en charge des examens pour les BTS Chimiste et le baccalauréat STL-CLPI.

Il a pour vocation de donner un cadre unique pour l'enseignement du schéma auprès de l'ensemble des collègues enseignant le génie chimique mais aussi de fournir un document d'accompagnement avec de nombreux exemples commentés.

La schémathèque 2005 rentrera en application pour les épreuves du Baccalauréat STL-CLPI et du BTS Chimiste pour la session 2006 et sera le document officiellement fourni avec les sujets, à utiliser à l'exclusion de tout autre.

Vous pouvez télécharger ce document ou la schémathèque seule sur le site des Ressources Nationales de Chimie (RN chimie) à partir de l'adresse suivante :

[http://www.educnet.education.fr/rnchimie/gen\\_chim/sommaire.htm](http://www.educnet.education.fr/rnchimie/gen_chim/sommaire.htm) .

Pour toutes questions, remarques ou commentaires, contactez nous : [rn-chimie@education.gouv.fr](mailto:rn-chimie@education.gouv.fr)

# SOMMAIRE

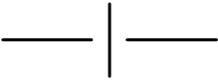
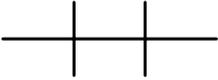
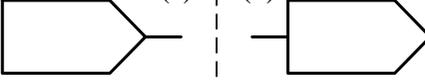
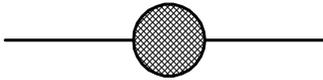
<b>SCHEMATHEQUE 2004</b> .....	<b>4</b>
CLASSIFICATION DES APPAREILS .....	4
TUYAUTERIE.....	5
ACCESSOIRES ET ROBINETTERIE .....	6
APPAREILS DE SEPARATION.....	7
COLONNES ET REACTEURS.....	8
ECHANGEURS DE CHALEUR .....	9
MANUTENTION DES FLUIDES.....	10
RESERVOIRS.....	11
MANUTENTION DES SOLIDES.....	12
MESURE – CONTROLE – REGULATION .....	13
ANNEXE NON FOURNIE A L'EXAMEN .....	14
<b>EXEMPLES ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>15</b>
<b>MANUTENTION DES FLUIDES</b> .....	<b>15</b>
Pompe centrifuge.....	15
Pompes volumétriques.....	16
Compresseur centrifuge.....	17
Compresseur volumétrique.....	17
<b>ECHANGEURS DE CHALEUR</b> .....	<b>18</b>
<b>LES DIFFERENTS REACTEURS</b> .....	<b>21</b>
Réacteur discontinu fonction sous pression.....	21
Réacteur continu en cascade.....	22
Réacteur catalytique à lits fixes sous pression.....	23
Réacteur catalytique tubulaire isotherme.....	25
<b>LES APPAREILS DE SEPARATION</b> .....	<b>26</b>
Décanteurs continus.....	26
Filtres presses montés en parallèle .....	27
<b>EXTRACTION LIQUIDE LIQUIDE</b> .....	<b>28</b>
Exemple 1 : Purification du glycérol en solution aqueuse contenant de l'acide acétique par un solvant S.....	28
Exemple 2 : Purification du glycérol en solution aqueuse contenant de l'acide acétique par un solvant S.....	29
Exemple 3 : Extraction liq-liq de la propanone contenu dans du trichlorométhane par de l'eau.....	30
<b>ABSORPTION</b> .....	<b>31</b>
Exemple 1 : Condensation de méthanol et d'acrylate de méthyle dans une colonne d'absorption.....	31
Exemple 2 : Neutralisation du chlorure d'hydrogène par une solution de soude dans une colonne d'absorption (version 1).....	32
Exemple 3 : Neutralisation du chlorure d'hydrogène par une solution de soude dans une colonne d'absorption (version 2).....	33
Exemple 4 : Absorption du benzène contenu dans un gaz par une huile dans deux colonnes d'absorption.....	34
Exemple 5 : Fabrication d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique dans une colonne d'absorption sous pression.....	35
Exemple 6 : Absorption de l'ammoniac contenu dans l'air avec deux colonnes à garnissage .....	36
<b>RECTIFICATION</b> .....	<b>37</b>
Exemple 1 : Rectification en continu.....	37
Exemple 2 : Rectification en continu.....	39
Exemple 3 : Rectification en continu sous pression .....	40
Exemple 4 : Rectification en discontinu .....	41
Exemple 5 : Rectification azéotropique à pression atmosphérique .....	42

# SCHEMATHEQUE 2004

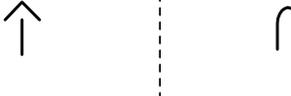
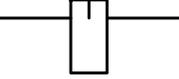
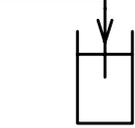
## CLASSIFICATION DES APPAREILS

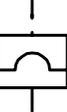
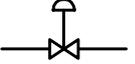
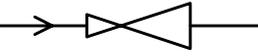
REPÈRE	TYPE	APPAREILS	REPÈRE	TYPE	APPAREILS
A	AGITATEUR	Agitateur de tous types pour homogénéiser des phases liquides	K	RÉACTEUR	
B	BROYEUR	Concasseurs Broyeurs Pulvérisateurs	M	MÉLANGEUR	Tous appareils munis intérieurement ou extérieurement de dispositifs mécaniques et destinés à l'homogénéisation des milieux semi-fluides et solides
C	COMPRESSEUR	Compresseurs Ventilateurs Pompes à vide			
D	COLONNE	Colonnes et tours	R	RÉSERVOIR	Bacs Réservoirs Ballons
	TOUR	-Rectification -Extraction		RÉCIPIENT	Gazomètres Silos Trémies
E	ÉCHANGEUR	-Bouilleurs -Évaporateurs -Économiseurs -Surchauffeurs	S	SÉPARATEUR	Cribles Décanteurs Filtres
		-Réfrigérants -Condenseurs -Aéroréfrigérants		FILTRE	Essoreuses Dépoussiéreuses Centrifugeuses
			T	TRANSPORTEUR	Transporteurs Convoyeurs Élévateurs
F	FOUR	Fours de fusion, grillage, cuisson Hauts fourneaux Sécheurs	V	CHAUDIÈRE A VAPEUR	Chaudières à vapeur Chaudière à fluide caloporteur Fours tubulaires

## TUYAUTERIE

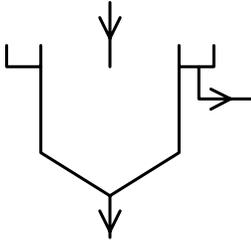
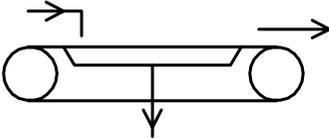
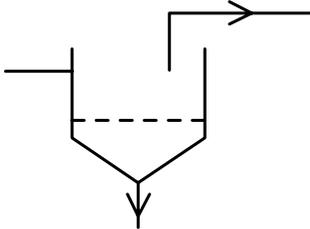
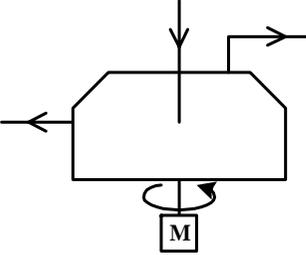
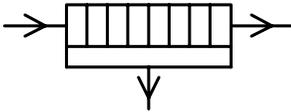
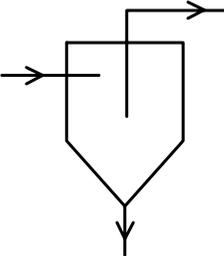
<b>NOM</b>	<b>SYMBOLE</b>	<b>NOM</b>	<b>SYMBOLE</b>
Tuyauterie de tous types		Air	<b>A</b>
Croisement de tuyauterie (sans raccordement)		→ comprimé	<b>AC</b>
		→ raréfié (vide)	<b>AR</b>
Croisement de tuyauterie (avec raccordement)		Eau	<b>E</b>
		→ de refroidissement	<b>ER</b>
		→ de lavage	<b>EL</b>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

## ACCESSOIRES ET ROBINETTERIE

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

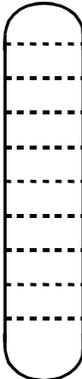
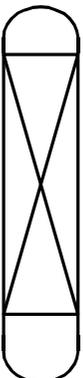
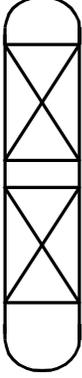
NOM	SYMBOLE
Robinet(symbole général)	
Disque de rupture	
Soupape de sureté	
Purgeur	
Clapet de non retour	
Robinet de régulation	
Détendeur	

## APPAREILS DE SEPARATION

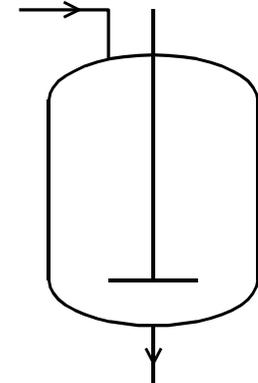
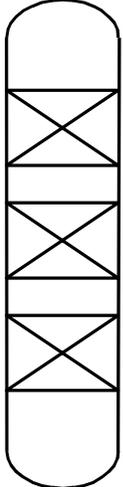
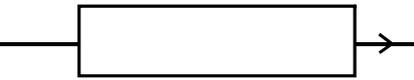
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Décanteur (Clarificateur)		Filtre à bande	
Filtre discontinu (type büchner)		Centrifugeuse Séparation liquide - liquide	
Filtre presse		Cyclone	

## COLONNES ET REACTEURS

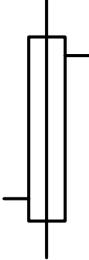
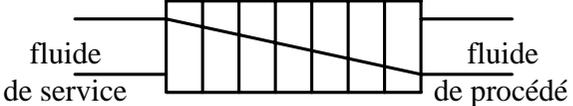
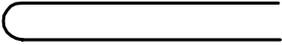
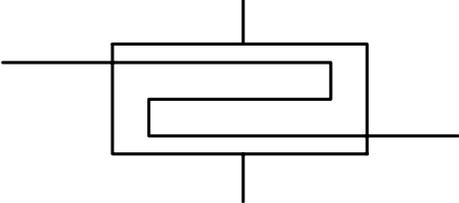
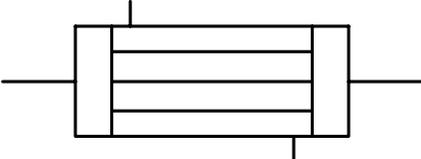
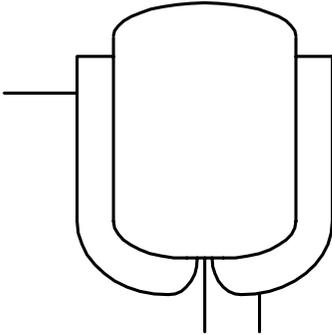
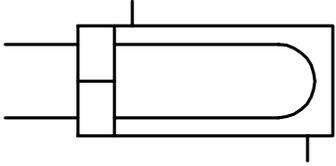
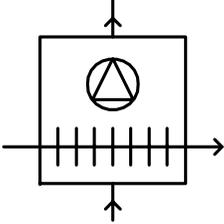
### COLONNES (Absorption, rectification, extraction)

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

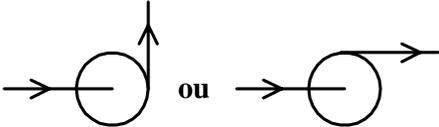
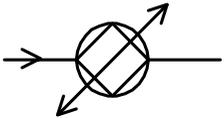
### RÉACTEURS

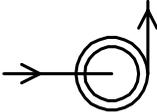
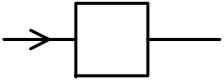
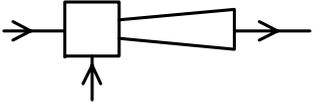
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Réacteur agité		Réacteur à lit catalytique	
Réacteur tubulaire			

## ECHANGEURS DE CHALEUR

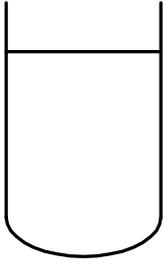
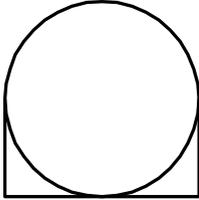
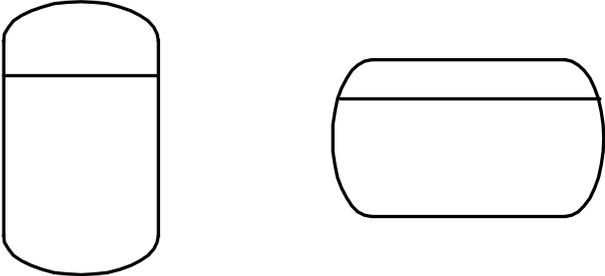
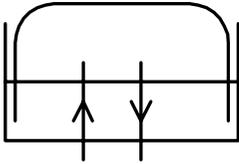
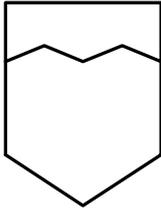
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Echangeur tubulaire (liebig)		Echangeur à plaques	
Epingle		Serpentin	
Faisceau tubulaire		Cuve à double enveloppe	
Faisceau à tubes en U			
Aéroréfrigérant			

## MANUTENTION DES FLUIDES

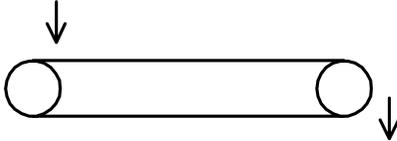
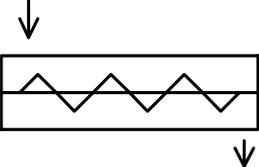
<i>LIQUIDES</i>	
NOM	SYMBOLE
Pompe centrifuge	
Pompe volumétrique	
Pompe doseuse	

<i>GAZ</i>	
NOM	SYMBOLE
Compresseur volumétrique	
Compresseur centrifuge	
Ventilateur	
Pompe à vide	
Ejecteur	

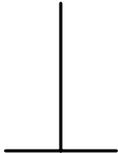
## RESERVOIRS

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

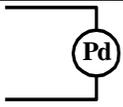
## MANUTENTION DES SOLIDES

<i><b>DISTRIBUTION ET TRANSPORT</b></i>			
<b>NOM</b>	<b>SYMBOLE</b>	<b>NOM</b>	<b>SYMBOLE</b>
Distributeur		Transporteur à bande	
Transporteur à hélice		Transporteur à godets	

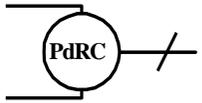
<i><b>FRAGMENTATION</b></i>	
<b>NOM</b>	<b>SYMBOLE</b>
Broyeur concasseur	

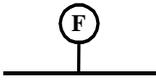
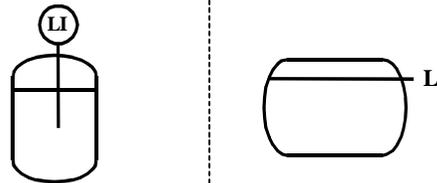
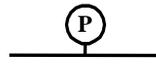
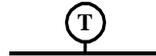
<i><b>AGITATION</b></i>	
<b>NOM</b>	<b>SYMBOLE</b>
Agitateur et mélangeur de tous types	

## MESURE – CONTROLE – REGULATION

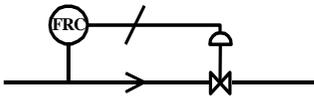
<b>SYMBOLE DES GRANDEURS MESURÉES : 1<sup>ère</sup> lettre</b> <i>nature de la grandeur mesurée 1 ou 2 lettre(s)</i>			
Analyse	A	Masse (weight)	W
Débit (flow)	F	Conductivité	C
Densité	D	Viscosité	N
Niveau (level)	L	pH	PH
Pression	P	Temps	K
Température	T	Humidité (moisture)	M
Pression différentielle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

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

<b>3<sup>ème</sup> lettre</b> ( <i>fonction assignée à la mesure dans le procédé</i> )			
C	<b>Régulateur</b>	Ex: pression différentielle enregistrée et réglée	
A 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	

### REGULATION

Débit enregistré réglé	
------------------------	---

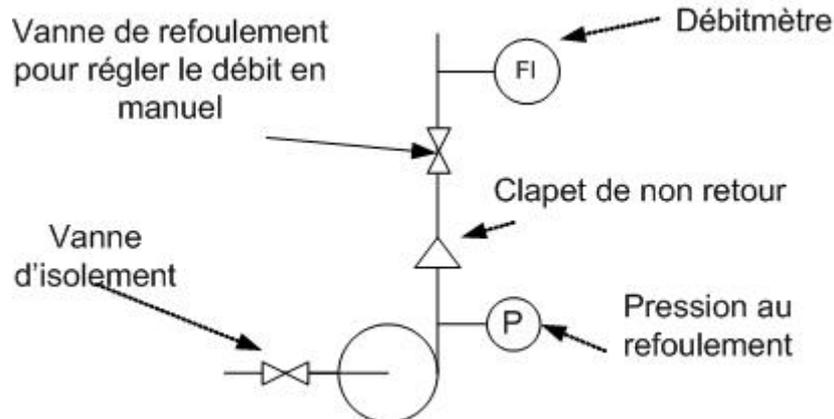
## ANNEXE NON FOURNIE A L'EXAMEN

TUYAUTERIE		MANUTENTION DES FLUIDES	
NOM	SYMBOLE	NOM	SYMBOLE
Assemblage par bride		Pompe volumétrique alternative à piston	
Tuyau flexible		Pompe volumétrique à engrenage	
<b>ACCESSOIRES ET ROBINETTERIE</b>		Pompe volumétrique alternative à membrane	
Filtre sur canalisation		Compresseur volumétrique à piston	
Dispositif anti bélier		Compresseur volumétrique à membrane	
Mise à la terre		Compresseur volumétrique à palette	
Robinet vanne		Pompe à anneau liquide	
Robinet à soupape		<b>APPAREILS DE SEPARATION</b>	
Robinet à tournant droit		essoreuse (fonctionnement discontinu)	
Robinet à papillon		essoreuse (fonctionnement continu)	
Robinet d'équerre ou d'angle (2,3 ou 4 orifices)			
<b>MESURE ET CONTROLE</b>			
Rotamètre			
diaphragme			

# EXEMPLES ET COMMENTAIRES

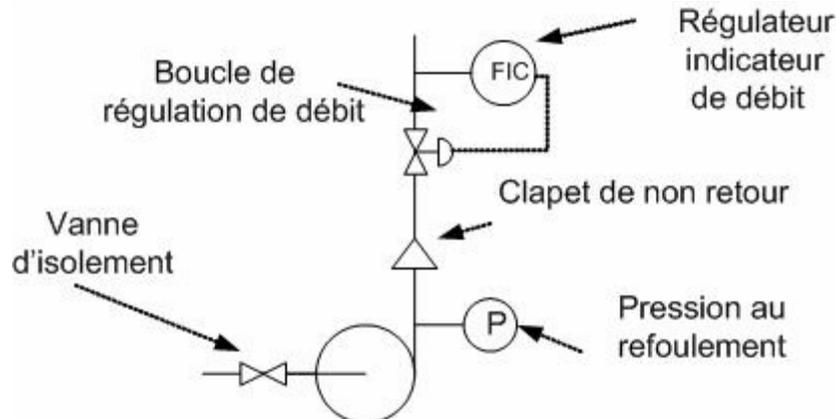
## MANUTENTION DES FLUIDES

### Pompe centrifuge



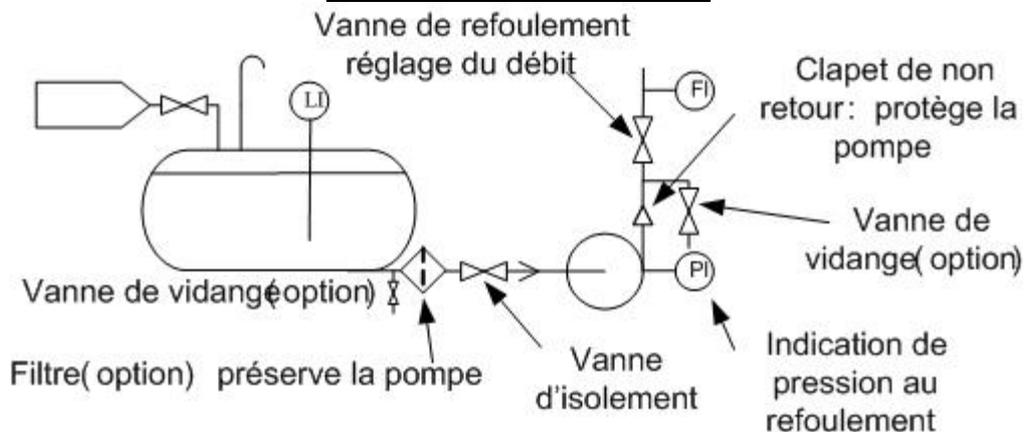
Il est nécessaire de pouvoir isoler la pompe et de la protéger avec un clapet de non retour, la pression au refoulement indique son bon fonctionnement.

### Pompe centrifuge avec boucle de régulation



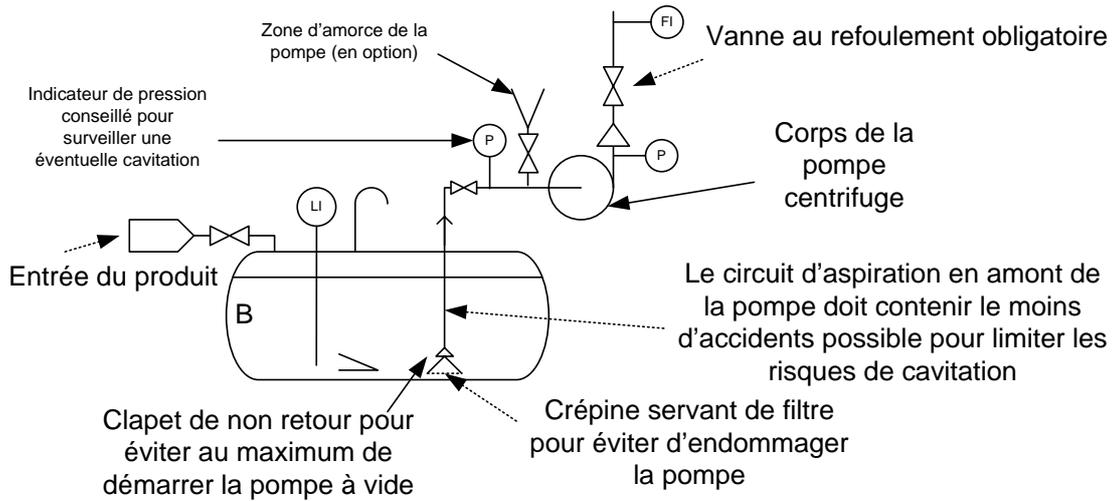
La boucle de régulation sur une pompe centrifuge se place au refoulement.

### Pompe centrifuge en charge

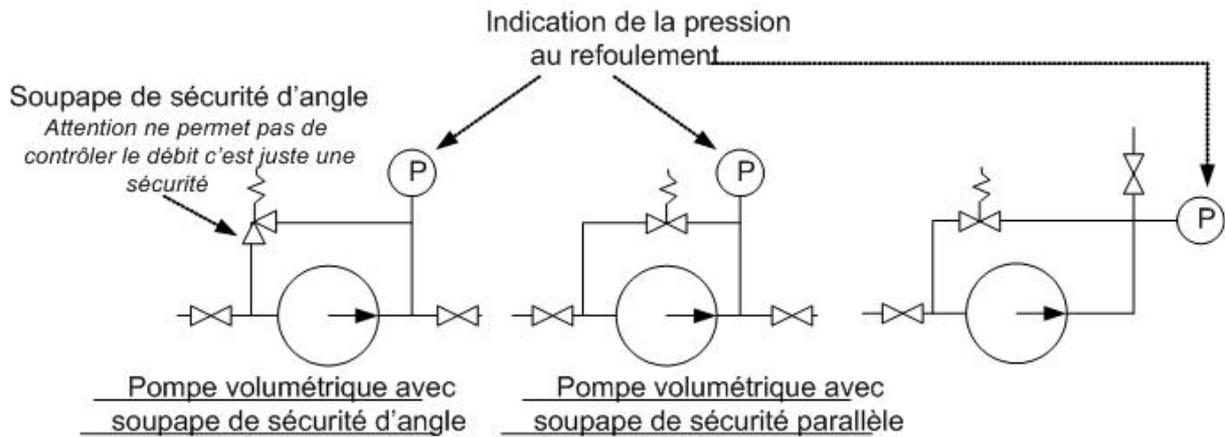


On trouve parfois des éléments optionnels tels que le filtre ou la vanne de vidange au refoulement.

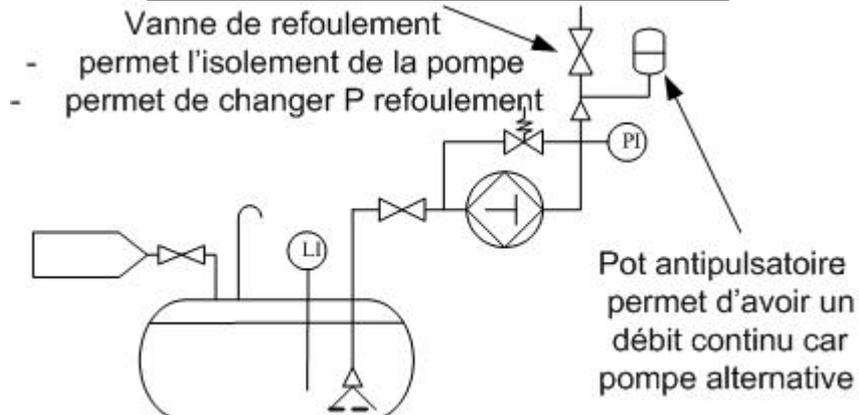
### Pompe centrifuge en aspiration



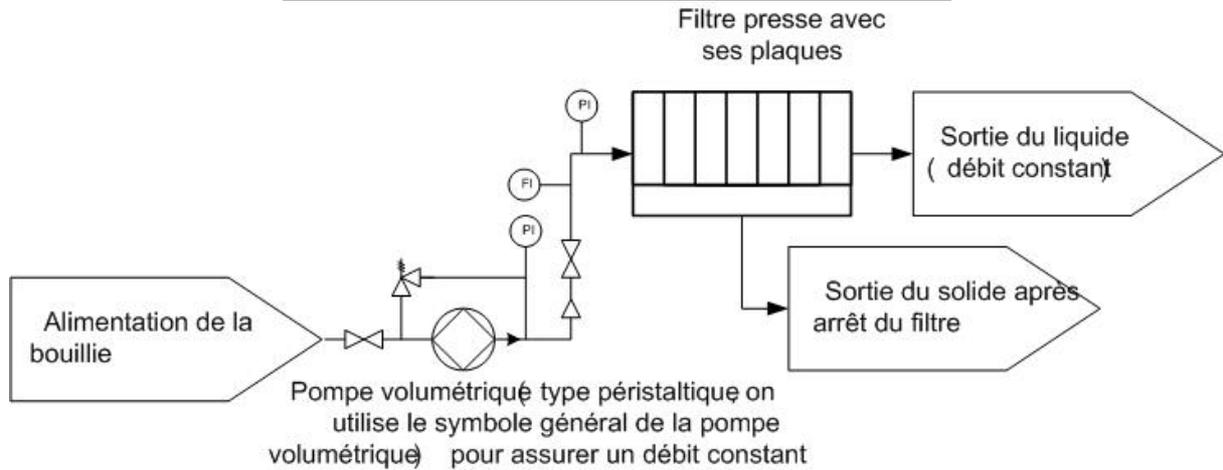
### Pompes volumétriques



### Pompe volumétrique alternative (à piston)

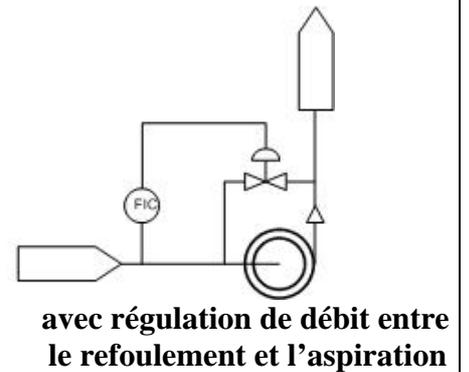
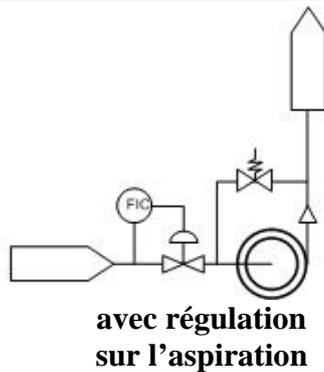
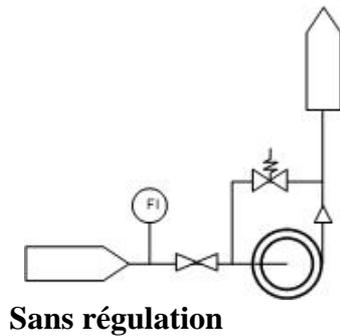


### Pompe volumétrique (rotative) pour filtre presse



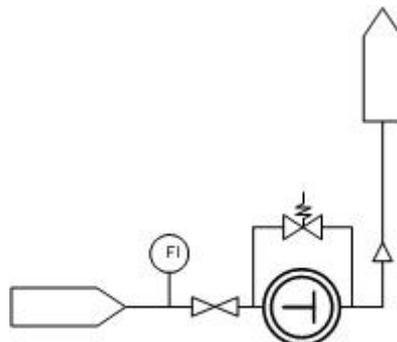
Une pompe volumétrique est nécessaire pour travailler à débit constant sur ce filtre presse

### Compresseur centrifuge



Les compresseurs centrifuges permettent d'introduire un gaz dans un appareil sous forte pression. Pour contrôler le débit, la vanne de régulation est disposée soit sur le circuit d'aspiration, soit en recyclage entre le refoulement et l'aspiration (cas le plus fréquent).

### Compresseur volumétrique

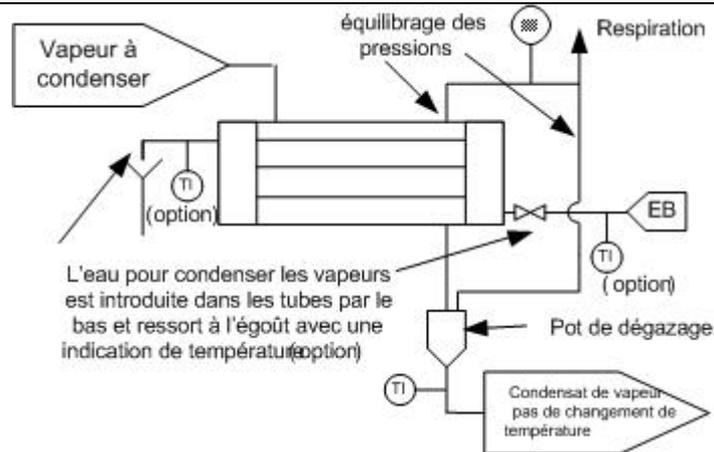


Les compresseurs volumétriques s'utilisent en général sans boucle de régulation. Le contrôle du débit se fait directement sur la pompe

## ECHANGEURS DE CHALEUR

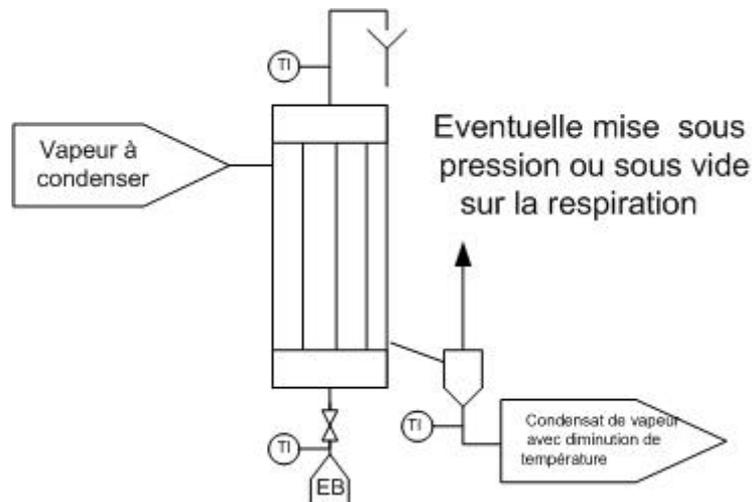
<u>Les échangeurs de type double enveloppe</u>	
	<p>Ce dispositif permet de <b>refroidir</b> la masse (intérieur du réacteur) par de l'eau brute.</p> <p>L'eau étant sous sa forme liquide rentre par le bas de la double enveloppe et sort par le haut afin de remplir tout l'espace.</p>
	<p><b>La vapeur</b> s'introduit par <b>le haut</b> de la double enveloppe afin d'en remplir tous l'espace. On indique en général la pression d'entrée à l'aide d'un instrument de mesure de pression P ou PI.</p> <p><b>Purgeur</b> : dispositif permettant d'augmenter la pression de la vapeur de chauffe à l'intérieur de la double enveloppe.</p> <p><b>Rque</b> : on peut associer sur un réacteur, si nécessaire, le chauffage et le refroidissement.</p>
<u>Le purgeur</u>	
	<p style="font-size: 2em; font-weight: bold;">OU</p> <p style="font-weight: bold; font-size: 1.2em;">Simplification du schéma d'un purgeur</p>
<p><b>Le système de purgeur est simplifié lorsque la purge libre n'est pas nécessaire (procédé en continu en particulier).</b></p>	

## CONDENSEUR SANS REFROIDISSEMENT



- **Les vapeurs à condenser** sont envoyées dans la calandre par le haut de l'échangeur.
- **La respiration** relie l'angle droit de la calandre avec le pot de dégazage pour équilibrer les pressions.
- **Le pot de dégazage** reçoit les condensats non refroidis. Il se comporte comme un séparateur et permet d'évacuer l'air vers la respiration générale.

## CONDENSEUR ATMOSPHERIQUE AVEC REFROIDISSEMENT

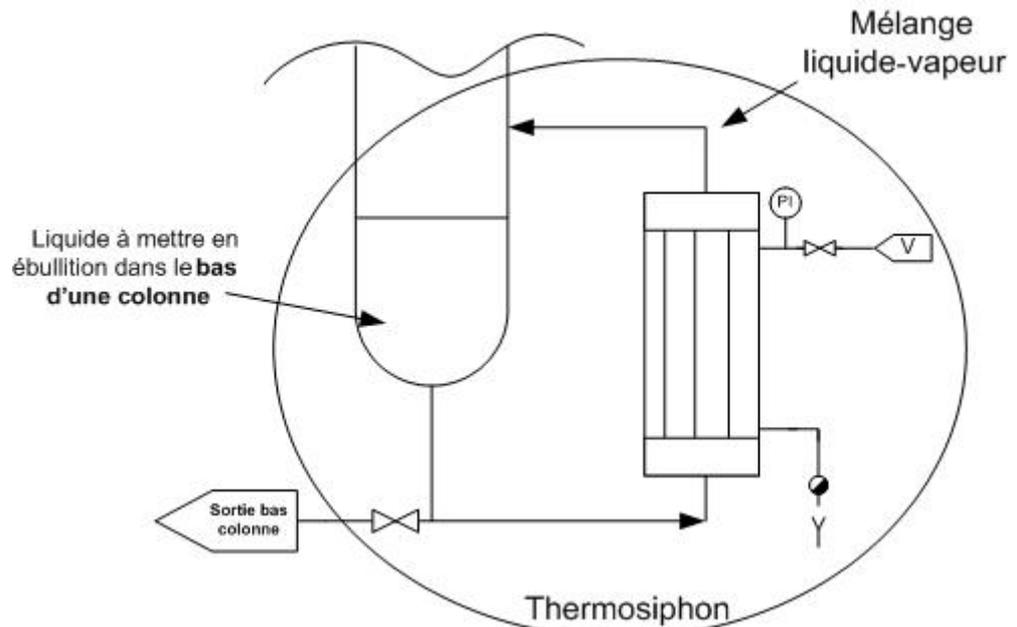


- **Les vapeurs à condenser** sont envoyées dans la calandre par le haut de l'échangeur.
- **La respiration** se place sur le pot de dégazage. On peut y disposer une mise sous pression ou sous vide.
- **Le pot de dégazage** reçoit les condensats non refroidis. Il se comporte comme un séparateur et permet d'évacuer l'air vers la respiration générale.

## BOUILLEUR EN THERMOSIPHON

*Volontairement aucune régulation n'est schématisée*

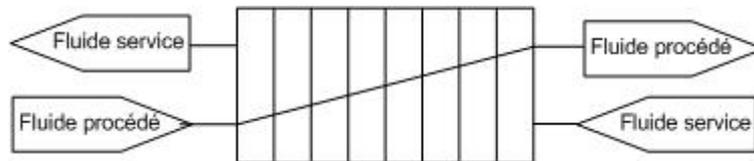
Ebullition d'un liquide passant dans les tubes par de la vapeur vive à l'extérieur.



Cet échangeur permet de **maintenir en ébullition un liquide** au fond d'une colonne.

- **La vapeur de chauffe** est envoyée par le haut de la calandre
- **Un purgeur** (simplifié) est placé en bas de la calandre
- **L'ébullition** s'effectue dans les tubes et permet d'entraîner le mélange vers la colonne.

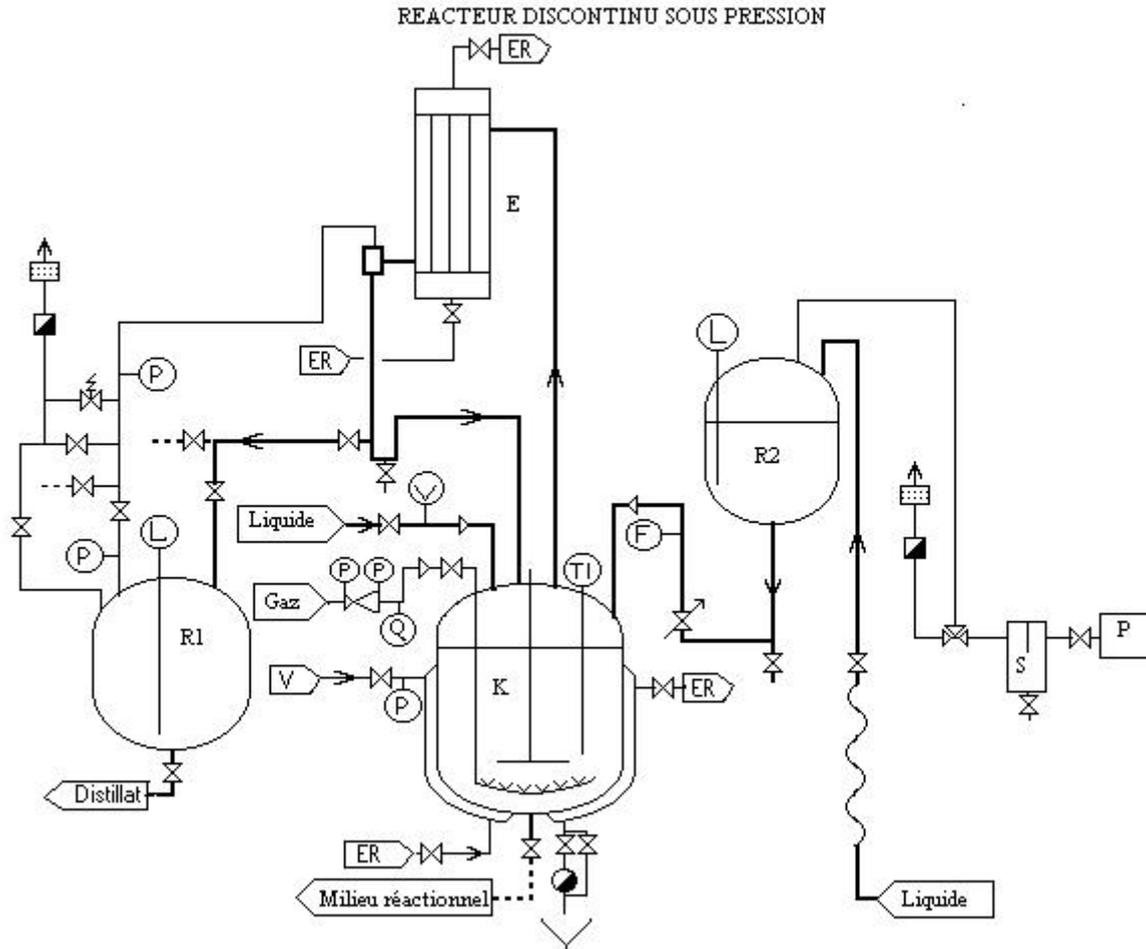
## ECHANGEUR A PLAQUES



- **Le fluide procédé** (celui que l'on veut refroidir ou chauffer) se place sur la ligne apparente.
- **Le fluide service** se place sur la ligne non apparente.

# LES DIFFERENTS REACTEURS

## Réacteur discontinu fonction sous pression



### Description de l'installation et commentaires

K : réacteur muni :

- d'une agitation dont la nature et la vitesse de rotation dépendent du milieu réactionnel ;
- d'une double paroi permettant un chauffage à la vapeur et un refroidissement.

La double paroi est d'autant moins efficace que le volume du réacteur est grand. Elle n'est donc pas adaptée aux réactions très exothermiques ou très endothermiques. L'évacuation de la chaleur peut alors être réalisée au niveau du condenseur E dont il suffira d'adapter la surface d'échange, en travaillant à ébullition.

Toutes les tubulures d'arrivées et de sorties des produits se font sur le couvercle du réacteur. La vidange du réacteur se fait par tube plongeur dans le cas de fortes pressions.

### Exemples d'utilisation:

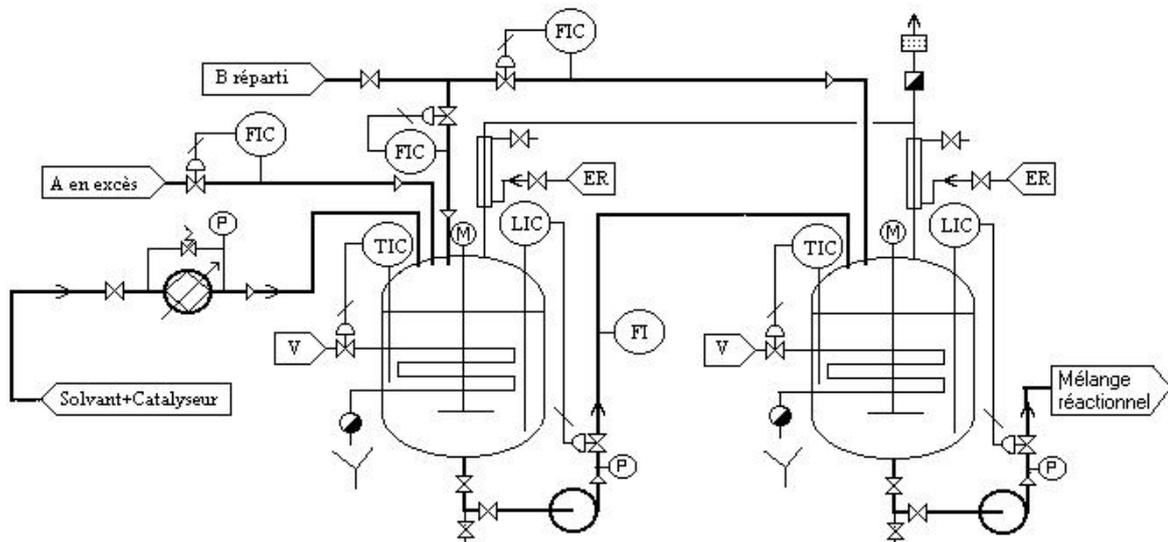
*Fonctionnement en autoclave* : la pression s'établit d'elle-même et dépend de la température et de la composition du milieu réactionnel. La pression peut donc varier puisque la composition du mélange réactionnel varie. L'augmentation de la pression permet de travailler à des températures plus hautes, donc d'augmenter la vitesse de réaction qui peut être très faible à ébullition sous pression ordinaire (exemple : saponification d'esters d'acides gras).

*Réaction mettant en jeu un réactif gazeux* (exemple : hydrogénateur) : la pression dans l'installation est réglée par le détendeur sur l'arrivée de gaz. Le gaz est dispersé sous l'agitateur et la pression permet d'augmenter la solubilité du gaz dans le milieu réactionnel.

*Utilisation de la pression pour le transfert du milieu réactionnel* : dans ce cas, l'arrivée du gaz sous pression se fera sur la respiration de l'appareil par un détendeur.

Dans tous les cas, une indication de la pression est nécessaire ainsi que **deux soupapes de sécurité** (une seule représentée).

### Réacteur continu en cascade



### Description de l'installation et commentaires

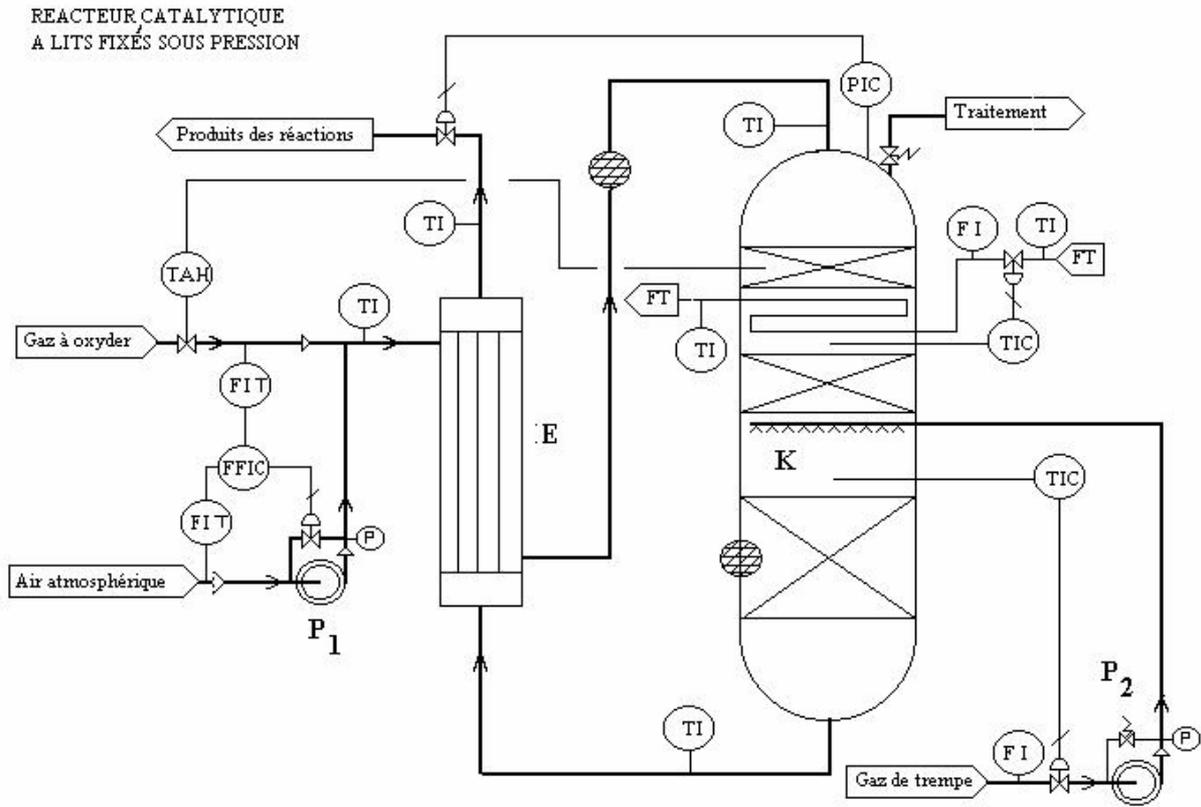
Cascade de deux réacteurs parfaitement agités. La réaction de A avec B est supposée de faible ou moyenne endothermicité. Elle est réalisée à chaud, la température est inférieure à celle d'ébullition.

La réaction en cascade étant en continu, on dispose plusieurs boucles de régulation pour permettre l'asservissement du procédé.

Les températures sont contrôlées par l'arrivée de vapeur circulant dans une épingle intérieure.

Une pompe permet la circulation entre le premier réacteur et le second, une boucle de régulation de niveau permet de contrôler le procédé. On procède de manière identique pour l'évacuation du mélange réactionnel final.

## Réacteur catalytique à lits fixes sous pression



### Principe

Le schéma correspond à une réaction d'oxydation en présence d'un catalyseur classiquement déposé sur un support inerte (exemple : grains d'alumine poreuse de granulométrie bien définie, permettant d'assurer une grande surface spécifique et sur lesquels le catalyseur et ses additifs seront déposés).

Le produit sous forme vapeur ou gaz provient d'une autre installation sous une pression supérieure avec un débit qui peut fluctuer.

L'air atmosphérique est filtré et injecté par un compresseur centrifuge (régulation de débit à l'aspiration du compresseur, au lieu du refoulement pour une pompe à liquide) à un débit proportionnel à celui du gaz à oxyder (régulation de proportion).

*Le schéma fait apparaître trois couches de catalyseur de hauteurs différentes séparées par des zones de refroidissement.*

La réaction d'oxydation étant exothermique, la température va augmenter lors du passage dans la couche de catalyseur. Ceci favorise la vitesse de réaction mais, si la réaction est non totale, diminue le taux de conversion à l'équilibre. Un fort taux de conversion souhaité (exemple : conversion du dioxyde de soufre en trioxyde de soufre) impose de travailler à des températures de plus en plus faibles dans les couches successives.

## Remarques

Sur ce schéma sont représentées deux variantes utilisées pour contrôler la température :

- **refroidissement indirect** par un échangeur de chaleur permettant de récupérer la chaleur de réaction et de refroidir les effluents entre deux couches de catalyseur. Le fluide thermique peut servir à produire de la vapeur d'eau dans une chaudière. On peut aussi utiliser directement de l'eau pour produire de la vapeur sous pression.
- **refroidissement direct** par un fluide de trempe (*quench*) pour un contrôle plus performant de la température.

**Le gaz de trempe** peut être l'un des réactifs ainsi recyclé, de la vapeur d'eau, un inerte. La présence d'un inerte permet d'abaisser la pression partielle des réactifs, ce qui dans certains cas, favorisera la réaction souhaitée ou limitera les réactions parasites, notamment celles qui endommagent le catalyseur.

Les gaz sortant du réacteur servent souvent à préchauffer les réactifs (échangeur E).

Les tuyauteries sont calorifugées, ainsi que le réacteur car les températures sont élevées.

Dans l'exemple donné, la régulation de pression se fait sur la sortie des gaz avec présence d'une soupape en cas de dépassement notable de la pression de service. Si la réaction pouvait s'emballer, il faudrait utiliser un disque d'éclatement qui, en cas d'utilisation, nécessiterait l'arrêt de la production, à la différence d'une soupape qui se referme lorsque la pression redescend.

## Régulation du débit sur les compresseurs centrifuges

La régulation du débit sur les compresseurs centrifuges se fait différemment des pompes centrifuges. On propose deux méthodes dans cet exemple :

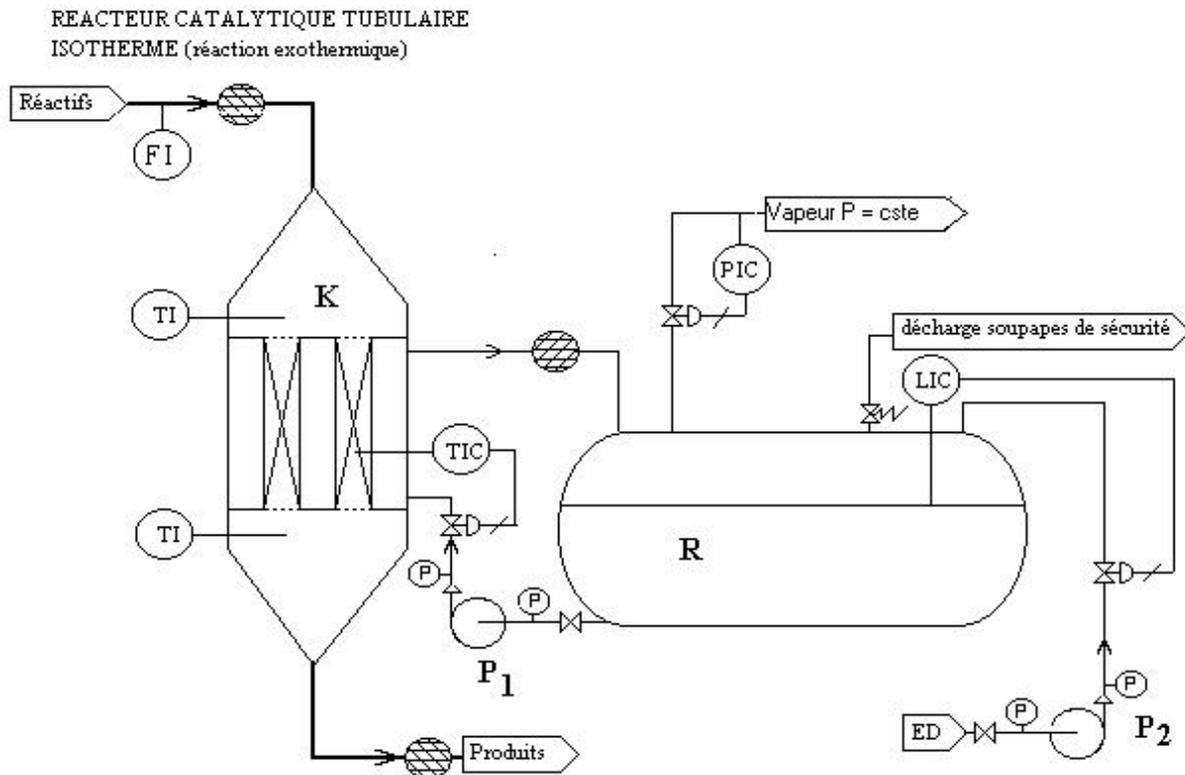
*Pour l'air atmosphérique entrant :*

- **Une vanne de régulation reliant le refoulement à l'aspiration** qui permet d'orienter le flux d'air à l'entrée de la roue du compresseur. Cette méthode est la meilleure car elle permet une augmentation de la plage de réglage qui est maintenant comprise entre environ 55 et 100 %. En dehors de cet intervalle, la régulation est prise en charge en général par une vanne by-pass (non représentée) et un rejet à l'atmosphère (non représenté) du surplus d'air comprimé qui constitue, là encore, une perte énergétique importante.

*Pour le gaz de trempe entrant :*

- **Une vanne de régulation sur l'aspiration** qui permet une régulation entre 70 % et 100 % de la capacité du compresseur. En dessous de 70 %, il n'est plus possible de réduire la section d'entrée du gaz de trempe sous peine d'entrer dans la zone de pompage. Ce système de régulation devient donc très peu performant énergétiquement en dessous de 70 % de production, mais permet une régulation fine de la pression :  $\pm 0,1$  bar.

## Réacteur catalytique tubulaire isotherme



### Principe

L'exemple concerne une réaction exothermique.

Les gaz circulent de haut en bas pour un lit fixe (ceci évite d'entraîner des poussières), dans les tubes remplis avec une masse donnée de catalyseur. Celui-ci est en général fixé sur un support poreux inerte à forte surface spécifique (souvent de la silice) sous formes de billes par exemple.

Les réactifs sont en général préchauffés avant d'entrer dans le réacteur.

L'ensemble est calorifugé. Les produits de la réaction peuvent servir à préchauffer les réactifs. Le temps de passage est en général très court. Les réactions concernées sont, soit rapides avec fort taux de conversion, soit plus lentes mais avec des réactions parasites que l'on veut éviter. De l'eau provenant d'une chaudière permet de maintenir la température dans le réacteur à peu près constante.

Ceci permet de produire de la vapeur d'eau sous pression dont la valeur conditionnera l'usage (chauffage moyenne ou basse pression, entraînement de pompes, de compresseurs ou de turbines d'alternateurs).

La réaction ne doit pas être trop exothermique, ni comporter des risques d'emballement en cas de température trop élevée, car il serait difficile d'assurer un refroidissement régulier dans les zones à fort taux de conversion (donc forte exothermicité) sans éviter de points chauds.

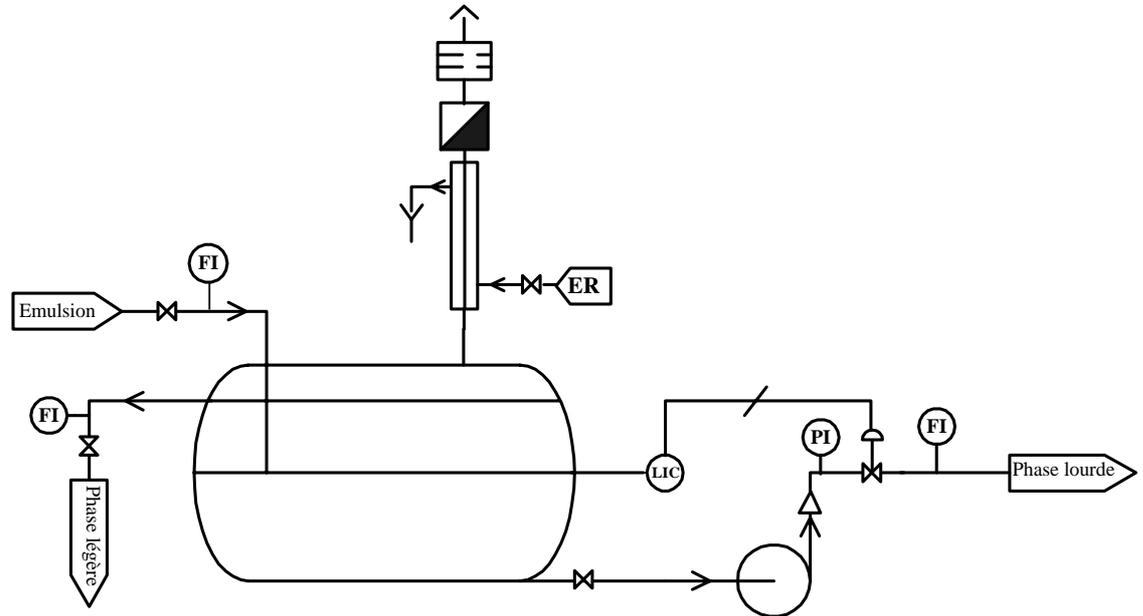
La chaudière est équipée de sa régulation de niveau à partir d'eau déminéralisée, d'une régulation de pression et de soupapes de sécurité.

Pour des réactions endothermiques, on utilisera une circulation d'un fluide thermique chauffant.

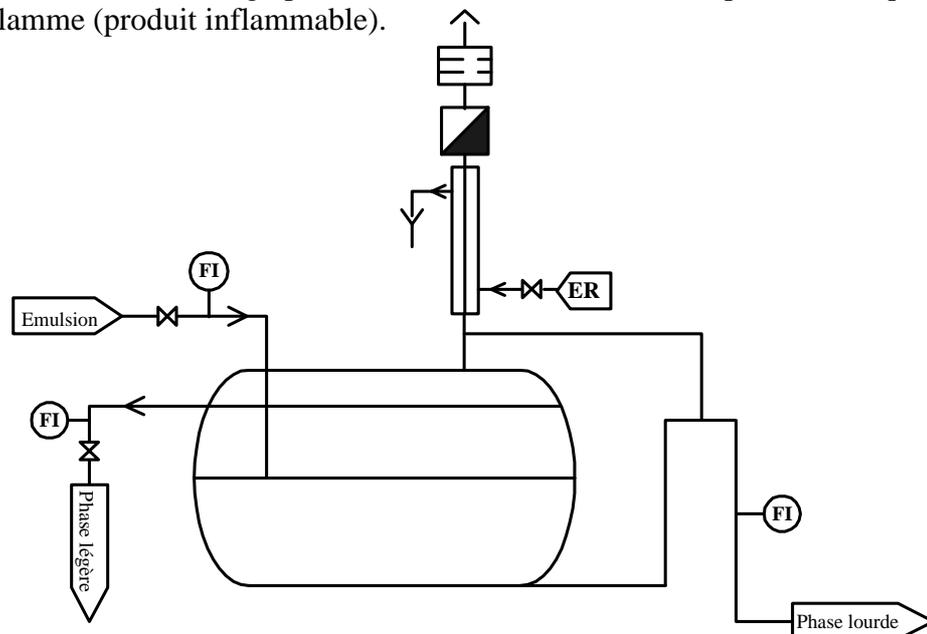
# LES APPAREILS DE SEPARATION

## Décanteurs continus

Nous ne donnerons comme exemples que des décanteurs continus. Pour une décantation en discontinu, il suffit d'utiliser un réacteur simple muni d'une lunette de coulée.



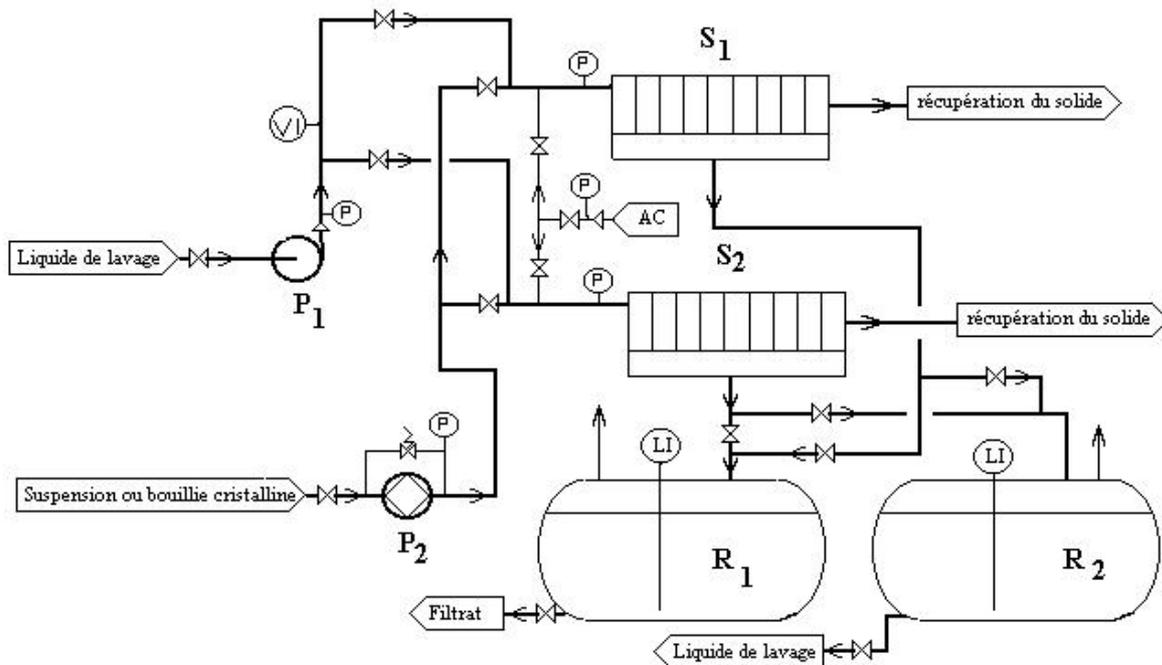
- Arrivée de l'émulsion au niveau de l'interface.
- Sortie de la phase légère par débordement et de la phase lourde par l'intermédiaire d'une pompe centrifuge, équipée, munie d'un régulation de niveau au refoulement.
- Respiration munie d'un Liebig (produit volatil), d'un absorbeur (produit toxique) et d'un arrêt flamme (produit inflammable).



- Arrivée de l'émulsion au niveau de l'interface.
- Sortie de la phase légère par débordement et de la phase lourde par l'intermédiaire d'un siphon relié à la respiration pour équilibrer la pression et faciliter l'écoulement.
- Respiration munie d'un Liebig (produit volatil), d'un absorbeur (produit toxique) et d'un arrêt flamme (produit inflammable).

## Filtres presses montés en parallèle

ENSEMBLE DE FILTRES PRESSES  
MONTES EN PARALLELE



**Le filtre-presse** est le filtre sous pression, polyvalent par excellence, d'où sa longévité. Un modèle automatisé permet d'éviter le débatissage manuel du gâteau. Son fonctionnement est semi-continu.

### **Principe de fonctionnement :**

L'alimentation continue en suspension à filtrer impose de travailler avec au moins deux filtres.

L'alimentation en bouillie est assurée ici par une pompe volumétrique fournissant la pression suffisante. On peut aussi utiliser une pompe centrifuge avec un rotor ouvert adapté à la suspension.

Sont prévues :

- l'arrivée de la suspension sur un filtre jusqu'au remplissage du filtre avec le solide avec récupération du filtrat ;
- l'essorage avec injection par exemple d'air comprimé ;
- le lavage avec un solvant approprié (quantité totale imposée) avec récupération du liquide de lavage séparément du filtrat ;
- nouvel essorage ;
- éventuellement d'autres lavages et essorage ;
- débatissage du filtre, récupération du gâteau, lavage des poches filtrantes ;
- remontage.

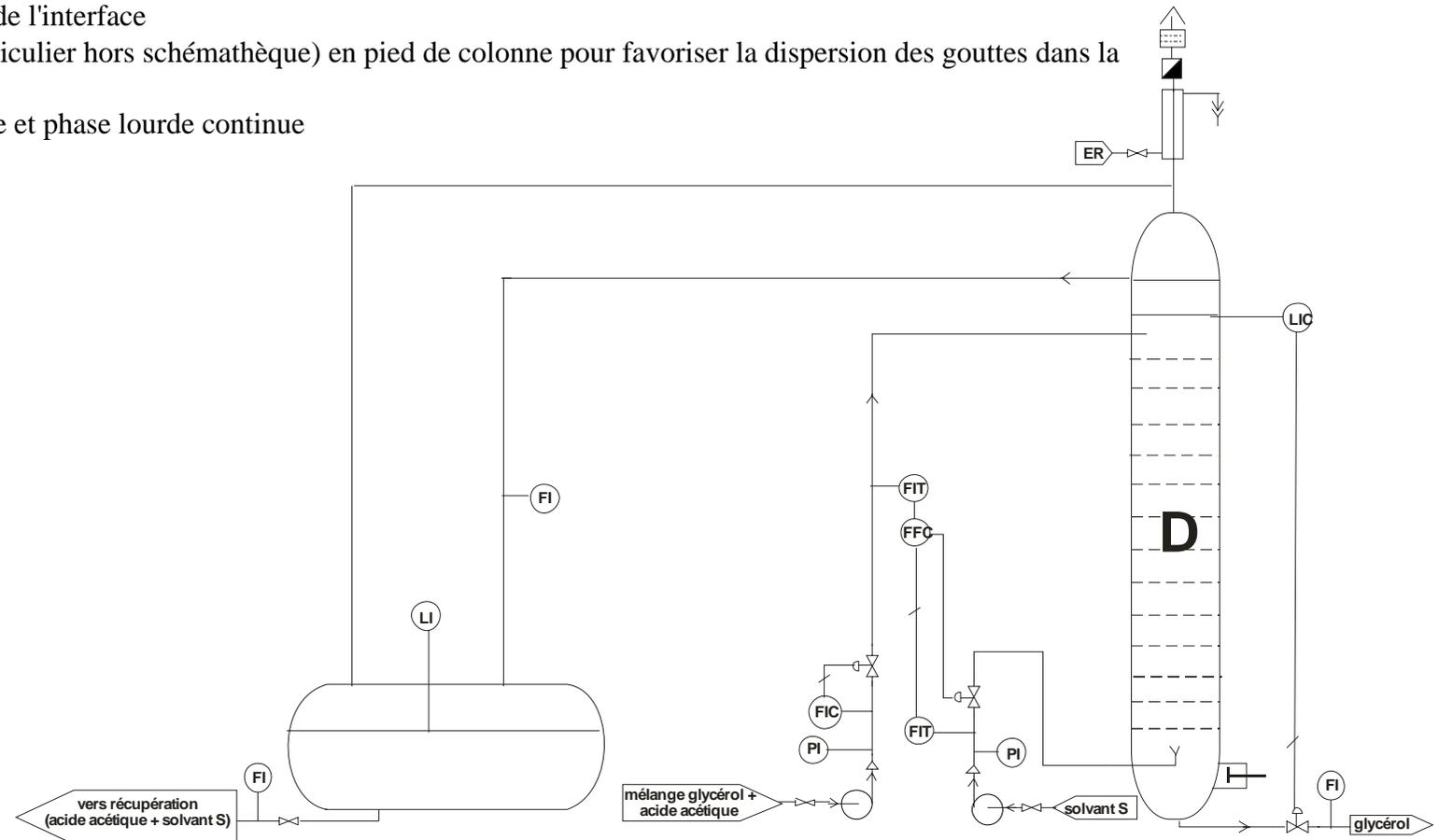
Les cycles des différents filtres sont décalés pour assurer une alimentation continue.

## EXTRACTION LIQUIDE LIQUIDE

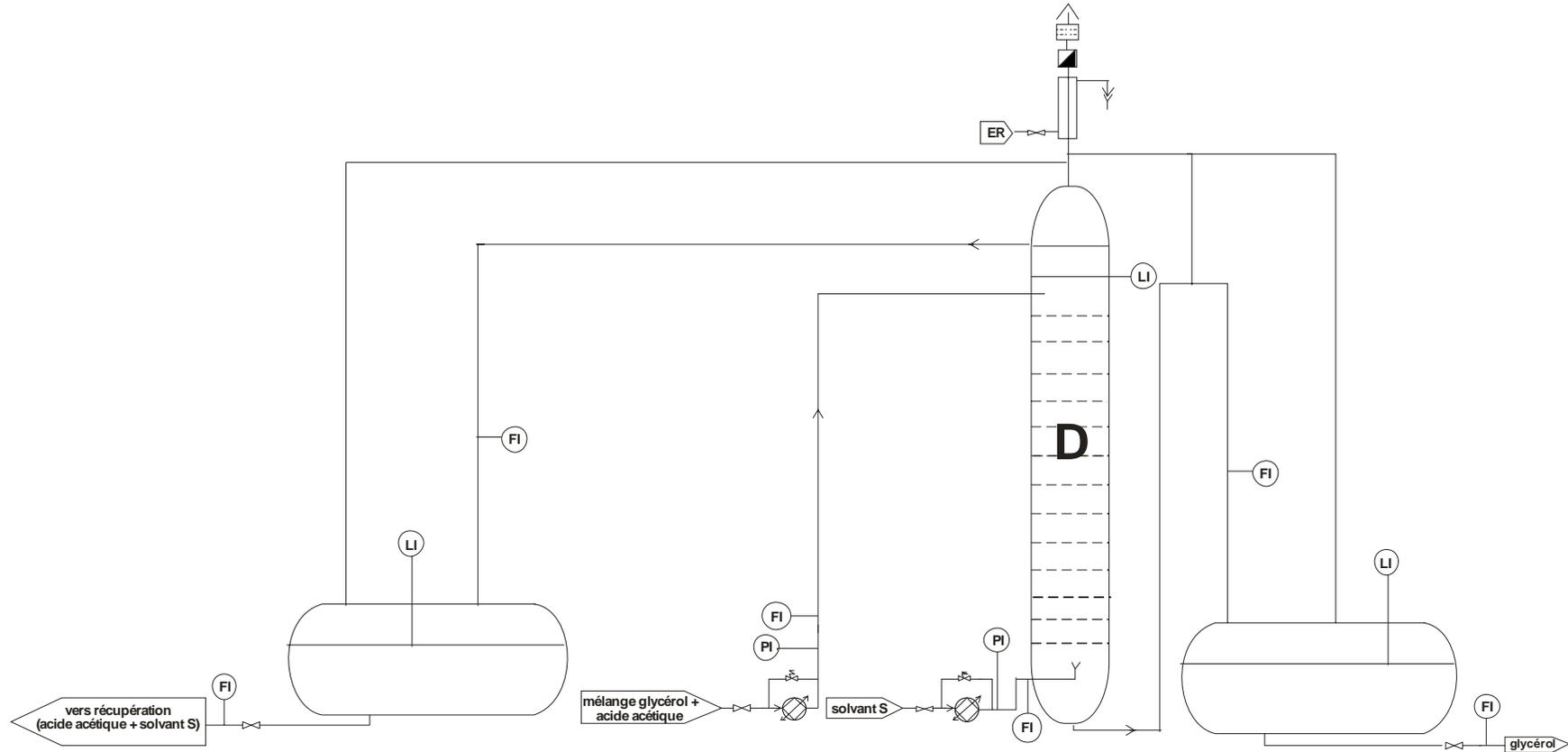
### Exemple 1 : Purification du glycérol en solution aqueuse contenant de l'acide acétique par un solvant S

L'acide acétique est un produit secondaire de la fabrication du glycérol.

- colonne à plateaux D avec zone de décantation en tête de colonne
- équilibrage des pressions en tête de colonne
- régulation de rapport pour adapter le débit de solvant S en fonction de l'alimentation en solution aqueuse de glycérol
- la colonne D est surdimensionnée pour éviter les risques possibles d'engorgement si le débit de produit à traiter varie
- régulation du niveau de l'interface
- pulseur (symbole particulier hors schémathèque) en pied de colonne pour favoriser la dispersion des gouttes dans la phase continue
- phase légère dispersée et phase lourde continue

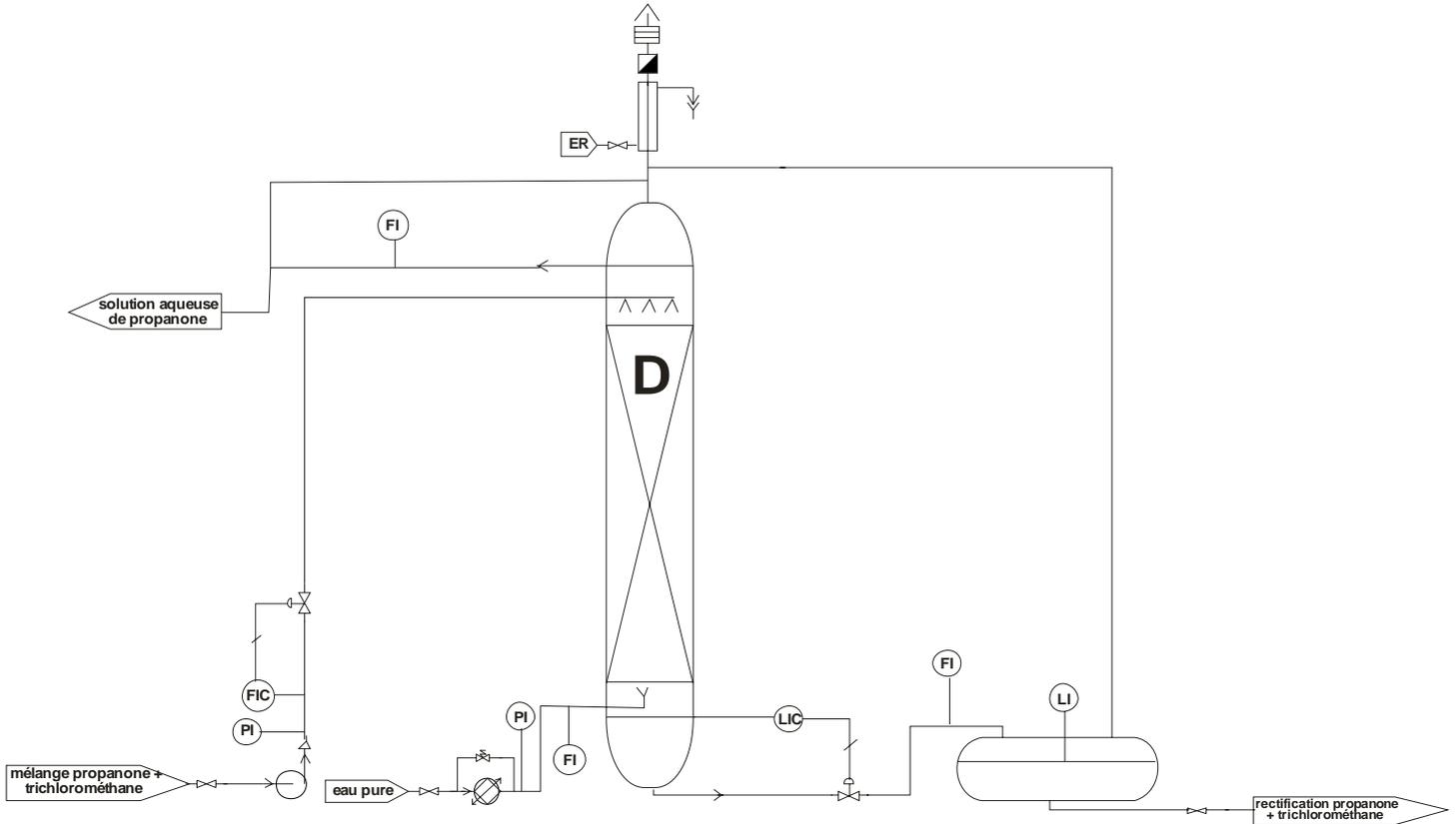


## Exemple 2 : Purification du glycérol en solution aqueuse contenant de l'acide acétique par un solvant S



- colonne à plateaux D
- utilisation de pompes doseuses volumétriques pour l'alimentation en solvant S et l'alimentation en solution aqueuse de glycérol
- réglage du niveau de l'interface par un système mécanique type florentin; la présence de nombreuses gouttes de phase légère dans la phase continue modifie notablement la densité de la phase continue, donc les calculs que l'on peut faire avec un florentin où les deux couches sont séparées ne sont plus valables. Dans le cas de ces constituants, la sortie de phase lourde peut s'effectuer en dessous du niveau de l'interface

### Exemple 3 : Extraction liq-liq de la propanone contenu dans du trichlorométhane par de l'eau



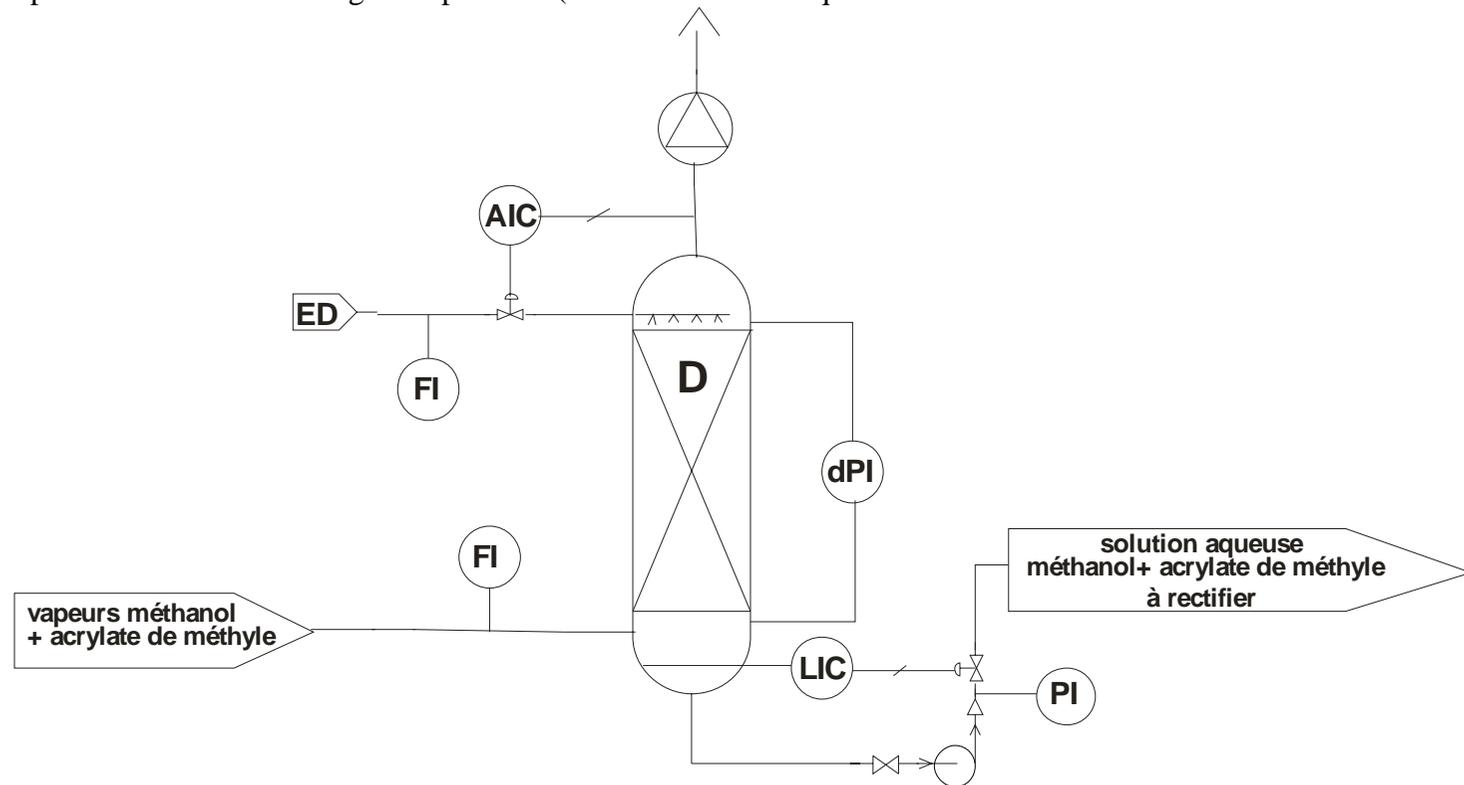
- colonne à garnissage D avec zone de décantation (interface) en pied de colonne: le trichlorométhane phase dispersée est plus dense que l'eau. La phase aqueuse est la phase continue dans la colonne.
- équilibrage des pressions en tête de colonne
- alimentation du solvant eau par pompe doseuse
- régulation de débit pour l'alimentation en mélange à traiter
- régulation du niveau de l'interface

## ABSORPTION

### Exemple 1 : Condensation de méthanol et d'acrylate de méthyle dans une colonne d'absorption

Le but de la colonne D est ici d'obtenir des gaz purifiés en sortie

- colonne à garnissage avec régulation de niveau en pied de colonne D
- asservissement du débit d'eau à l'analyse des gaz en sortie.
- ventilateur permettant de placer la colonne D en légère dépression (cela diminue les risques d'éventuelles fuites vers l'extérieur car les

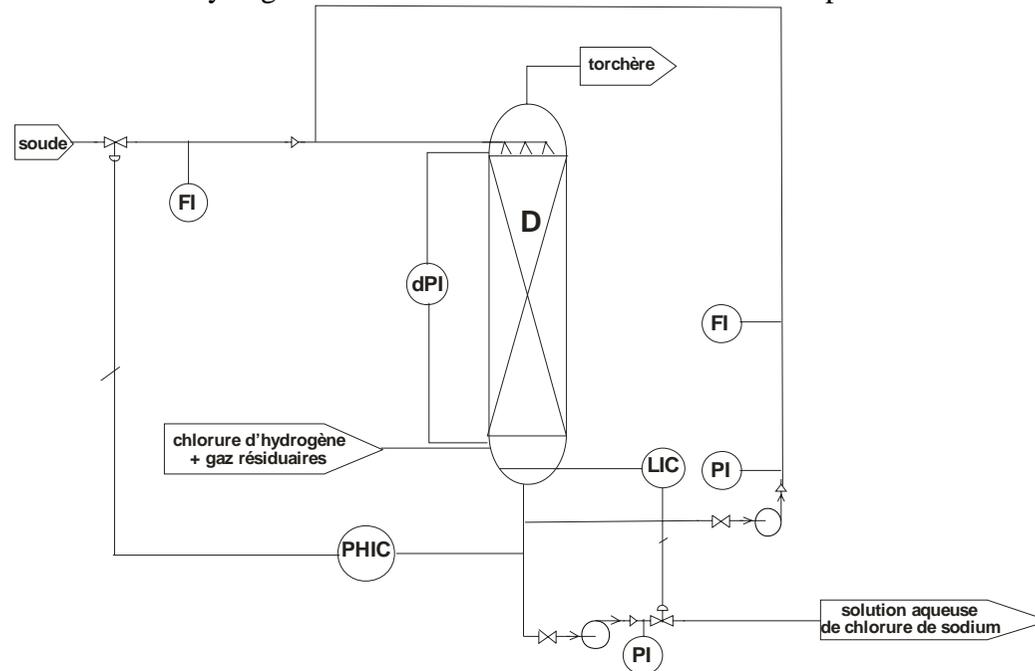


produits sont toxiques).

## Exemple 2 : Neutralisation du chlorure d'hydrogène par une solution de soude dans une colonne d'absorption (version 1)

La concentration en chlorure d'hydrogène est faible; on récupère une solution saline en pied de colonne D.

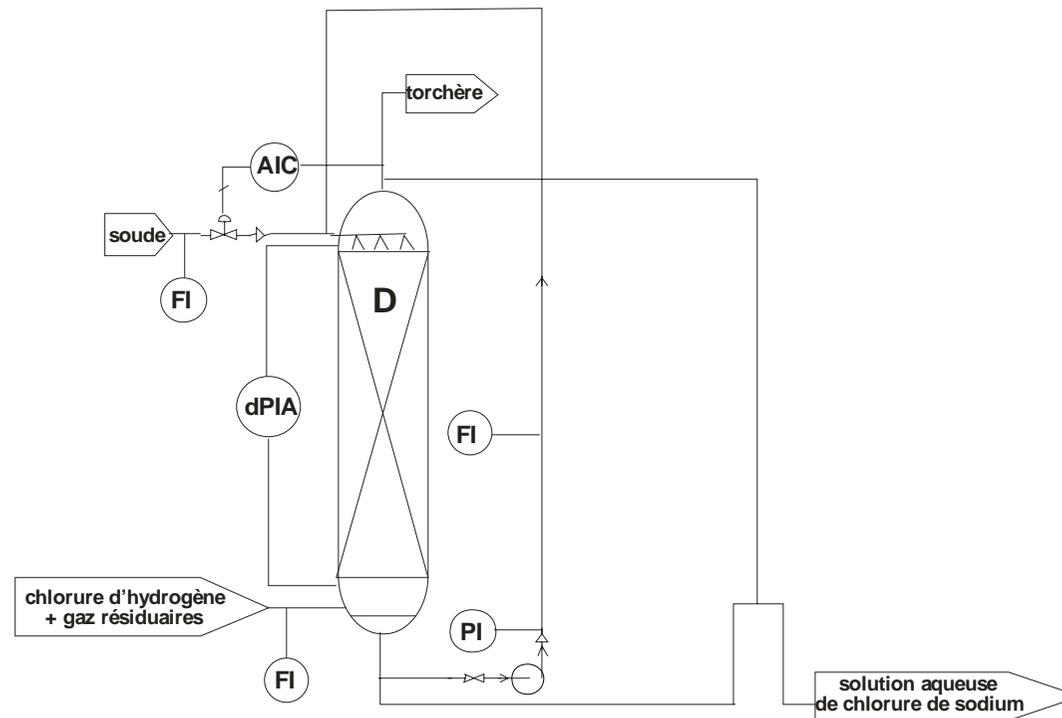
- colonne à garnissage avec régulation de niveau en pied de colonne D
- gaz résiduaux dirigés vers une torchère en sortie de colonne D
- neutralisation par la soude du chlorure d'hydrogène
- régulation de pH en pied de colonne fixant le débit de soude
- comme il y a peu de chlorure d'hydrogène dans les gaz, le débit de lessive de soude sera faible et le taux d'arrosage de la colonne D sera insuffisant. Il faut donc assurer un fort recyclage de la solution venant du fond de colonne pour la concentrer en sel.



### Exemple 3 : Neutralisation du chlorure d'hydrogène par une solution de soude dans une colonne d'absorption (version 2)

La concentration en chlorure d'hydrogène est faible; on récupère une solution saline en pied de colonne D.

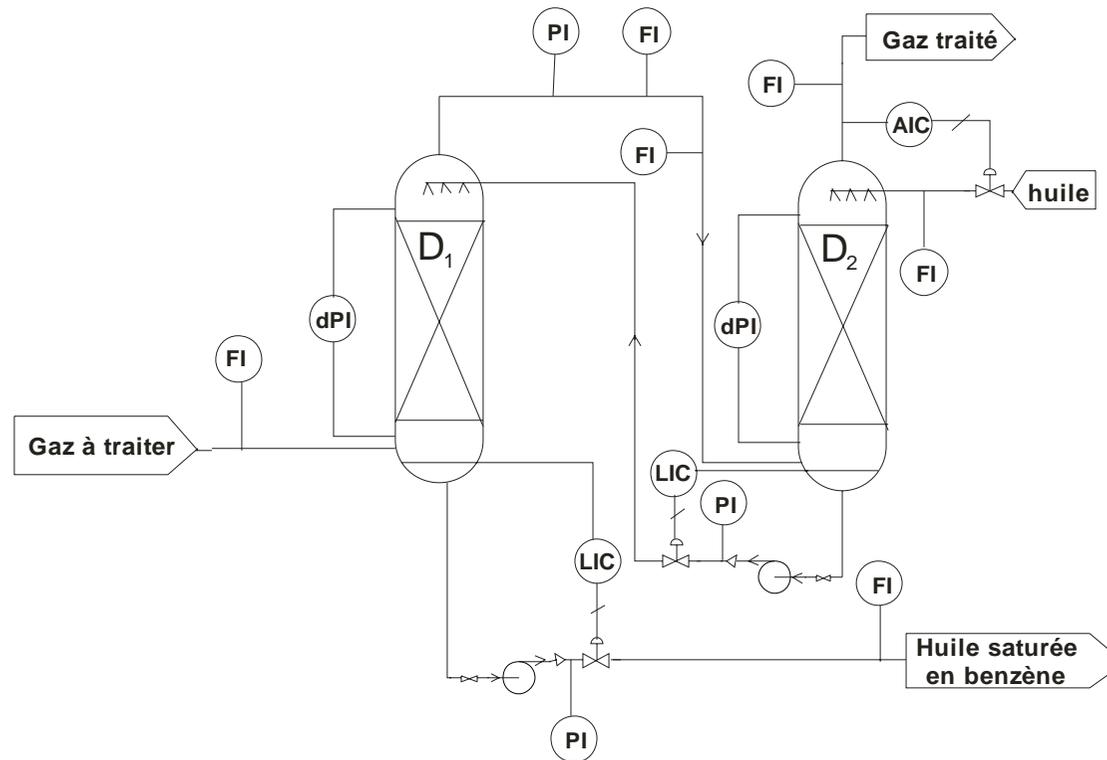
- colonne à plateaux
- contrôle de la concentration (analyse des gaz) en chlorure d'hydrogène résiduaire par action sur le débit de soude
- alarme sur la pression différentielle de colonne pour signaler l'engorgement de la colonne D
- recyclage de la solution en pied de colonne D
- neutralisation par la soude du chlorure d'hydrogène: solution évacuée par un siphon en pied de colonne D



### Exemple 4 : Absorption du benzène contenu dans un gaz par une huile dans deux colonnes d'absorption

Dans ce cas industriel, la hauteur d'une seule colonne ne pouvait être compatible avec les dimensions de l'atelier.

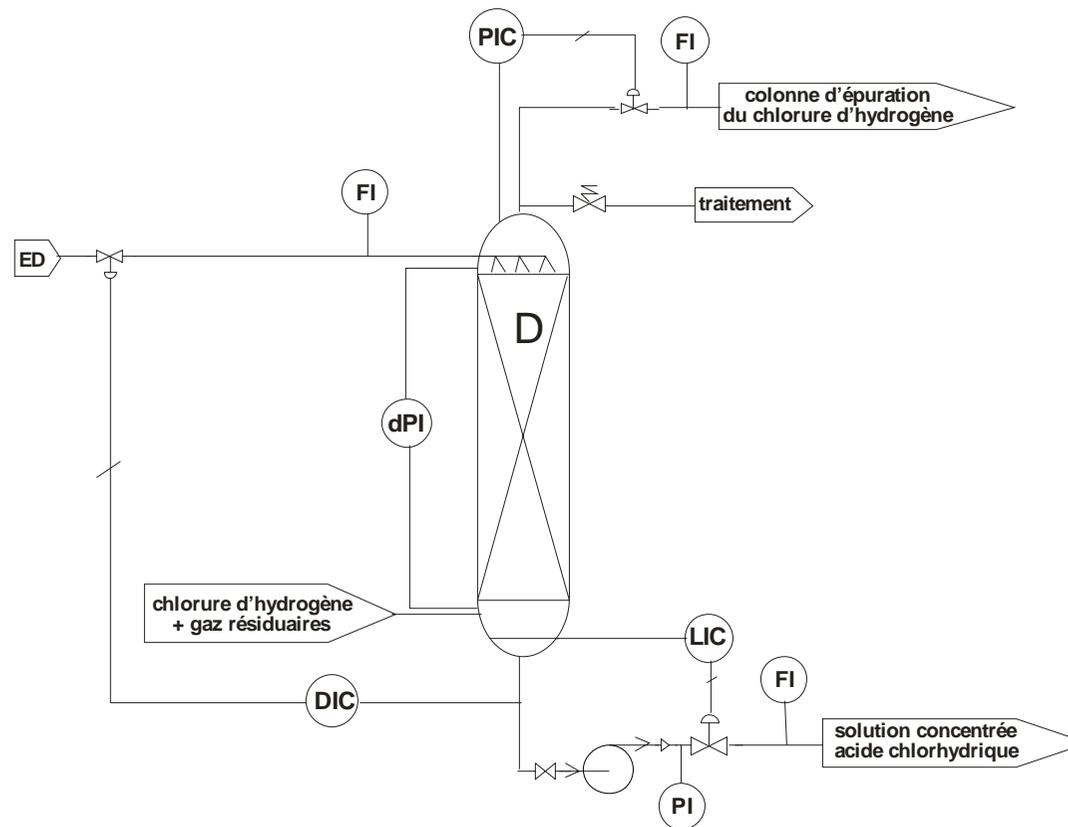
- colonnes à garnissage: absorption dans deux colonnes en série  $D_1$  et  $D_2$  avec contre-courant huile – benzène dans le procédé.
- régulations de niveau en pieds de colonne
- contrôle de la concentration (analyse du gaz) en benzène résiduaire par action sur le débit d'huile



## Exemple 5 : Fabrication d'une solution commerciale d'acide chlorhydrique dans une colonne d'absorption sous pression

La concentration en chlorure d'hydrogène est importante; on en profite pour fabriquer une solution commerciale concentrée d'acide chlorhydrique.

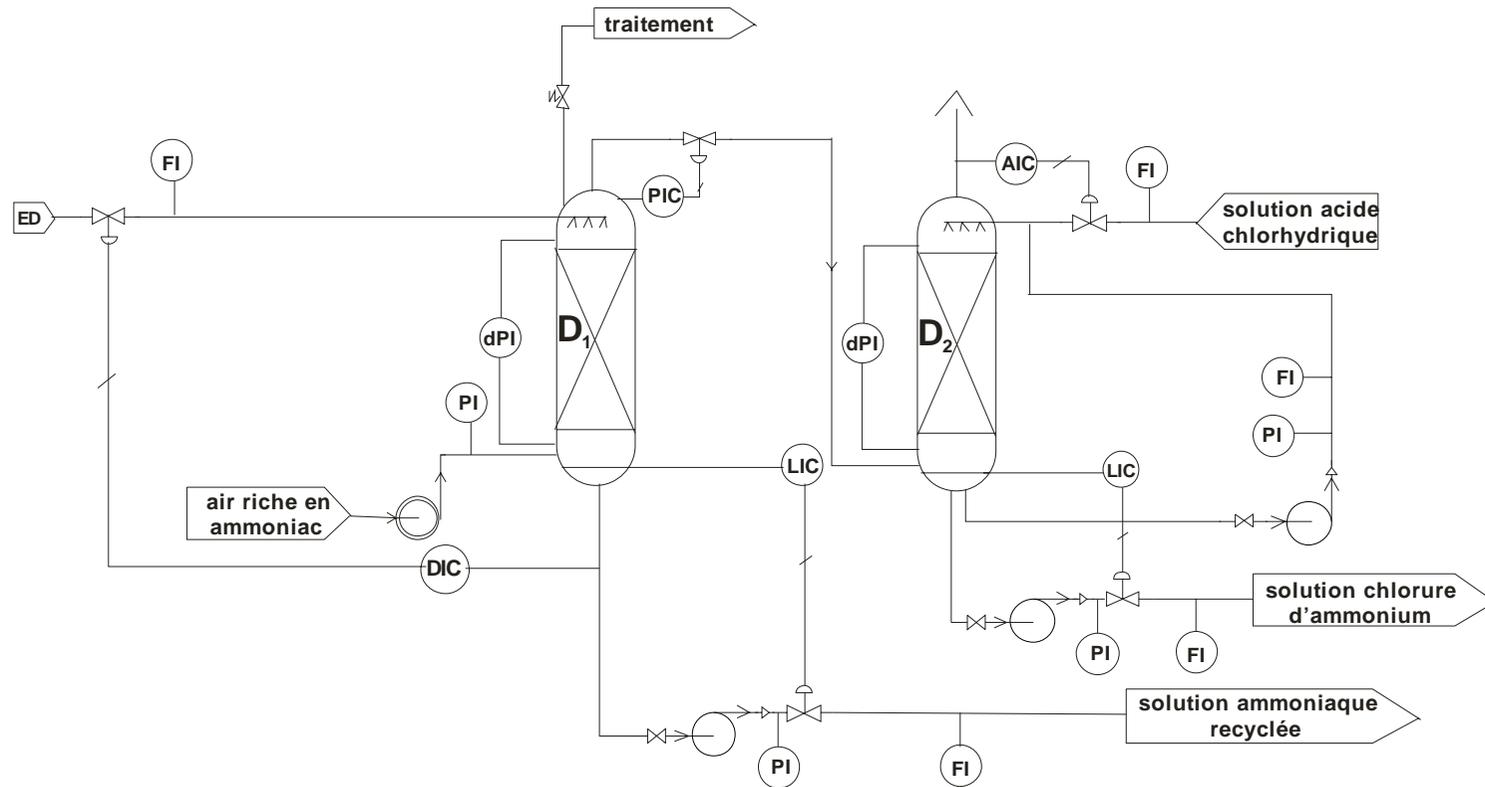
- colonne à garnissage D avec régulation de niveau en pied de colonne
- régulation de densité en pied de colonne fixant le débit d'eau
- régulation de pression en tête de colonne



## Exemple 6 : Absorption de l'ammoniac contenu dans l'air avec deux colonnes à garnissage

La concentration en gaz ammoniac est importante; on récupère dans la première colonne  $D_1$  sous pression de l'ammoniaque réutilisé dans l'usine et on épure le gaz dans la seconde colonne  $D_2$  par neutralisation avec une solution d'acide chlorhydrique

- recyclage de la solution en pied de la colonne  $D_2$
- régulations de niveau en pieds de colonnes
- asservissement du débit d'eau à la densité en pied de la colonne  $D_1$
- asservissement du débit de solution d'acide chlorhydrique à l'analyse des gaz en sortie de la colonne  $D_2$



## **RECTIFICATION**

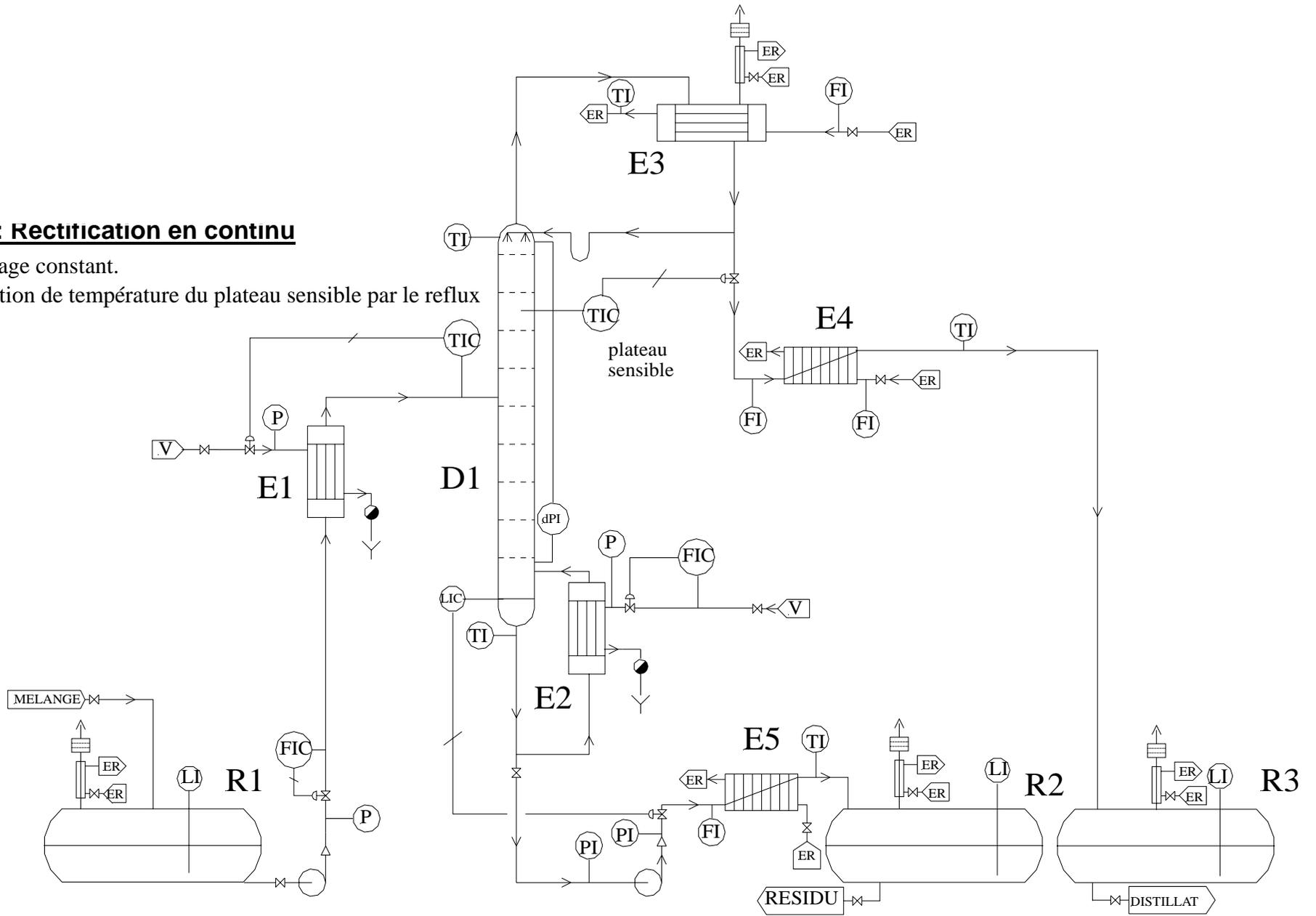
### **Exemple 1 : Rectification en continu**

- Rectification à la pression atmosphérique d'un mélange normal de constituants volatils et inflammables.
- Colonne à plateaux.
- Alimentation :
  - Par pompe centrifuge, débit régulé.
  - Préchauffage à la vapeur d'eau dans un faisceau tubulaire, température régulée.
- Régulation de la pression différentielle de colonne par le chauffage au bouilleur (bouilleur de type faisceau tubulaire monté en thermosiphon, chauffage assuré par condensation de vapeur saturée).
- Condenseur de type faisceau tubulaire (pas de régulation de la température de sortie du condensat)
- Reflux et recette de distillat assurés par une pompe centrifuge montée en charge sur un stockeur de recette à niveau constant.
- Régulation de la température du plateau sensible (situé par exemple dans le tronçon d'enrichissement) par le reflux
- Régulation du niveau en pied de colonne (soutirage par pompe centrifuge).
- Refroidissement du distillat et du résidu dans des échangeurs à plaques ( pas de régulation de la température de sortie du distillat ou du résidu).
- Stockage du distillat et du résidu.



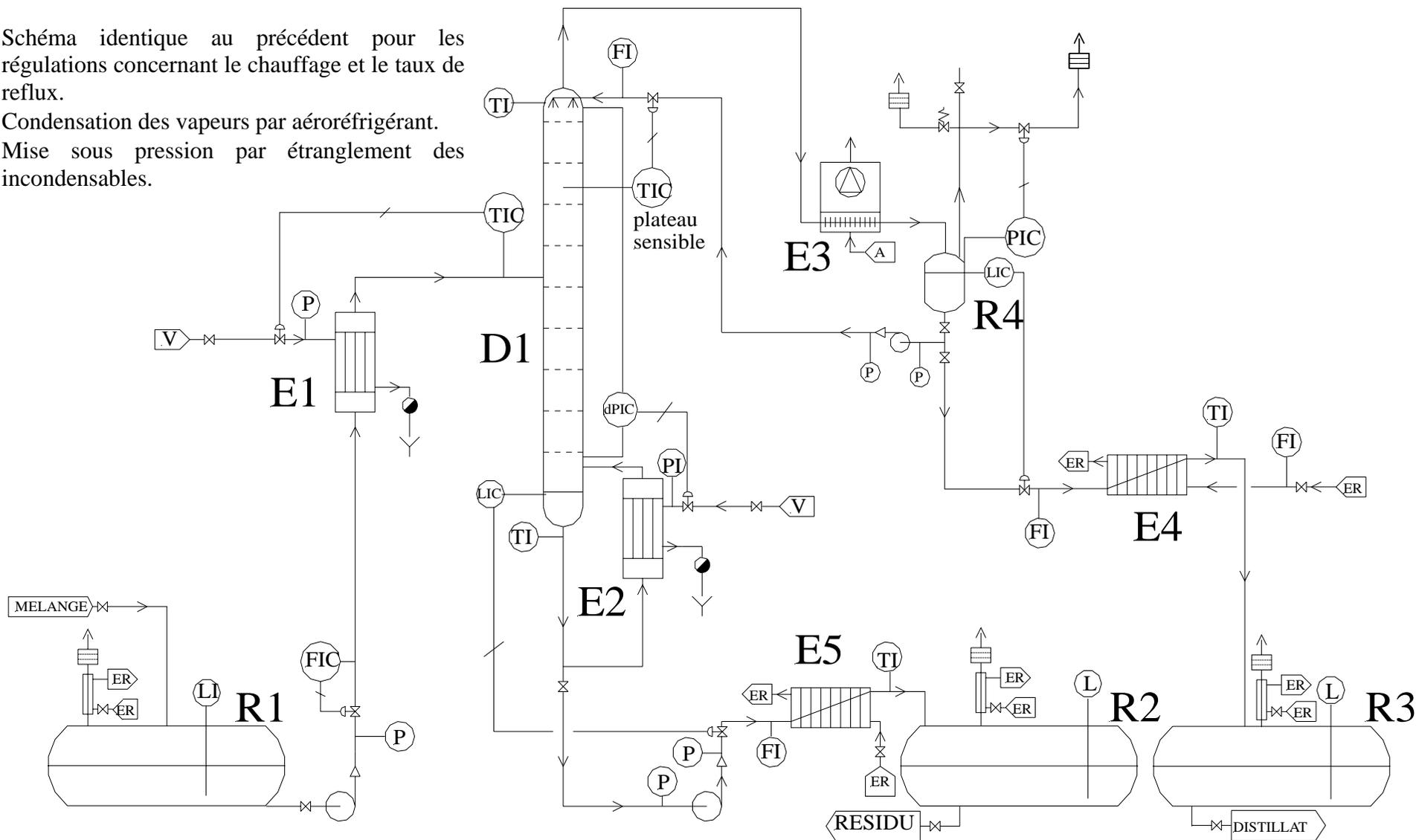
## Exemple 2 : Rectification en continu

- Chauffage constant.
- Régulation de température du plateau sensible par le reflux



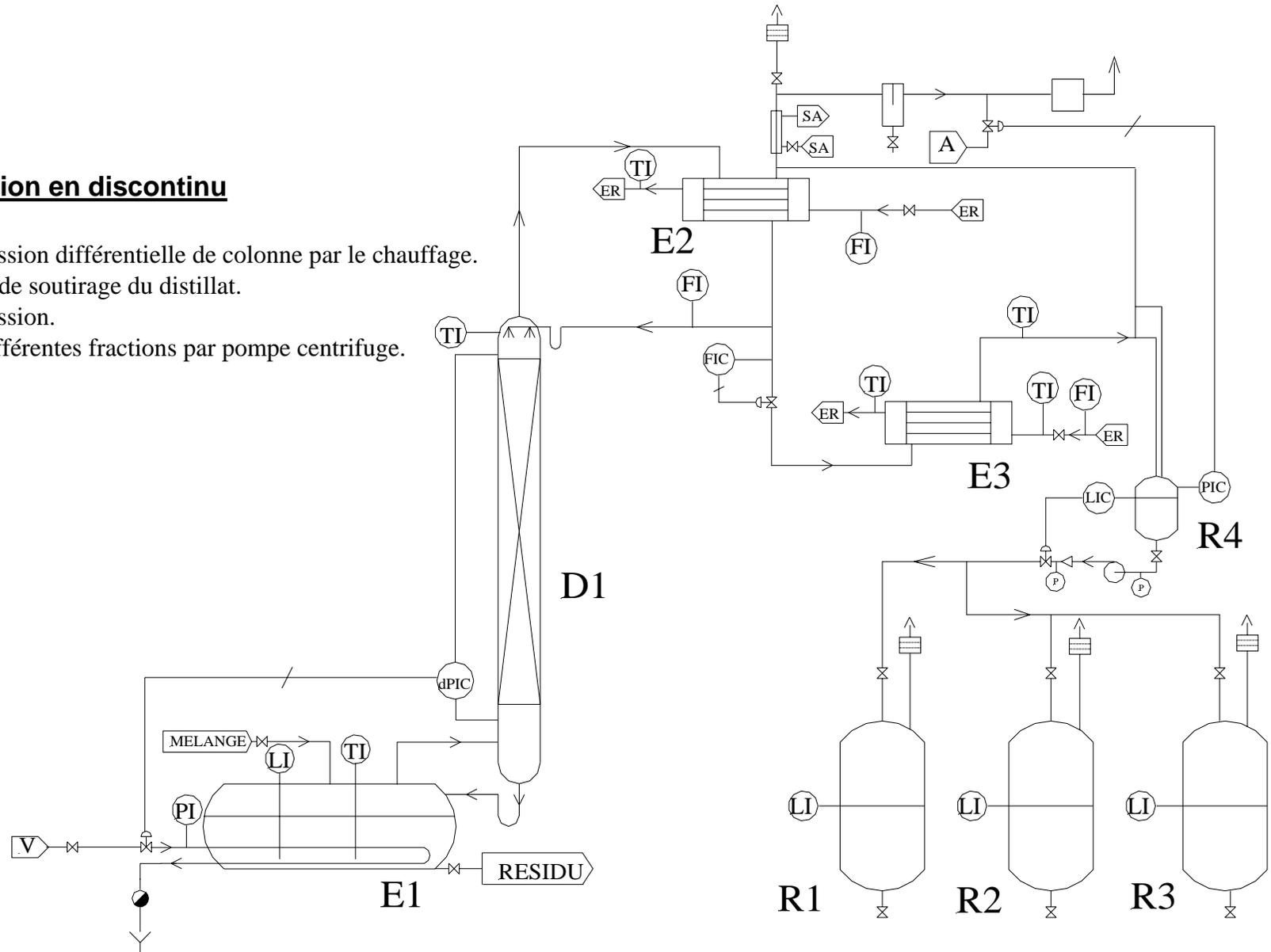
### Exemple 3 : Rectification en continu sous pression

- Schéma identique au précédent pour les régulations concernant le chauffage et le taux de reflux.
- Condensation des vapeurs par aéroréfrigérant.
- Mise sous pression par étranglement des incondensables.



### Exemple 4 : Rectification en discontinu

- Régulation de la pression différentielle de colonne par le chauffage.
- Régulation du débit de soutirage du distillat.
- Régulation de la pression.
- Récupération des différentes fractions par pompe centrifuge.



### **Exemple 5 : Rectification azéotrope à pression atmosphérique**

- Rectification d'un mélange EAU- BUTANOL
- Le mélange à séparer, stocké en citerne, alimente la première colonne par l'intermédiaire d'une pompe doseuse. Il subit un premier préchauffage dans un échangeur qui permet le refroidissement du butanol soutiré en pied de cette colonne. Le mélange est ensuite amené à la température d'introduction dans un échangeur de type faisceau tubulaire chauffé à la vapeur d'eau.
- La première colonne est à plateaux, équipée d'un bouilleur à faisceau tubulaire monté en thermosiphon. La pression différentielle de colonne est régulée par le chauffage.
- Le soutirage du butanol est effectué par pompe centrifuge, le butanol après refroidissement est stocké en citerne.
- La deuxième colonne est à garnissage et chauffée à la vapeur vive, on régule la température de la zone comprise entre les deux tronçons de garnissage.
- Les vapeurs émises en tête des deux colonnes sont dirigées vers un condenseur de type faisceau tubulaire, le condensat est décanté dans un florentin, la couche la moins dense constitue le reflux de la première colonne, la couche dense le reflux de la deuxième colonne.

EXEMPLE N°5

Rectification azéotropique

Mélange butanol-eau

