

وزارة التربية الوطنية  
MINISTERE DE L'EDUCATION NATIONALE

ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات  
BIBLIOTHEQUE — المكتبة  
Ecole Nationale Polytechnique

DEPARTEMENT *Génie Chimique*

# PROJET DE FIN D'ETUDES

SUJET

*Remise en état de la colonne  
de  
rectification E.I.V.S*

Proposé par :

**M<sup>r</sup> BÉNIOUDIR**

Etudié par :

**MOKHTARI Brahim**

Dirigé par

**M<sup>r</sup> BÉNIOUDIR**

PROMOTION

*Juillet 1993*

## SOMMAIRE

INTRODUCTION .....

### I/ PARTIE THEORIQUE

- 1.1/ Description générale de la colonne .....
- 1.2/ Méthodes de distillation .....
- 1.2.1/ Méthodes de distillation simple .....
- 1.2.2/ Méthodes de rectification .....
- 1.3/ Rappel des lois générales d'électrotechnique ..
- 1.3.1/ Equipement de forces motrices .....
- 1.3.2/ Moteurs asynchrones triphasés .....
- 1.3.2.1/ Principe .....
- 1.3.2.2/ Fonctionnement .....
- 1.3.2.3/ Vitesse de rotation .....
- 1.3.2.4/ Bilan de puissance .....
- 1.3.2.5/ Problème de démarrage .....
- 1.3.2.6/ Contraintes de cahier de charge  
                des équipements de l'installation

### II/ PARTIE EXPERIMENTALE :

- II.1/ Les réparations faites sur l'unité .....
- II.1.1/ Circuit d'alimentation .....
- II.1.2/ Pompe à vide.....
- II.1.3/ L'armoire de contrôle  
                et de régulation.....
- II.1.4/ Stabilisateur de température.....
- II.1.5/ Tête de reflux.....

11.1.6/ Circuit de réfrigération  
(fermé et ouvert).....

11.2/ Les études qui peuvent être réalisées par l'unité

11.2.1/ Courbe (T,X,Y) .....

11.2.1.1/ Mélanges normaux .....

11.2.1.2/ Mélanges homogènes anormaux ....

11.2.1.3/ Mélanges hétérogènes .....

11.2.2/ Notion d'efficacité .....

11.2.2.1/ Mécanismes d'interaction  
liquide-vapeur.....

11.2.2.3/ Facteurs influençants  
l'efficacité d'un plateau.....

11.2.2.4/ Influence des paramètres  
physico-chimiques.....

11.2.3/ Notion de perte de charge .....

11.3/ Mode de fonctionnement de l'installation .....

CONCLUSION .....

## DEDICACES

- A mes parents ,
- A mon frère Mohammed ,
- A la mémoire du professeur Mr BOURKIZA ,
- A la mémoire de tous mes frères ,
- A tous ceux qui me sont chers ,

Je dédie ce travail .

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail , je tiens à remercier vivement mon promoteur Mr BENIDDIR pour les conseils qu'il m'a prodigés durant mon travail .

Je remercie également le Président du Jury :  
Madame DERRICHE et tous les autres membres :  
Madame MEZIANI.  
Mlle BENNANI.  
Mr BENFEDDA.  
Qui ont accepter de juger ce modeste travail .

J'adresse l'expression de ma reconnaissance à tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce projet trouvent ici l'expression de ma profonde gratitude .

## INTRODUCTION :

Le but de notre travail est la remise en état de l'unité de rectification (colonne + accessoires) .

Nous étions confrontés à des problèmes d'électromécanique ; problème des principes de fonctionnement , ... (par exemple les électrovannes , ...) qui sont indispensables à tout ingénieur en génie chimique , il est aussi recommandé à tout technicien ou ingénieur en génie chimique voulant faire une maintenance ou la conception d'un appareil de connaître les lois d'électricité qui régit le mécanisme de fonctionnement de tel appareil , pour cette raison , juste après la description générale de l'installation , nous avons ajouté une partie rappel des lois d'électrotechniques afin de se familiariser avec le vocabulaire d'électrotechnique.

Nous avons souhaité approfondir jusqu'au relais électrique thermique et électronique et mieux comprendre le système de régulation et de protection des différents appareils traités .

Juste après la partie des travaux et réparations faites sur la colonne de rectification , nous avons jugé nécessaire d'introduire la partie des études qui peuvent être réalisés par cette unité . Car à travers ces études , on peut organiser soit des travaux pratiques , ou soit proposer des sujets de projets .



## PARTIE THEORIQUE

### I.1/ DESCRIPTION DE LA COLONNE

#### I/ GENERALITES :

La colonne de distillation E.l.V.S est une colonne de distillation continue de diamètre  $\phi$  100 mm et de hauteur 9 m , a commandes régulières , cette unité comporte 18 plateaux à calotte et permet l'étude d'un type de fractionnement , de chaînes de régulation et peut fonctionner sous pression atmosphérique ou sous vide poussé (pression réduite 5 torrs) elle est entièrement réalisée en verre spécial S73201 et Teflon (cf fig.1 page 20).

#### II/ LES COMPOSANTS DE L'UNITE :

##### 1/ Circuits d'alimentation :

Le remplissage du ballon d'alimentation en charge de capacité 50 litres est assuré par une pompe centrifuge en verre située sur le sol à travers une :

- canalisation de  $\phi$  15 mm munie de robinets d'isolement , les deux autres canalisations liant le ballon de charge à la colonne forment un tube en U liée par :
- un débitmètre avec robinet de réglage poiteau .

Une branche de canalisation provient de la partie inférieure du ballon d'alimentation permettant ainsi la descente de la charge par gravité,...l'autre branche de canalisation transmet la charge en continue au :

- préchauffeur : tout verre , à serpent, une fois la charge



chauffée à la température désirée , elle alimentera la colonne par trois niveaux d'alimentation possibles . Chaque niveau est muni de robinet d'isolement ; ces trois niveaux correspondent aux :

- épuisement maximum - réctification nulle .
- mi-colonne .
- rectification maximum , epuisement nul .

Schéma du circuit d'alimentation (cf fig.2 page 22).

2/ Colonne 100 mm :

- Les plateaux calottes :

Il existe plusieurs types de plateaux à calottes , mais on les distingue par le nombre de calottes , leur construction , et leur disposition sur le plateau .

Les plateaux admettent de larges variations de débits dont en gardant une bonne efficacité ; ils se prettent bien aux traitements des liquides chargés d'un peu de solides ; leur inconvenient est leur perte de charge interne élevée et leur contenu appréciable de liquide (hold-up) .

La valeur élevée de la perte de charge est un desavantage majeur pour les distillations sous vide poussé et la forte capacité du liquide retenu par les plateaux constitue un inconvenient pour la netteté des coupes lorsque l'on rectifie en discontinu la capacité de traitement des plateaux à calottes liée à l'entraînement des gouttes de liquide , ce qui réduit l'efficacité de séparation .

La colonne E.I.V.S est constituée de 18 plateaux ( (+) un plateau pour le rebouilleur ) de rectification sont en teflon et se composent de deux (02) calottes . Le teflon ou le polytetrafluor-

rethylene est un matériau d'une excellente tenue à chaud et d'une résistance pratiquement totale à la corrosion ; il rend de grand service au laboratoire là où aucun autre matériau ne donnerait satisfaction . Il se présente comme une matière blanche à surface lisse et propre , non poreuse et hydrofuge, ne s'encrassant pas et se nettoyant facilement , il n'absorbe pas l'humidité sa résistance mécanique est bonne ; C'est un matériau autolubrifiant qui autorise le glissement sur d'autres matériaux sans l'emploi d'aucune graisse ou huile lubrifiante . La température d'emploi peut atteindre couramment 200°C , et monte jusqu'à 250°C . Toutes les propriétés expliquent son utilisation dans les appareils à distiller et notamment dans les colonnes à plateaux .

- Chaque plateau est équipé d'une prise d'échantillon hypodermique en phase liquide et vapeur .
- entre chaque plateau , une entretoise avec tubulaire pour prise de température .
- le schéma n° 4 : représente une coupe latérale du plateau muni de ses deux calottes , ce qui permet de voir l'emplacement de ses derniers tout en respectant leur dimension .
- Ce schéma n° 5 : montre également une coupe latérale du plateau mais cette fois-ci il est dépourvu de ses calottes .

Cette figure représente un schéma de taille de deversoir et du vis à tête qui sert aux prélèvements .

Le schéma n° 6 est une coupe transversale du plateau avec tous ses éléments , cette vue de dessus montre la disposition des deux calottes , du deversoir et de deux vis à tête , sur le plateau .

Les deux vis à tête servent pour les prélèvements d'échantillons l'un pour la phase liquide , l'autre pour la phase vapeur .

### 3/ Les échangeurs thermiques :

Dans les échangeurs thermiques le transfert de chaleur entre les deux fluides se fait par convection et conduction plusieurs expériences montrent que la présence de films laminaires de part et d'autre de la paroi ainsi que la déposition des couches (cas de réacteur chimique) introduit des résistances à l'échange du même ordre de grandeur que la résistance de la paroi proprement dite .

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{h_i A_i} + \frac{x_v}{K_v A_v} + \frac{1}{h_o A_o} + \left( \frac{R_o}{A_o} + \frac{R_i}{A_i} \right)$$

$R_o$  ,  $R_i$  : résistance des couches déposées sur les parois externes .

$h_i$  : se calcule de  $h_i d/k = 0,023 (d^4 \rho / \mu)^{0,8} (c_p \mu / k)^{0,4}$

or :  $h_i$  (spirale) =  $h_i$  (tube) \* (1 + 3.J d/dc)

d :  $\phi$  intérieur du tube .

dc :  $\phi$  du spirale .

$h_o$  : dépend des propriétés physiques du liquide et de l'agitation.

$h_o$  : se calcule de :

$$\frac{h_o d}{k} (\mu_s / \mu)^{0,14} = 0,87 (c_p \mu / k)^{1/3} (L^2 N \rho / \mu)^{0,62}$$

L : longueur de l'agitateur .

N : nombre de tours par seconde .

Le terme  $(\mu_s / \mu)^{0,14}$  régit la différence de viscosité du liquide adjacent au spirale et le terme  $(\mu_s)$  régit la viscosité ailleurs .

Cette résistance de film est une fonction croissante de la rugosité de la paroi et de l'épaisseur du film . En particulier pour les liquides dont la conductibilité est faible (comparée à celle des métaux) , la résistance due à l'épaisseur des films de

liquide est supérieure à la résistance de la paroi . Le verre borosilicate permet de réduire cette résistance de film .

L'état de surface qualifié de "poli au feu" (rugosité de l'ordre du micron) supprime pratiquement tout film laminaire et tout encrassement de la paroi .

Cette analyse qualitative de l'échange thermique, complétée des études quantitatives , met en valeurs les motifs pour lesquels les industries chimiques en dépit du faible coefficient de conduction des borosilicates .

Parmi ces échangeurs , on a :

- bouilleur ,
- condenseur ,
- refroidisseur .

1°/ Bouilleur :

C'est l'appareil qui fournit de la chaleur permettant la vaporisation partielle de la charge , il est situé à la base de la colonne , il existe plusieurs types de bouilleurs dont on citera les exemples suivants :

- Barboteur : ON injecte la vapeur de chauffage dans la colonne par un tube ou une couronne perforée .
- Bouilleur horizontal : La surface d'échange est constituée par des épingles dans le cas de vapeur ou par des serpentins allongés dans le cas de liquide de chauffage .
- Bouilleur vertical : C'est le mode le plus utilisé en Europe .
- Bouilleur à serpentins de la colonne E.I.V.S :

C'est le bouilleur (tout verre "borosilicates") à serpentins , montée en thermosiphon la charge est chauffée par un tube en verre enroulé en hélice cylindrique de caractéristiques :

- $\phi$  150 mm
- $S = 0,5 \text{ m}^2$
- consommation de la vapeur 20 à 30 kg/cm .
- coefficient d'échange thermique globale  $300 < 500 \text{ kcal(h.m}^2.\text{°C)}$
- préchauffeur tout verre à serpentins : -  $\phi = 50 \text{ mm}$   
-  $S = 0,082 \text{ m}^2$

## 2°/ Condenseur :

C'est l'appareil qui reçoit la vapeur en tête de colonne et la restitue après condensation , parmi les condenseurs utilisés dans l'industrie , on citera les trois grands types :

- Condenseur horizontal à eau : C'est le type de condenseur le plus répandu en distillation . Il présente l'avantage d'un faible encombrement vertical ; mais l'inconvénient de ces condenseurs c'est qu'ils fournissent un condensat à peine refroidi .
- Condenseur vertical à eau : Ce type de condenseur permet de condenser les vapeurs en tête de colonne et de les refroidir un peu.
- Condenseur à air : Le refroidissement se fait pas de l'air à circulation forcée par un ventilateur hélicoïde .
- Condenseur principal de la colonne E.l.V.S :

Condenseur (tout verre) à serpentins : l'eau de refroidissement provient de deux types de circuits de

refroidissement .

- Circuit ouvert ;
- circuit fermé (refroidissement atmosphérique, ...) .

Le débit d'eau à 20°C est 1,25 m<sup>3</sup>/h à 2 bars max

- $\phi$  de serpentín = 100 mm
- surface de serpentín = 0,65 m<sup>2</sup>
- coefficient d'échange thermique global : 250 < 300 Kcal / n.m<sup>2</sup>.°C
- Le condenseur piège tout verre à serpentín :  $\phi$  = 50 mm  
S = 0,082 m<sup>2</sup>

Ce condenseur est branché au circuit vide .

Le distillat est recueilli dans un ballon de 1 litre .

### 3°/ Refroidisseurs :

La colonne de rectification est équipée de deux refroidisseurs de même type que le condenseur , alimentés en eau de refroidissement par les deux circuits d'alimentation :

- circuit ouvert et
- circuit fermé.

mais de dimension réduite :

- refroidisseur distillat ,
- refroidisseur résidu .

De caractéristiques : .  $\phi$  = 40 mm

. S = 0,07 m<sup>2</sup>

. Débit d'eau à 20°C = 0,15 m<sup>3</sup>/h à 2 bars

. U = 150 à 200 kcal / (h.m<sup>2</sup>.°C)

### 4°/ Tête de reflux :

Les têtes de reflux sont conçues en deux types :

- Tête de reflux de commande electro-magnétique (rotation de l'axe).
- Tête de reflux à commande electro-pneumatique (va et vient de l'axe) .

Tout les deux sont :à condensation totale et séparation en phase liquide .

La colonne de distillation dispose d'une tête de reflux a commande electropneumatique anti-déflagrante , avec un mecanisme interchangeable sans demontage de verre et une position reflux total en cas de panne du circuit de commande (cf fig.7 page 27).

#### 5/ Robinets :

La colonne de la rectification est équipée de trois sorte de robinets , les robinets soupape , les robinets de fond de cuve les robinets tête télécommandés (cf fig 8 page 28) .

- Les robinets à soupape : présentent une grande résistance a la corrosion , une perte de charge minimum , un nettoyage facile et un entretient réduit .

- Les robinets de fond de cuve :

Conviennent particulièrement pour eviter le volume mort en présences de phénomènes de cristallisation precipites , suspensions solides .

- Robinets télécommandés : se sont des robinets à commande électrique .

#### 6/ Vannes :

Les vannes ont une membrane en teflon interchangeable et peuvent être utilisées sous vide ou sous pression .

### III/ CONTROLE ET REGULATION :

La colonne de rectification dispose d'un système de régulation qui permet de maintenir constant ou de faire varier (commande et asservissement) :

- le taux de reflux ,
- la température du préchauffage ,
- la perte de charge dans la colonne ,
- et les températures à différents niveaux (plateau + eau de condensation) .

#### 1/ Réglage du taux de reflux :

Le réglage du taux de reflux se fait par l'intermédiaire du timer électronique qui permet de varier , le temps de reflux et de recette dans un rapport de 1/70 et 70/1 . Il permet également de déterminer deux intervalles de temps successifs , indépendamment de l'un de l'autre en cycle continu , chaque intervalle de temps étant compris entre 1 s et 138 sec . Il est stabilisé et indépendant des variations de tension du secteur . Ce timer électronique est intégré dans une armoire de contrôle générale.

#### 2/ Régulation du préchauffage :

Le système comprend un indicateur à cadre fixe et un régulateur permettant la détection capacitive de l'aiguille avec une action proportionnelle + action intégrale .



Le système est équipé d'un capteur analogue aux restes des enregistreurs, capteur en sonde thermométrique en platine  $100 \Omega$  à  $0^{\circ}\text{C}$  à simple écoulement, enrobée dans du verre et protégée par un tube perforé en verre.

Ce régulateur commande l'électrovanne à huile thermique afin de maintenir l'erreur nulle (stabilise la température désirée).

### 3/ Régulation de perte de charge :

Pour maintenir le débit de vapeur le long de la colonne constant (perte de charge constante) un manomètre à pression différentielle à membrane transmet en continu, la perte de charge dans la colonne.

L'indicateur régulateur commande une vanne à servomoteur électrique régulateur qui limite l'admission de l'huile dans le bouilleur.

### 4/ Sonde thermométrique :

La colonne à différents niveaux (plateaux, condenseurs, ...) dispose de capteur : en sonde platine  $100 \Omega$  à  $0^{\circ}\text{C}$  enrobés dans du verre et protégée par un tube perforé en verre (cf fig.9 page 29).

## IV/ POSTE STABILISATEUR DE TEMPERATURE :

Ce stabilisateur est destiné à maintenir à une température constante et réglable les échangeurs à serpentin du bouilleur et du préchauffage c'est un poste qui fonctionne aux huiles thermiques et que l'on peut régler à  $300^{\circ}\text{C}$  en phase liquide et sous pression atmosphérique.

Le fluide est véhiculé par une électropompe en circuit fermé,

ce qui assure le maintien à la température choisie avec le maximum de précision et cela sans problème de pente , de niveau , de tracé de canalisations , d'entartrage ou de corrosion . Le vase d'expansion est incorporé dans le poste même . Ce stabilisateur à circulation d'huile est équipé d'un serpentin refroidisseur qui permet d'éliminer automatiquement un apport accidentel de chaleur et cela toujours avec la même précision (cf fig 10 page 30) .

La régulation de la température est faite au moyen d'un thermomètre à deux index réglables : le premier coupant le chauffage et le deuxième ouvrant l'électrovanne située sur le serpentin refroidisseur .

Ce poste est muni en plus de sa régulation d'un double système d'alerte visuel et sonore .

#### V/ GROUPE MOBILE DE VIDE :

Dans le but de provoquer un abaissement de la température d'ébullition et la température de condensation et une élévation de la volatilité idéale, ce qui implique un nombre inférieur de plateau de séparation .On utilise un appareil qui mesure et règle le vide .

Principe : Cet appareillage de construction robuste réunit en un seul ensemble mobile la pompe à vide, le piège de protection , le réservoir tampon , les manomètres de mesure et le dispositif de régulation du vide . Il permet de réaliser et de maintenir à une valeur constante et prédéterminée le vide dans un appareil quelconque .

#### - Contrôle et régulation du vide :

Une prise d'essai placée dans une partie froide de l'enceinte

où l'on réalise le vide , est reliée au manostat différentiel à mercure (P.G.E), ainsi qu'aux manomètres (P.I.1) et (P.I.2), l'un gradué de 0 à 760 mm de Hg, l'autre de 0 à 150 mm de Hg.

Le vide désiré étant atteint , on ferme l'électrovanne (V1), au moyen de l'interrupteur (I). Une des branches du manostat est alors isolée du restant de l'appareillage . La pression du gaz qu'elle contient sert alors de pression de référence toute variation de pression dans l'autre branche (pression égale à celle existante dans l'enceinte sous vide) entrainera une variation du niveau , selon que le niveau du mercure baisse ou augmente , le contact avec l'électrode de tungstène du manostat s'ouvrira ou se fermera , entrainera l'ouverture ou la fermeture de l'électrovanne (V.2) par l'intermédiaire du relais électronique (P.C) .

Lors de la fermeture de la vanne (V.2), la vanne (V.4) est ouverte , assurant une faible rentrée d'air pour éviter la cavitation de la pompe . Le réservoir tampon évite que les brusques variations de pressions produites par l'ouverture ou la fermeture de la vanne (V4) soient transmises à l'enceinte reliée à la pompe , l'introduction d'une perte de charge supplémentaire au moyen de la vanne manuelle (V.3) permet de réduire encore l'effet de ces variations , en particulier lorsque l'enceinte à vider est de faible volume schéma de principe (cf fig.11 page 31).

#### VI/ POMPE CENTRIFUGE :

Pour alimenter la colonne de distillation en continu, on utilise une pompe centrifuge qui représente une parfaite résistance à la corrosion ; seuls le verre borosilicate S73 201 , le P.T.F.E et la céramque sont en contact avec les liquides corrosifs véhiculés . La température de service est de 150 °C maximum tandis que la pression est limitée à 4 bars (cf fig.12 page 32).

## VII/ CIRCUITS DE REFROIDISSEMENTS :

### I/ Généralités sur la réfrigération :

De nombreux procédés industriels nécessitent l'utilisation de moyens de réfrigération pour le fonctionnement de leurs condenseurs.

L'eau est tout naturellement indiquée et retenue lorsque cette dernière est disponible en grande quantité et à coût réduit .

Le refroidissement s'effectue en cycle ouvert et à eau perdue.

Cependant , dans un souci d'économie , a ce cycle ouvert s'est substitué un cycle fermé permettant un gain de 98% environ de la quantité globale d'eau de circulation dans le cas de réfrigérants atmosphériques humides .

La réside l'intérêt de tels réfrigérants pendant leur utilisation pratiquement nécessaire dans la grande majorité des cas , pour le refroidissement des eaux de circulation . Toute fois , dans certains cas particuliers , les pénuries d'eau sont telle qu'il serait judicieux de choisir le réfrigérant sec qui permet de s'affranchir de tout appoint en eau .

Le schéma général du circuit d'eau sur réfrigérant atmosphérique humide est représenté sur la ( fig.13 page 33).

### II/ Différents réfrigérants :

Nous décrivons à présent les différents types de réfrigérants selon le mode retenu pour la circulation de l'air nécessaire au refroidissement , nous pouvons classer les réfrigérants En quatre

categories respectivement : les réfrigérants à aération naturelle, ceux à gradins et les réfrigérants à tirage naturel par cheminée , ou à tirage artificiel par ventilateur .

#### II.1/ Réfrigérants à aération naturelle :

Il en existe de deux sortes , les bassins à ciel ouvert et les réfrigérants à tuyères pulvérisatrices . Les premières citées sont les plus simples toute fois ils necessitent des étendues considérables pour obtenir un refroidissement acceptable . Les surfaces sont de l'ordre de  $10 \text{ m}^2$  par  $\text{m}^3$  d'eau .

Quant aux réfrigérants à tuyères pulvérisatrices ; ils representent une amélioration des bassins a ciel ouvert . En effet , ils présentent les caractéristiques d'une toure a tirage forcé mais ne comportent ni ventilateurs ni surfaces de ruissellement .

Ils se composent d'un réseau de tuyauteries horizontales munies sur un génératrices supérieur de tuyères pulvérisatrices . Ce type de réfrigérant exige néanmoins des surfaces de bassin assez grande . Dans la deuxième catégorie de réfrigérants nous trouvons ceux à gradins .

#### VII.2/ Réfrigérations à gradins :

Ces appareils sont constitués par un empilement de lattes de bois sur lesquelles l'eau se répartit en gouttes . Ils sont protégés sur leur pourtour extérieur par des jalousies réduisant ainsi les projections de goutelettes par l'extérieur .

Les réfrigérants à gradins sont relativement à encombrants et exigeant un espace libre : périphérique ne faisant pas obstacle à la libre circulation de l'air avoisinant .

Les principaux avantages qu'ils présentent sont d'être simples , et d'un prix de revient réduit . Ils ne necessitent pratiquement aucun entretien , mais donnent par contre des résultats variables avec le vent , inconvenient majeur . Aussi leur préfère t-on les réfrigérants à tirage naturel ou artificiel .

#### VII.3/ Refrigérants à tirage naturel :

L'air chauffé en contact avec de l'eau de ruissellement crée un tirage dans la cheminée ou coque par différence de densité avec la couches d'air extérieures .

les débits d'air importants ainsi engendrés permettent un refroidissement efficace de l'eau qui ruisselle ou qui éclate en gouttes sur des surfaces d'échanges réalisées de nos jours en bois ou en matière plastique .

Selon la direction du courant de l'air au travers de la surface d'échange , les réfrigérants à tirage naturel peuvent être classés en deux types : à courant croisés ou à contre courant .

#### VII.4/ Refrigérants à tirage artificiel par ventilateur :

Dans ces réfrigérants , la circulation de l'air est assurée par des ventilateurs qui remplacent les cheminées des réfrigérants à tirage naturel .

Les techniques de refroidissement utilisées sont tout à fait semblables à celles décrits précédement . Là aussi , les deux principaux types rencontrés sont les réfrigérants à courants croisés et à contre courant .

Les vitesses d'air à l'intérieur sont relativement élevées , ce qui assure un débit important et un refroidissement acceptable . Ce refroidissement est dû essentiellement à l'augmentation du coefficient d'échange résultant d'une grande vitesse du courant d'air. les surfaces d'échange de ces réfrigérants sont généralement de type à ruissellement par film , leur construction est prévue en bois ou en plastique .

Les matériaux utilisés comme surfaces de ruissellement des réfrigérants atmosphériques sont notamment le bois , l'amiante-ciment et les plastiques .

Nous avons décrit précédemment les différents types de réfrigérants selon le mode retenu pour la circulation de l'air .

Cette description peut aussi bien se faire selon le mode retenu pour ruissellement de l'eau . Nous distinguons pour cela deux types : le ruissellement à film pur et le ruissellement à gouttes .

#### a/ Ruissellement à film pur :

L'échange peut s'effectuer grâce à des surfaces planes ou ondulées le long des quelles l'eau à refroidir ruisselle sous forme d'un film pur , adhérant à ces surfaces . l'air traverse verticalement de bas en haut , le réseau de plaques pendant que l'eau tombe par gravité à la surface de ces dernières . Les surfaces de contact entre air et eau sont aussi nettement définies .

Par absence de création de gouttes , ce type de ruissellement nécessite une distribution d'eau très homogène sur les surfaces d'échange .

En raison des vides importants ménagés entre deux surfaces voisines , les risques de bouchage par dépôt de tarte ou de d'algues sont à craindre .

b/ Ruisselement à gouttes :

L'échange peut s'effectuer également par l'intermédiaire de surfaces assurant un éclatement d'eau en fines gouttelettes appelé effet "splash" .

Par gravité , l'eau tombe d'un plancher de lattage à un autre en subissant un éclatement créant ainsi des gouttelettes qui augmentent les surfaces d'échange entre l'air et l'eau .

La disposition plus aérée de ces lattages permet à l'air de circuler dans les directions horizontales , verticales ou obliques . Aussi , on peut placer les surfaces d'échanges sur toute leur hauteur jusqu'au niveau du plan d'eau dans le bassin .

III/ Choix du dimensionnement et réalisation de la toure de réfrigération :

Afin de décider la conception ou le choix d'un type de réfrigérant , il est indispensable de pouvoir placer les divers solutions techniquement utilisables selon leur critère économique . Aussi , est-il nécessaire , dans chaque cas , d'établir un bilan des investissements à réaliser prenant en compte les paramètres d'exploitation de chacune de ces solutions .

Les programmes d'optimisation pour ce choix comporte essentiellement les données d'exploitation du circuit considéré et les indications économiques relatives aux coûts des divers matériaux .



- Le type du circuit fermé de réfrigération choisi :

Le réfrigérant qui avait été choisi (en 1987) est une toure de refroidissement à tirage forcé avec une circulation d'air assurée au moyen d'un ventilateur aspirant . Ce choix était motivé par les faibles débits d'eau utilisés , les écarts peu élevés de températures entre l'entrée et la sortie de la tour , l'entretien quasi nul dû à l'absence de toute pièce mécanique en mouvement et enfin le prix de revient réduit .

Quant au type de ruissellement , il était choisi à dispersion à "effet splash" sur un lattis afin d'éviter toute obturation de circuit d'air et d'eau par dépôt de tarte .

Pour la construction de cet ouvrage , des lattes en bois de faible épaisseur étaient utilisées , ces lattes étaient imprégnées d'avance de produit anti-moisissure .

En plus du réfrigérant à gradins , le circuit fermé comprenait un système de distribution d'eau chaude arrivant en haut de la tours et d'eau froide récupérée en bas de celle-ci dans un bac en cuivre .

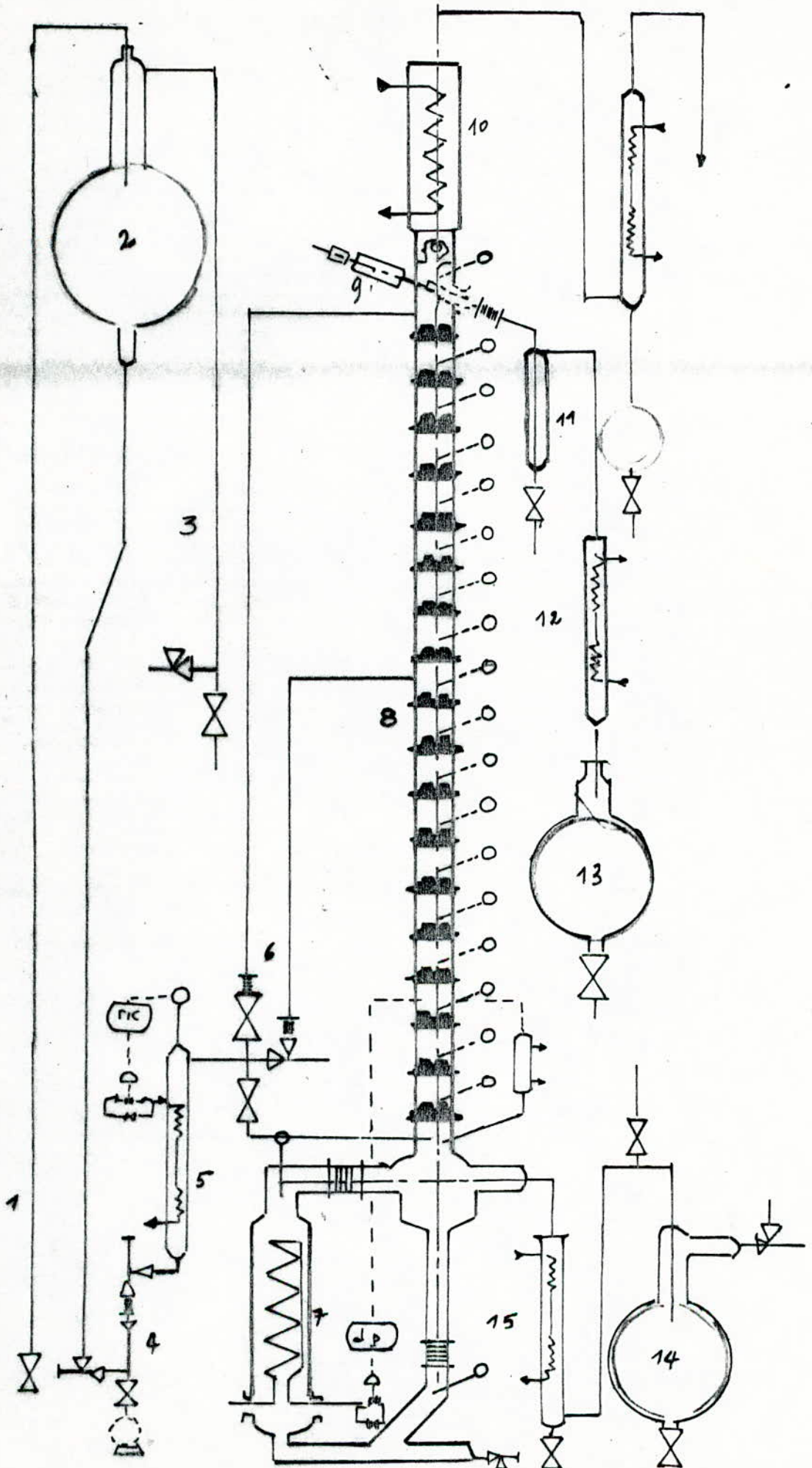
Il faut noter toutefois , sur la tuyauterie amenant l'eau chaude, au système de distribution , des dérivations ont été prévues Pour la récupération de chaleur ou encore pour le branchement d'autre circuits d'appareillage du hall de Génie chimique nécessitant l'utilisation d'une eau de refroidissement .

La répartition de l'eau chaude en haut de la toure s'effectue au moyen d'une pomme d'arrosier en cuivre de 320 mm de diamètre .

Des trous de 0,75 mm de rayon , permettent de la pulvériser dans un bac en cuivre de 0,5 m<sup>2</sup> de surface de base et de 1,7 m de hauteur .

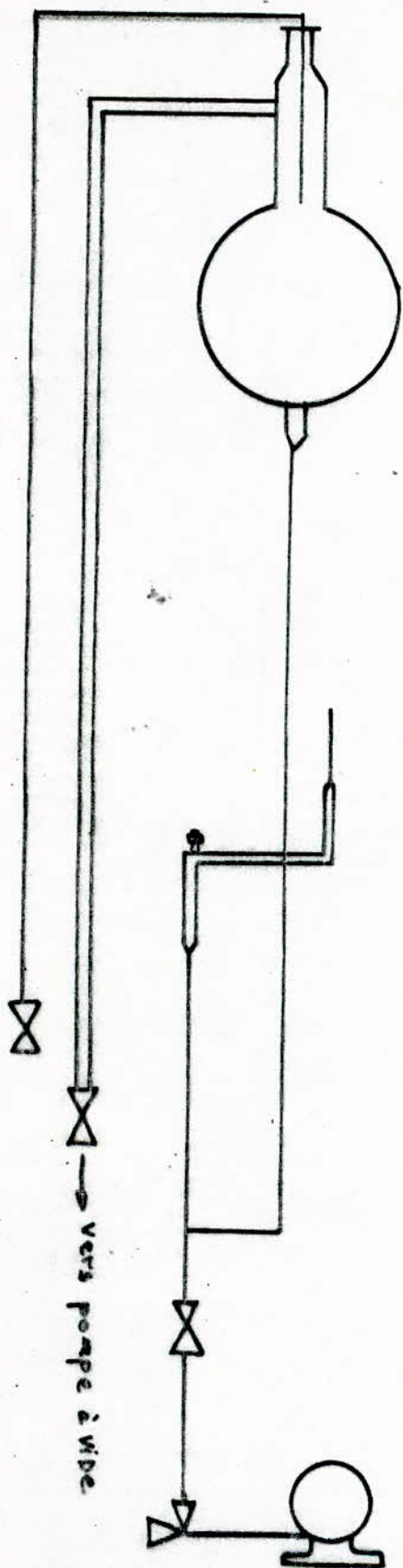
# COLONNE DE RECTIFICATIONS

1. Canalisation d'alimentation
2. Ballon d'alimentation
3. Circuit de vide
4. Robinetterie
5. Préchauffeur
6. 3 niveaux de distribution
7. Bouilleur
8. Colonnes à plateaux P.T.F.E  
à calottes
9. Tête de reflux
10. Condenseur
11. Garde hydraulique
12. Refroidisseur distillat
13. Recette distillat
14. Recette résidu
15. Refroidisseur résidu

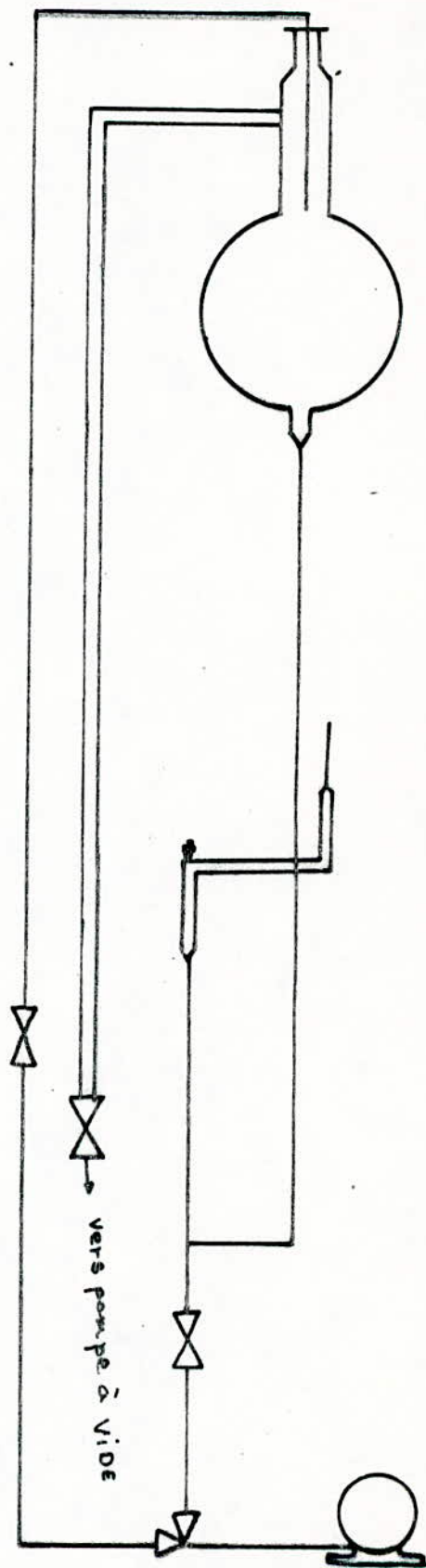


schema : 1

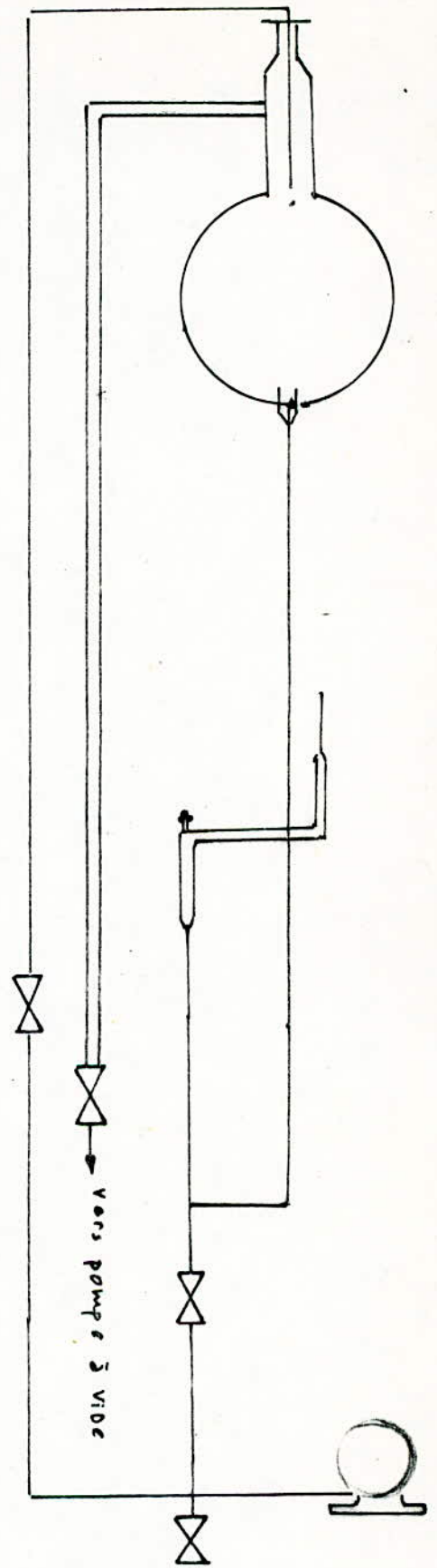
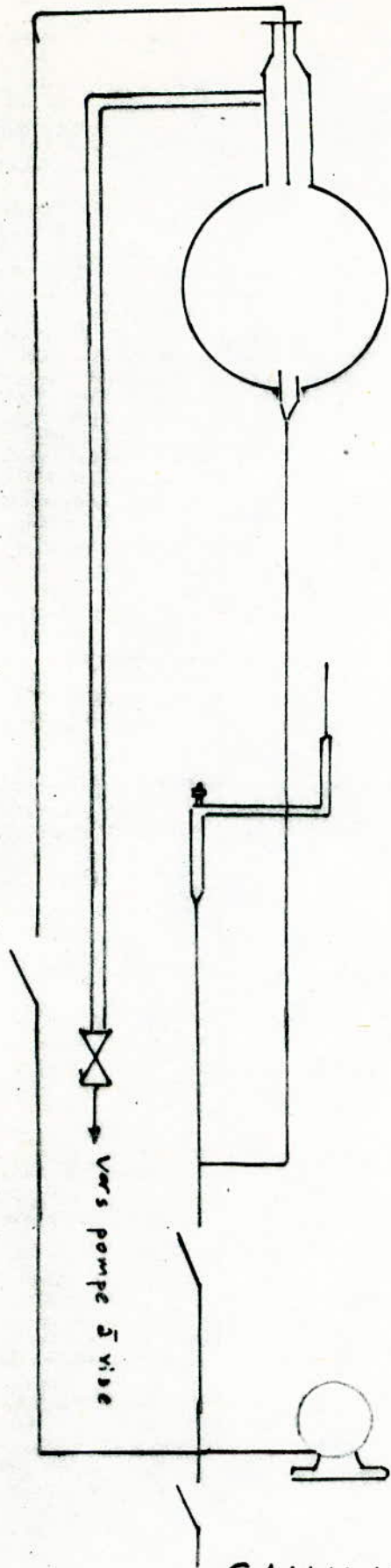
AVANT (1974)



APRES (1975)



CANALISATION D'ALIMENTATION  
schema : - 2 -

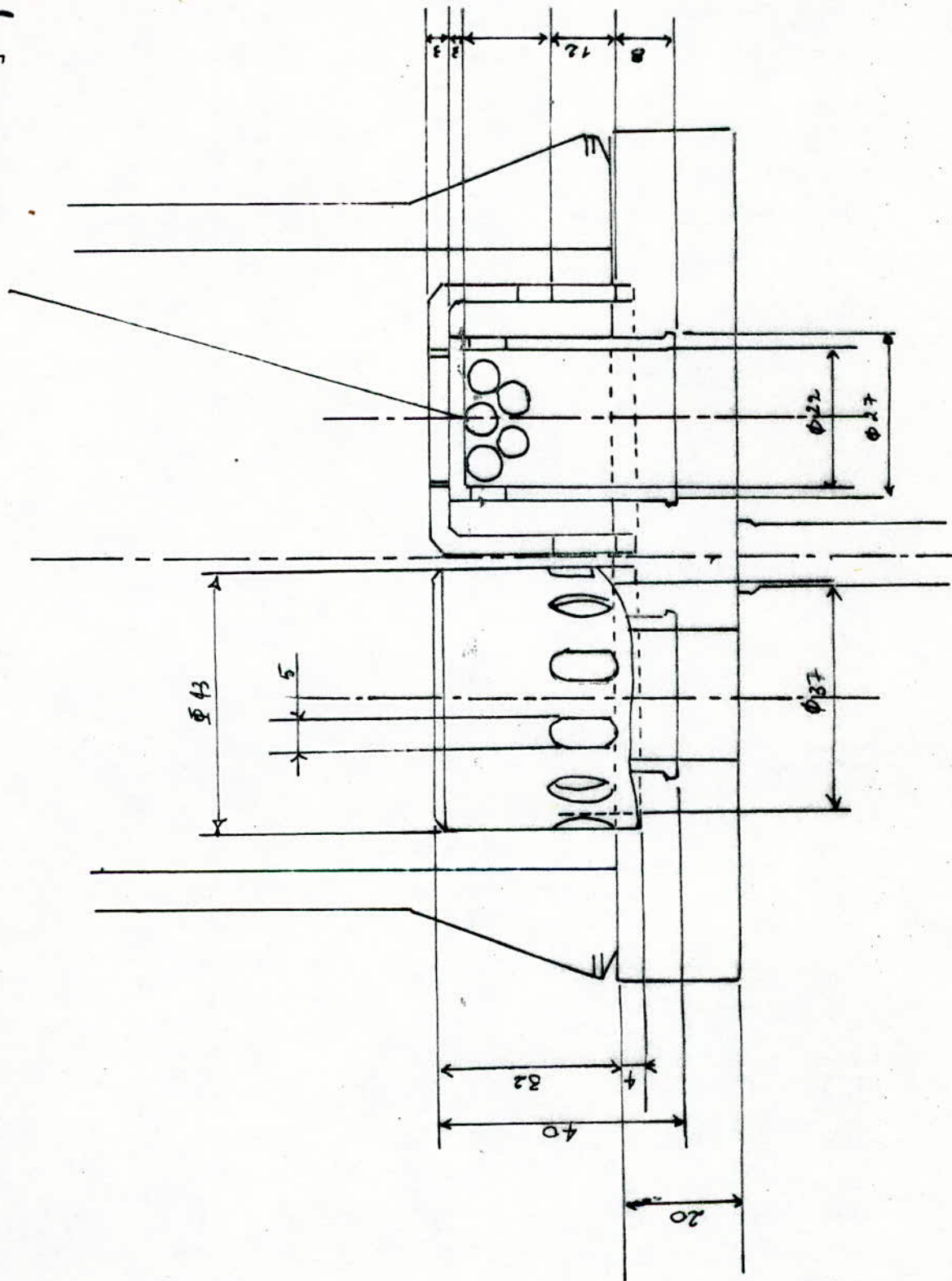


CANALISATION D'ALIMENTATION  
 Schema - 3 -

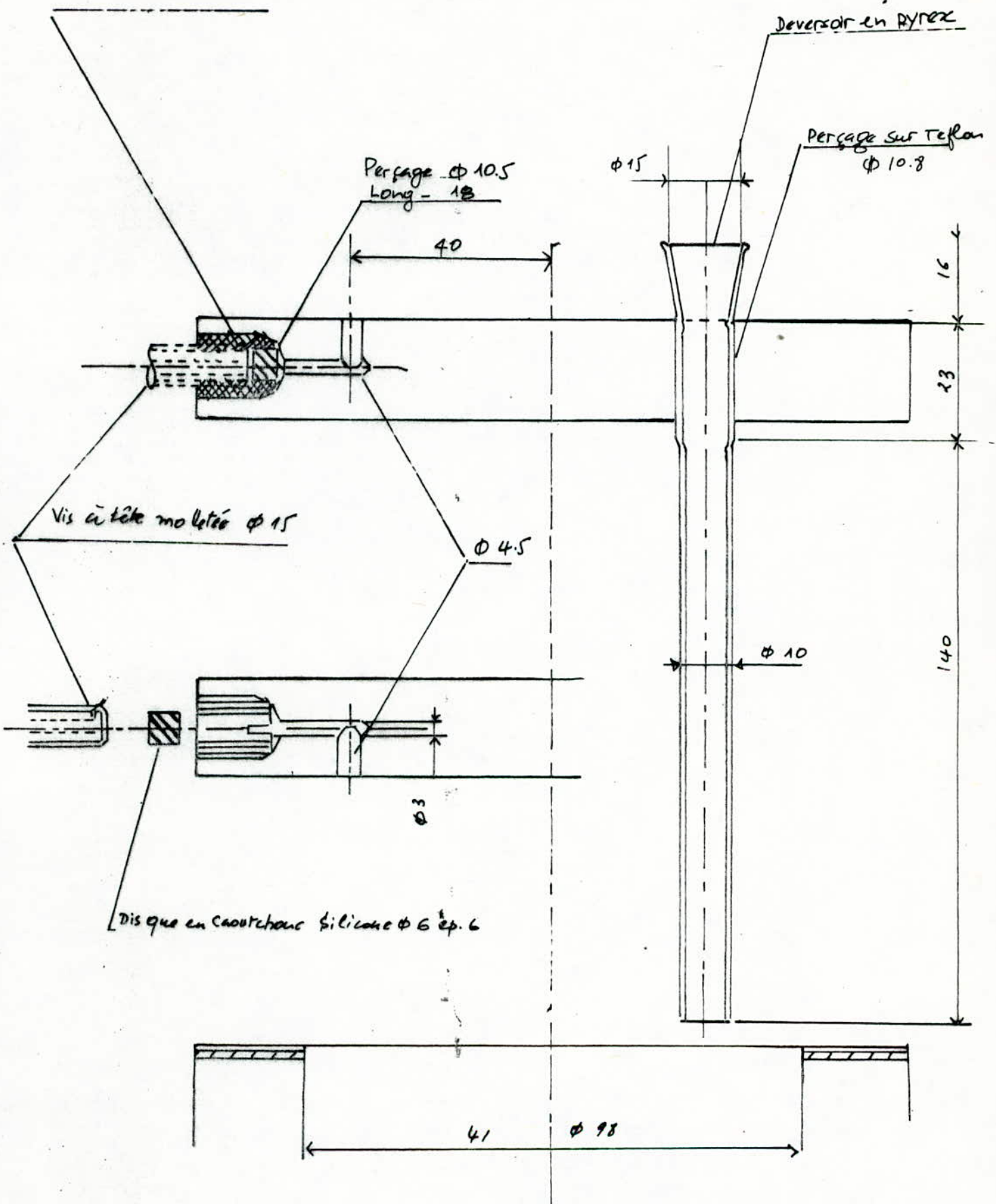
PLATEAU P.T.F.E À CALOTTES

schema\_4-

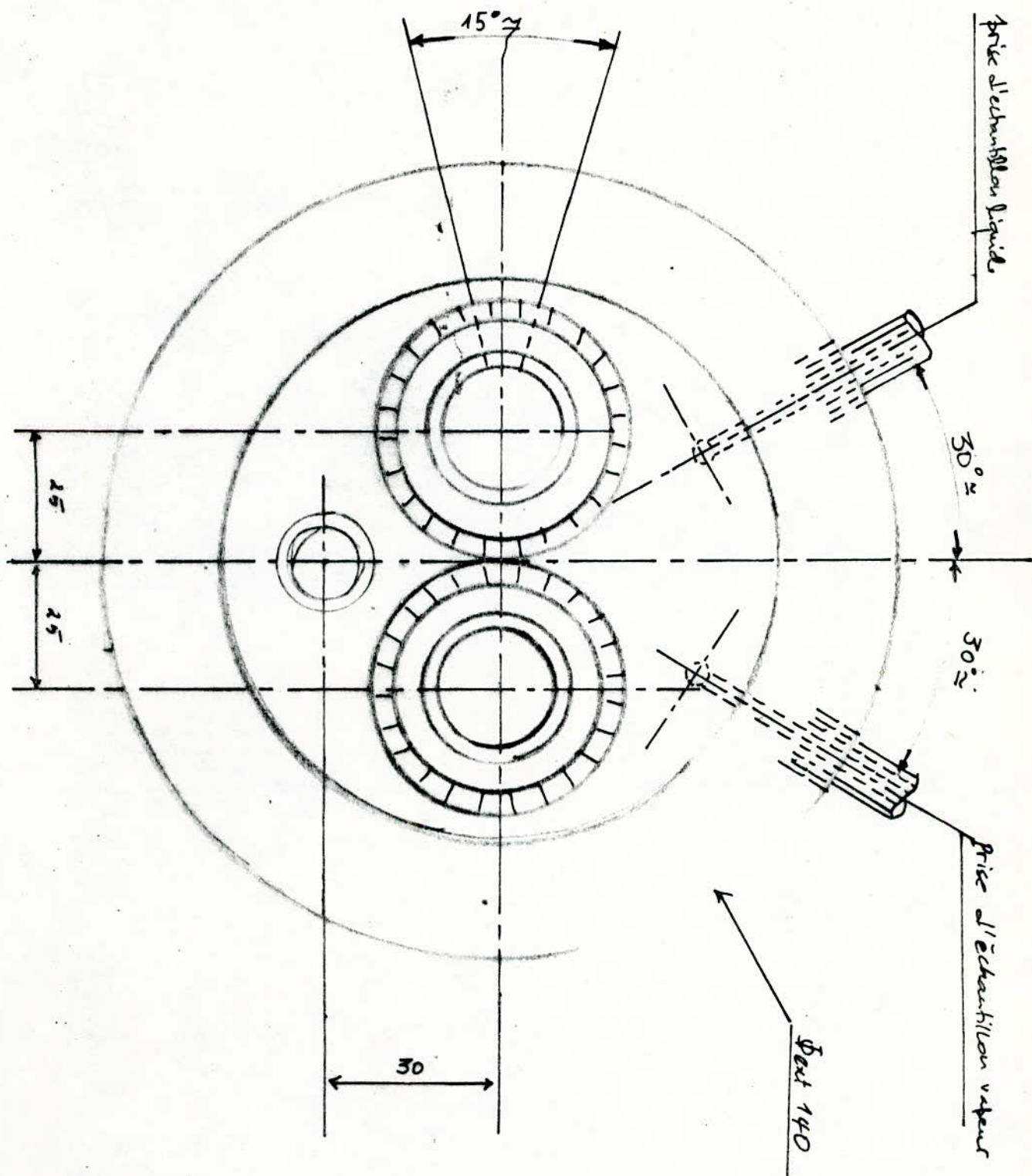
2 x 10 trous  $\phi 5$  sur la périphérie



Invertis acier Castlimé type G8 (150)

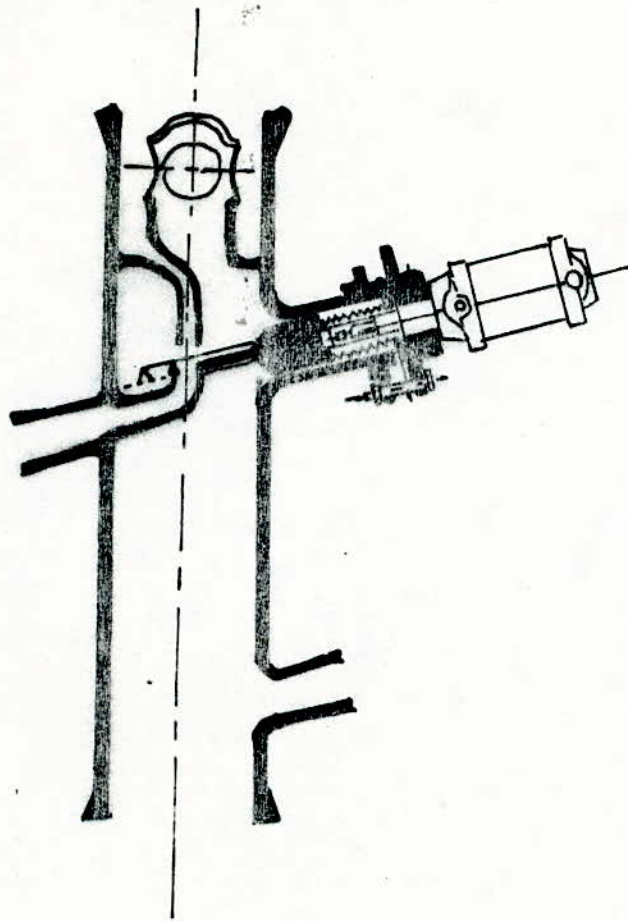


Schema - 5 -



Schema - 6 -

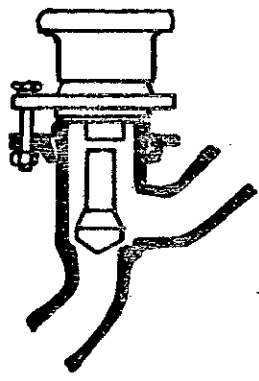




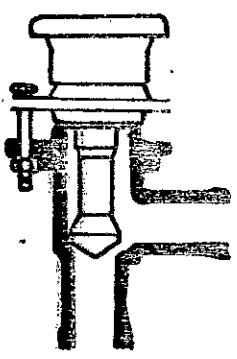
TETE DE REFLUX  
schem. -7-

ROBINETS SOUPAPE

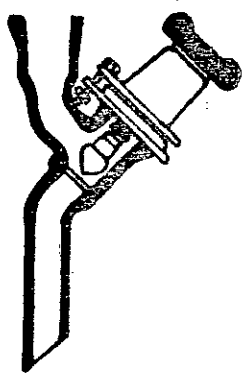
Passage Direct



Passage D'équerre

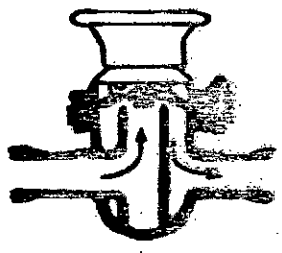


Soutirage

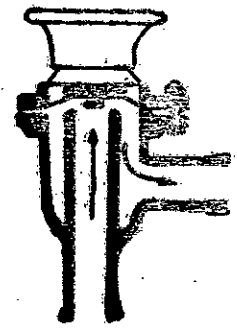


VANNES A MEMBRANE

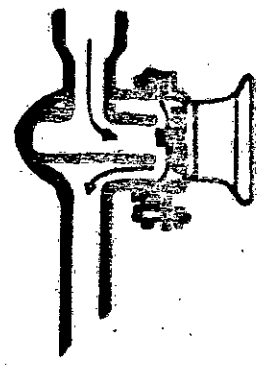
Passage Direct



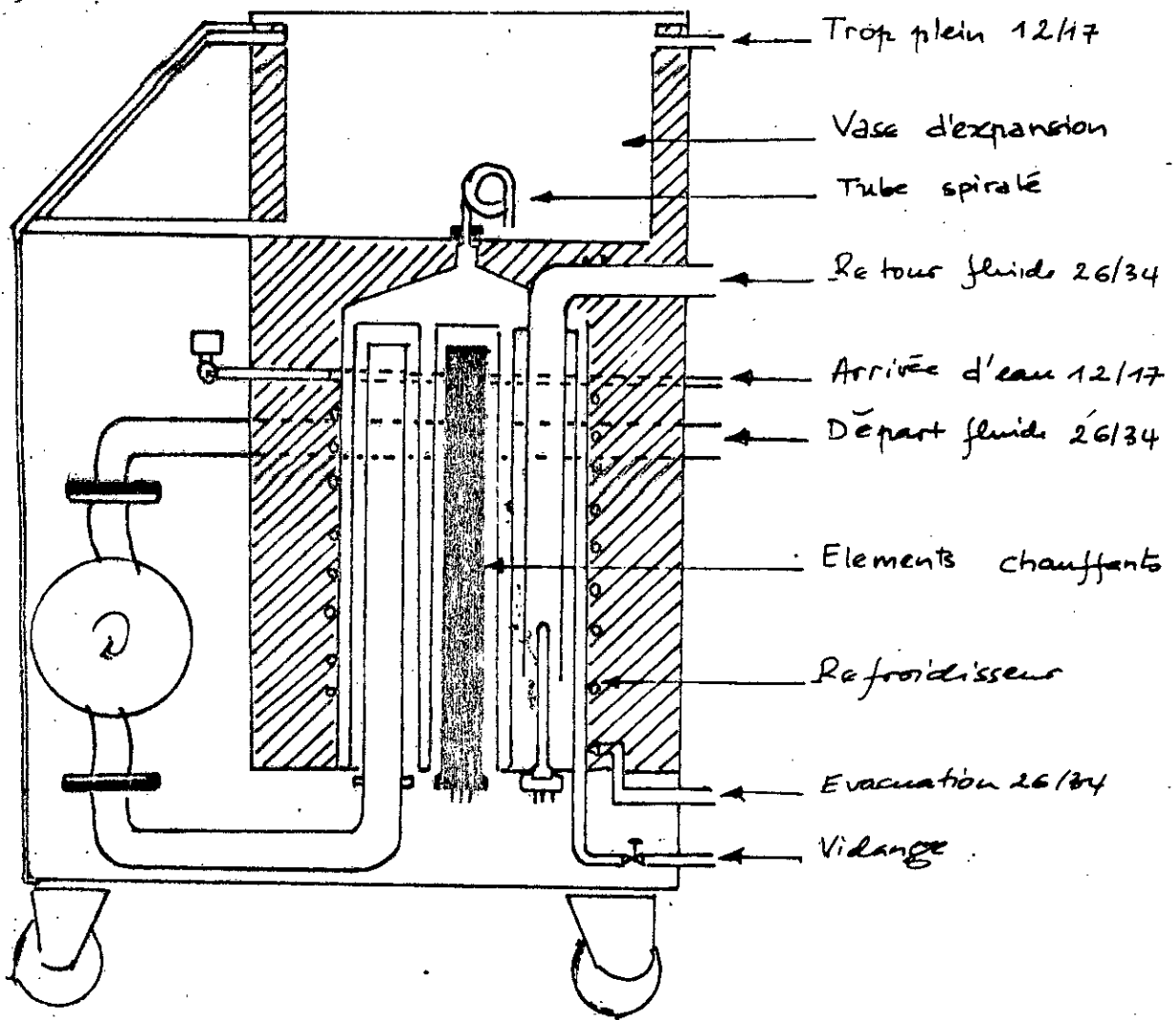
Passage D'équerre



Soutirage

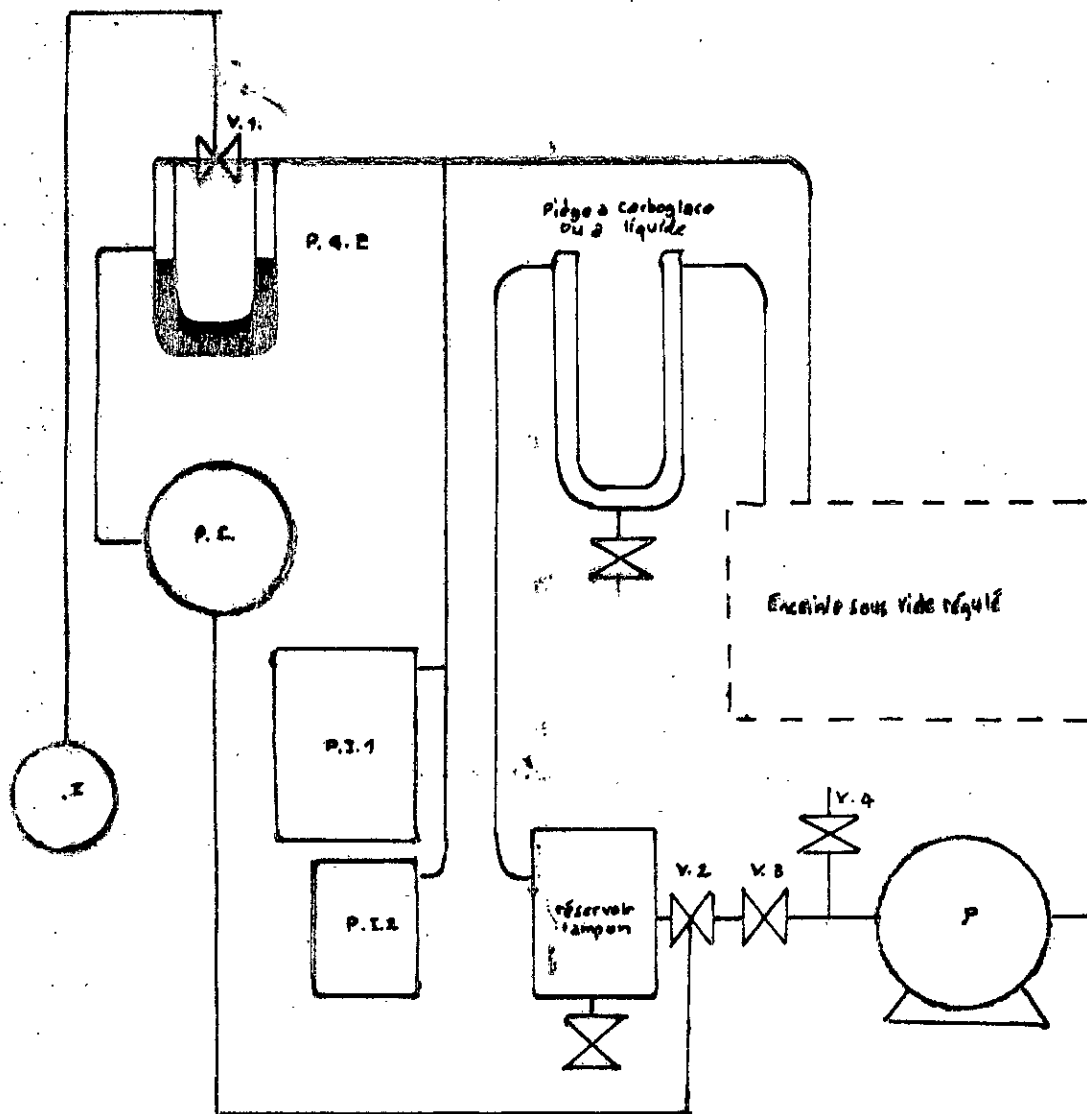


Schema - 8 -



POSTE STABILISATEUR DE TEMPERATURE

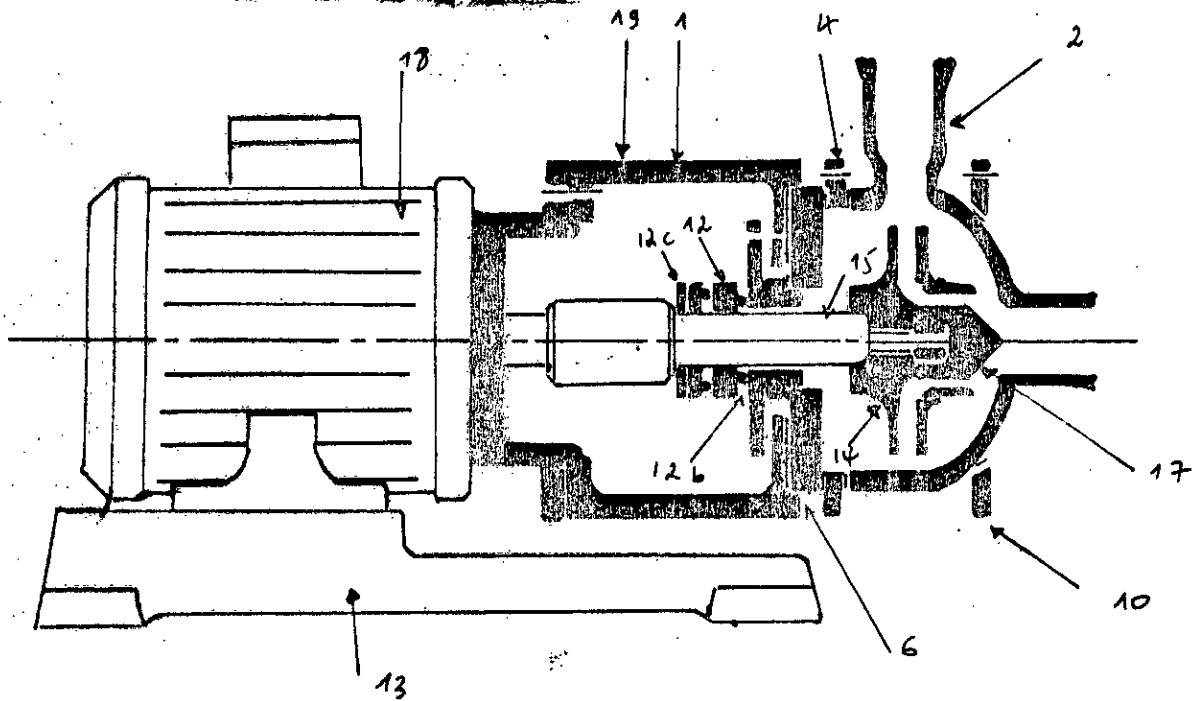
Schema - 9 -



GROUPE MOBILE DE VIDE

SCHEMA DE PRINCIPES

schema - 10 -



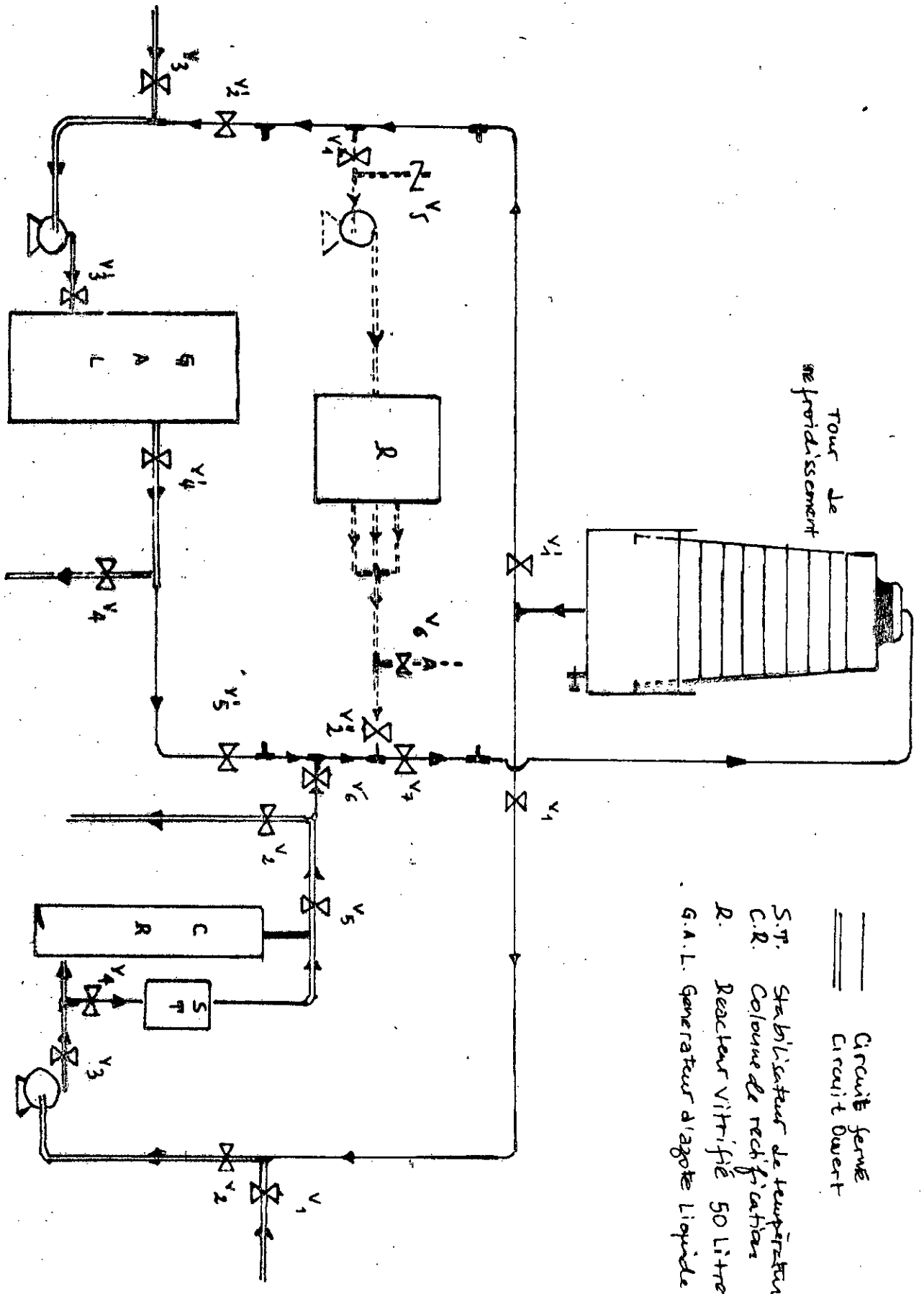
Designation	Ref.
Sole de pompe	13
motor BE 1.5 CV 2.300 tr/min	18
motor AD 1.8 CV 2.800 tr/min	18
Support de pompe	7
Flange avant	4
Bride de serrage du corps de pompe	10
Axe de pompe	15
Turbine de pompe	14
Cône avant de la turbine	17
Garniture mobile taille 2A. 9.	12
Bague de fixation taille 32.	12b
Bague de fixation de la garniture	12c
corps de pompe	2
Disque de centrage	6
Capot de protection	19

POMPE CENTRIFUGE

Schema - 11 -

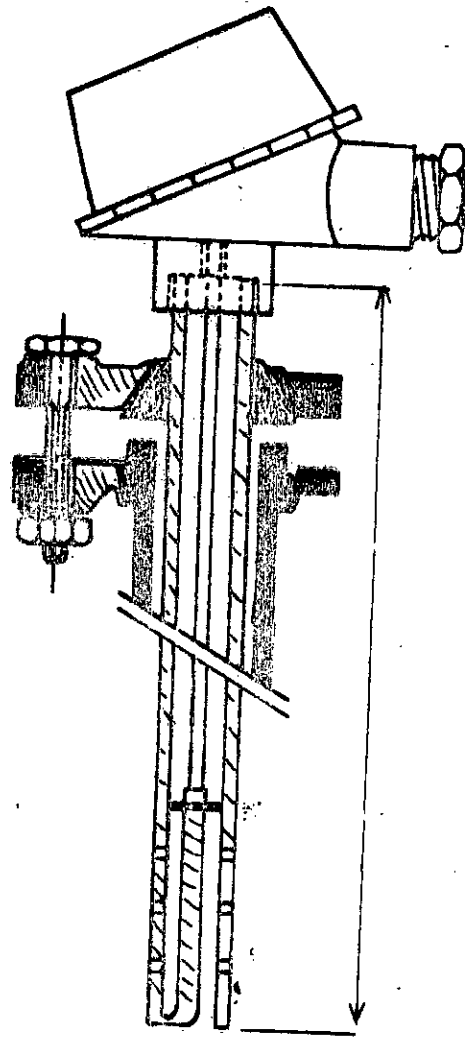
CIRCUIT DE FONCTIONNEMENT DE LA REFRIGERATION DE LA COLONNE DE RECTIFICATION

Tour de  
refroidissement



- Circuit fermé
- - - Circuit ouvert
- S.T. Stabilisateur de température
- C.R. Colonne de rectification
- R. Reacteur vitrifié 50 Litres
- G.A.L. Générateur d'agote Liquide

Schema -12-



sonde thermométrique

schema -13-

Caractéristiques du verre spécial S 73201 :

Le verre spécial S 73201 est un borosilicate à faible coefficient de dilatation , caractérisé par une très bonne résistance thermique et chimique . Ses qualités en font le verre le plus apprécié dans les laboratoires . Il est en outre très facile à travailler au chalumeau oxydrique ; il se travaille rapidement et sans précautions particulières , ce qui fait un matériau économique.

Composition :

Silic  $\text{SiO}_2$  : 80,00  
anhydride borique :  $\text{B}_2\text{O}_3$  : 13,00 .  
Alumine  $\text{Al}_2\text{O}_3$  : 2,25 .  
Oxyde ferrique :  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  : 0,05  
Oxyde de sodium  $\text{Na}_2\text{O}$  : 3,50 .  
Oxyde de potassium  $\text{K}_2\text{O}$  : 1,15 .

Propriétés physiques :

- Masse volumique :  $2,23 \text{ g/m}^3$  .
- Elasticité : module d'élasticité  $E = 6500$  hectobars .  
coefficient de poisson  $\alpha = 0,22$  .
- Dureté : 3,1 . Elle est déterminée par la méthode du jet de sable c'est à dire que l'on mesure la profondeur des rayures créés par l'action d'un jet de sable dont toutes les caractéristiques sont parfaitement définies .
- Résistance de compression : 3600 bars .
- Résistance à la traction : 150 bars .

Propriétés thermiques et thermoplastiques :

- Chaleur spécifique :  $0,20 \text{ Kcal / (Kg.}^\circ\text{C)}$
- Coefficient de dilatation linéaire de 20 à  $300^\circ\text{C}$  :



$32.10^{-7}/^{\circ}\text{C}$ 

- Conductivité thermique : à 20°C 0.97 Kcal/m.h.°C  
150°C 1.08 Kcal/m.h.°C  
300°C 1.22 Kcal/m.h.°C

Les verres sont mauvais conducteurs à la chaleur par rapport aux métaux ( cinq fois moins conducteurs que le fer ) . c'est la raison pour laquelle il est facile de les travailler au chalumeau sans risque de brûlurs . La mauvaise conductibilité des verres explique également leur lenteur à trouver un équilibre thermique et l'apparition de tensions observable au polariscope .

Le verre S 73201 peut être utilisé sans inconvénient jusqu'à des Températures de l'ordre de 300°C . Toutefois , il est recommandé , lorsqu'on atteint ces Températures , de surveiller le refroidissement qui doit se faire lentement et régulièrement surtout si l'objet est épais . Ce verre peut être utilisé en toute sécurité à 200°C et accepte en principe les écarts de Température de 120°C environ .

#### Propriété chimiques :

Le verre S73201 à des propriétés chimiques remarquables de résistance à la corrosion seul l'acide fluorhydrique est totalement déconseillé avec ce verre l'acide phosphorique et les alcalins ont une action relativement faible .



La seconde méthode implique un reflux, c'est à dire le retour dans le bouilleur d'une fraction du condensat, dans des conditions telles que le liquide qui retourne dans le bouilleur se mélange intimement et à contre courant avec la vapeur qui en provient, cette méthode a reçu le nom de rectification.

### 1.2.1 méthodes de distillation simple

On distingue trois techniques de distillation simple.

- Distillation différentielle ( en discontinu ) ;
- Distillation à l'équilibre ( en continu ) ;
- Distillation par entraînement à la vapeur ( en discontinu )

#### 1.2.1.1 Distillation simple différentielle :

La vapeur produite par le mélange étant toujours enrichie en constituant le plus volatil, le titre du condensat est toujours supérieur à celui du mélange initial. La poursuite de l'opération appauvrit progressivement le liquide du bouilleur en constituant le plus volatil : il en résulte une diminution progressive du titre du condensat. Il est possible de recueillir le distillat en plusieurs fractions ayant chacune un titre moyen donné.

La quantité de condensat à recueillir s'obtient en établissant le bilan de matière de l'opération.

L'équation de Lord Rayleigh 
$$\ln F/L = \int_x^{x_f} t \frac{dx}{y-x}$$

L'équation du bilan de matière :  $F = D + L$

permet de déduire la quantité D connaissant F,  $x_f$ ,  $x$  ..

Le titre moyen  $\bar{x}_d$  s'obtient en faisant le bilan de matière en constituant le plus volatil.

$$x_d = \frac{F x_f - L x}{F - L}$$

### 1.2.1.2/ Distillation simple à l'équilibre :

La distillation simple à l'équilibre ou distillation flash est une technique en continu qui permet la séparation partielle du constituant le plus volatil contenu dans un mélange .

On prolonge le contact entre la vapeur et le liquide pendant un temps suffisant pour que l'équilibre s'établisse entre les deux phases que l'on recueille séparément, de façon à maintenir dans le bouilleur le niveau du liquide .

La détermination de la quantité de liquide vaporisé s'obtient à partir des bilans de matière :

$$\begin{aligned} F &= V + L \\ F x_f &= V y^* + L x \end{aligned}$$

F = débit de l'alimentation de titre  $x_f$  .

V = débit de la vapeur formée de titre  $y^*$  .

L = débit du liquide restreint de titre  $x$  .

Cette technique de distillation est utilisée dans l'industrie du pétrole .

### 1.2.1.3/ Distillation par entrainement à la vapeur :

La distillation par entrainement à la vapeur d'eau est une technique discontinue basée sur la distillation des mélanges binaires de liquides non miscibles . Elle permet de séparer des substances thermosensibles à faible volatilité , d'impuretés non

volatiles , par une température bien inférieure à leur point d'ébullition .

Elle consiste à introduire au sein du liquide à traiter un courant de vapeur d'eau qui y est insoluble , le mélange de vapeur d'eau et de vapeur de la substance peu volatile est entraîné hors du bouilleur . La condensation de ce mélange de vapeurs fournit deux liquides non mixibles facilement séparables après décontation .

La température à laquelle se produit la distillation de la substance peu volatile est la température d'ébullition du mélange hétérogène qu'elle forme avec l'eau .

#### 1.8/ Méthodes de rectifications :

Une rectification peut être réalisée en discontinu ou en continu . La première méthode est applicable lorsqu'on doit traiter une ou plusieurs charges de mélanges pouvant être de compositions différentes . La seconde lorsqu'il s'agit de rectifier une quantité importante d'un mélange bien déterminé pendant une longue période de temps .

Lorsque la rectification est discontinu , on introduit dans le bouilleur la totalité de la charge à rectifier et on recueille un distillat provenant de la vapeur qui sort (en haut de colonne) .

On poursuit l'opération jusqu'à ce que le titre en constituant le plus volatil en liquide restant dans le bouilleur , ait diminué jusqu'à une valeur fixée à l'avance . Il faut remarquer que , par cette méthode , seul le distillat qui constitue la fraction la plus volatile du mélange a été soumis à la rectification , le liquide restant dans le bouilleur ne subissant nullement ce traitement .

La fraction la moins volatile du mélange est , elle aussi , rectifiée lorsqu'on opère en continu . Selon cette méthode , on introduit l'alimentation en un point de la partie centrale de la colonne .

De cette façon , la vapeur qui s'élève au dessus de ce point rencontre le reflux qui s'écoule depuis le haut de la colonne et s'enrichit en fraction la plus volatile .

Quant au liquide qui descend jusqu'au bouilleur , il est rectifié par les vapeurs qui en proviennent et en arrivant au bouilleur il est complètement débarrassé de la fraction la plus volatile . Le produit de queue que l'on soutire en bas de la colonne est également de composition constanté comme le distillat .

Pour les mélanges normaux , distillat et résidu sont formés essentiellement du constituant le plus volatil et du constituant le moins volatil et on opère directement sur le mélange binaire en cause .

#### Rectification en discontinu :

Une installation de rectification en discontinu comprend divers appareils en relation, avec la colonne . Ce sont essentiellement des échangeurs thermiques des recipients de recette et des dispositifs de mesure . Les échangeurs consistent en

- un bouilleur qui communique avec le bas de la colonne , ce bouilleur est équipé d'un dispositif permettant de porter le liquide à l'ébullition (double enveloppe , surpentin pour chauffage à la vapeur ... ) .

- Un condenseur qui peut être :

- soit un condenseur total transformant la totalité de la vapeur en un condensat non refroidi . Ce liquide est , au moyen d'un distributeur , en partie renvoyé en haut de colonne (reflux) et en partie soutiré (distillat) . Ce dernier est refroidi au moyen d'un réfrigérant , puis dérivé vers les récipients de recette ;

- soit un condenseur partiel ou déflegmateur , qui condense qu'une fraction de la vapeur . Le liquide (ou flegme) ainsi obtenu constitue le flux renvoyé en haut de colonne . La fraction de la vapeur non condensée par le déflegmateur est envoyée dans un second échangeur pour y être condensée et refroidie . Le liquide est envoyé vers les récipients de recette .

On constate , lors d'une rectification en discontinu , que si l'on maintient constant le taux de reflux , le titre du liquide contenu dans la cuve et ceux du reflux et de distillat diminuent progressivement , depuis le début jusqu'à la fin de l'opération , tandis que les points d'ébullition du mélange contenu dans le bouilleur et des différents liquides se trouvant sur les plateaux , augmentent simultanément .

Le distillat peut être recueilli en haut de colonne en une ou plusieurs fractions . On poursuit l'opération jusqu'à ce que le titre du liquide restant dans le bouilleur soit inférieur à une valeur fixée à l'avance . Ce résidu est alors évacué , et l'installation prête pour une nouvelle opération .

NB : - En rectification continue , au contraire , une fois le régime établi , les débits , les titres et les températures des phases en présence ne varient pas avec le temps .

- Pour maintenir constant le titre du distillat il faut modifier le taux de reflux .

Nombre de plateaux théoriques :

Droite opératoire :

Considérons une colonne de rectification équipée d'un condensateur et des dispositifs nécessaires pour permettre le reflux. Nous supposerons que cette colonne est adiabatique et que la rétention (Hold-up) du liquide par la colonne (sur les plateaux et sur les corps de remplissage) et par le condenseur, est négligeable devant la quantité de liquide mise en oeuvre

soit :  $n$  le nombre de plateaux de la colonne (numérotés de haut en bas).

Et soient :  $L$  et  $V$  les débits molaires des deux phases, que nous supposerons constants à l'intérieur de la colonne.

Après un certain temps de fonctionnement à reflux total le régime de la colonne devient stationnaire et on commence le soutirage.

La vapeur  $V$  de titre  $Y_n$  quittant le plateau supérieur est condensée en un liquide de même titre. On fractionne ce liquide en un distillat  $D$  de titre  $x_d$  et en un reflux  $L$  de titre  $x_0 = x_{n+1}$  on a donc :

$$V = L + D$$

$$V y_n = L x_{n+1} + D x_d \quad (1)$$

En écrivant étage par étage, le bilan matière en constituant le plus volatil :

$$\text{Plateau } n) \quad V_{y_{n-1}} + L x_{n+1} = V_{y_n} + L x_n$$

$$\text{Plateau } n-1) \quad V_{y_{n-2}} + L x_n = V_{y_{n-1}} + L x_{n-1}$$

---


$$\text{Plateau } i) \quad V_{y_{i-1}} + L x_{i+1} = V_{y_i} + L x_i$$

Le bilan matière en constituant le plus volatil du transfert qui se produit dans la partie supérieure de la colonne (condenseur compris) au dessus du plateau de rang  $i$ , s'obtient en ajoutant



membre à membre les relations ci dessus ,

$$V y_{i-1} + L x_{i+1} = V y_n + L x_i$$

et en tenant compte de (1)

$$V y_{i-1} = L x_i + D x_j$$

$$y_{i-1} = \frac{L}{V} x_i + \frac{D}{V} x_j$$

Cette relation du premier degré entre le titre de la vapeur qui pénètre sur un plateau , est l'équation de droite opératoire .

On peut écrire :

$$y = \frac{L}{V} x + \frac{D}{V} x_0$$

en posant  $\frac{L}{D} = R \rightarrow$

$y = \frac{R}{R+1} x + \frac{x_0}{R+1}$
---

#### Taux de reflux minimal :

L'intersection de la droite opératoire avec la courbe d'équilibre ( y , x ) aux points ( x<sub>d</sub> , y ) et ( x<sub>w</sub> , y\* ) permet de calculer aisément le taux de reflux minimal R<sub>m</sub> et la droite passant par ces deux points sera :

$$y = \frac{R_m}{R_m+n} x + \frac{x_d}{R_m+1}$$

Il on résulte que la droite opératoire correspond au R<sub>m</sub> représente une position limite de la droite opératoire , celle pour laquelle le nombre bde plateau est infini .

Une rectification effectuée avec un taux de reflux égale à R<sub>m</sub> ne permettrait théoriquement de recueillir q'une quantité infinitésimal de distillat .

On utilise en pratique un taux de reflux R = k R<sub>m</sub> ou K est un facteur généralement compris entre 1.2 et 2 , mais pouvant dans certains cas atteindre des valeurs supérieures .

### I. 3 RAPPEL DES LOIS D'ELECTROTECHNIQUE

#### I. 3.1 EQUIPEMENTS DE FORCE MOTRICE

##### Principe et conception :

##### 1°) caractéristique générale des équipements de force motrice :

Dans un équipement de force motrice ( pompe a vide , stabilisateur de température , compresseur , ... ) , l'ensemble des circuits et des matériels associés est utilisé pour

- La commande
- Le contrôle
- La protection

##### 3°) Contraintes du cahier des charges :

En général lorsqu'on veut construire une installation ,ou faire une conception d'un équipement on doit prendre en compte les données du cahier des charges qui précise :

- Les caractéristiques de grandeur et de forme du couple résistant de la machine entraînée :
- Les conditions d'exploitation de l'ensemble " équipement - moteur machine" .
- Les caractéristiques du réseau de distribution de l'énergie électrique

##### 3°) choix du moteur d'entraînement

Ce choix depend de 3 familles de facteurs mises en evidence par le cahier des charges :

- Les conditions de fonctionnement de la machine entrainée .  
nature du cycle de marche , couple nominale , vitesse nominale , etc...
- Les conditions locales d'exploitation ( temperature , altitude , atmosphere etc ...)
- Les contraintes de fourniture d'energie au moteur .

3.1/ Conditions de fonctionnement de la machine entrainée , les caractéristiques mécaniques couple résistant en fonction de la vitesse de rotation  $T_r = f(n)$  des machines entrainées est bien représentatives de leurs conditions de fonctionnement .

On distingue trois types principaux de caractéristiques mécaniques:

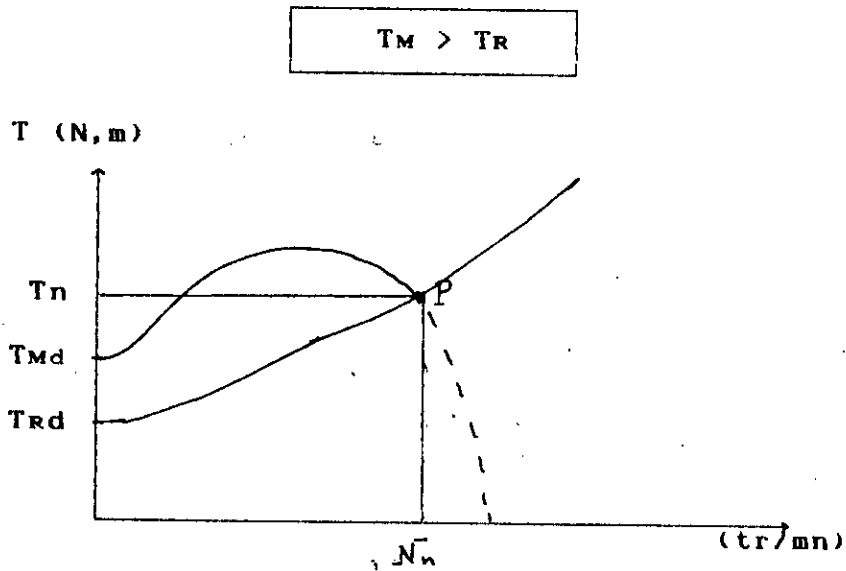
- 1°) Caractéristiques d'allure parabolique (exp : ventilateur , pompe à vide ...)
- 2) Caractéristiques à couple résistant constant (exp : engins de levage) .
- 3) Caractéristiques d'allure hyperbolique (exp : concasseur) .

Le processus de mise en service d'une machine met en evidence deux types de phases .

- Les phases stables.
  - Fonctionnement au régime nominal .
  - Arrêt
- Les phases transitoires
  - Décollage
  - Freinage
  - Changement ou variation de vitesse .

Dans toutes les phases transitoires (excepté la phase de freinage

) le couple moteur  $T_M$  doit être supérieur en valeur absolue au couple résistant  $T_R$  ;



À "P" où  $T_M = T_R$ , on définit le point d'équilibre ou de fonctionnement de l'ensemble "moteur machine". A ce point correspond le :

- Couple nominal  $T_N$ ,
- Vitesse nominale  $N_n$ .

### 3.2- Conditions locales d'exploitation :

Les conditions caractéristiques du milieu ambiant :

- Atmosphère (humidité, corrosion, explosion, poussières,...);
- Températures;
- Chocs mécaniques etc... .

Guident le choix du moteur ... vers les différents types proposés par les constructeurs :

- Moteurs protégés,
- Moteurs étanches,
- Moteurs antidéflagrants,

- Moteur tropicalises , etc ... .

### 3.3- Contraintes du réseau électrique :

Ces contraintes essentiellement d'ordre énergétique :

- nature du courant : continue ou alternatif .
- type de distribution : monophasé , triphase 3 ou 4 fils .
- grandeur de tension ,
- limite de l'intensité en ligne , limite de l'intensité en ligne sont imposées à l'utilisateur et doivent être prises en compte dans le choix du moteur .

### 1.3.2 MOTEURS ASYNCHRONES TRIPHASES

#### 1.3.2.1- Principe :

Le moteur asynchrone ou moteur à induction est un transformateur à champs tournant :

- le statorus en est le primaire , il est alimenté par le réseau d'énergie .
- le rotor en court-circuit est libre de tourner constituer le secondaire .

#### 1.3.2.2- Fonctionnement :

Les courants triphasés alimentant le stator donnent naissance à un champs tournant qui induit des courants dans les conducteurs du rotor (enroulement) . L'action du champs sur les courants rotoriques genère des forces électromagnétiques qui font tourner le rotor .

#### 1.3.2.3- Les vitesses de rotation :

- vitesse du champs tournant ou vitesse de synchronisme :

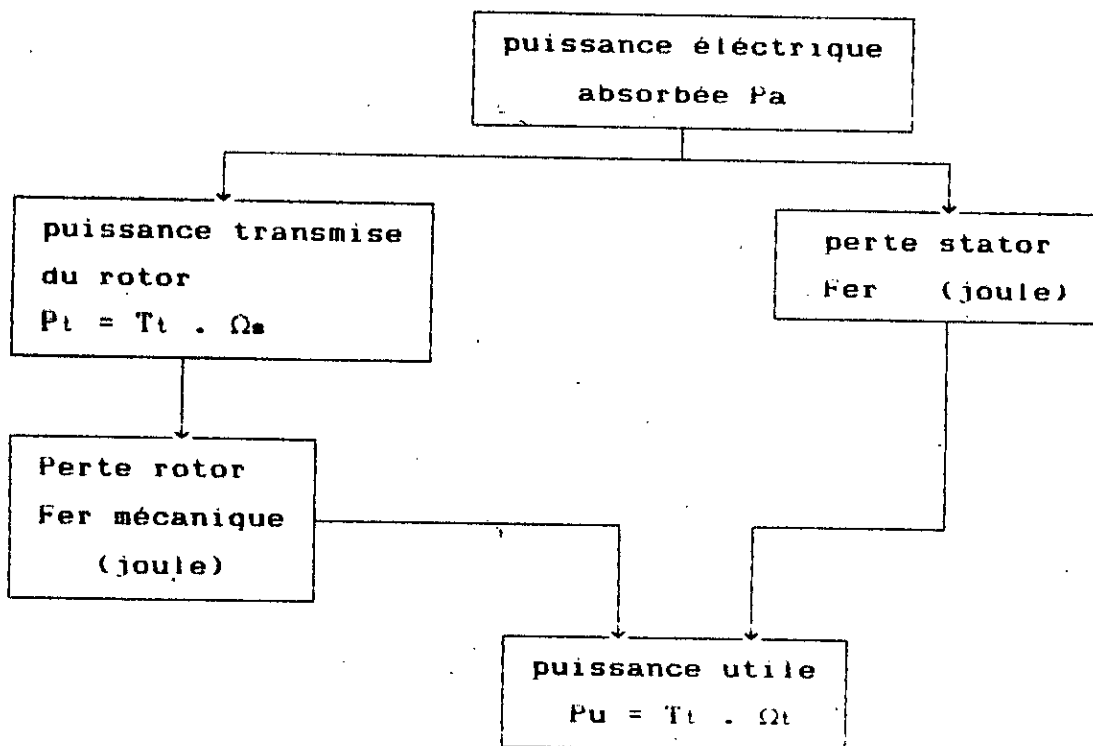
$$\Omega_s = \omega = 2 \pi n_s \quad (\text{rad/s}) \quad n_s (\text{tr/s})$$

$n_s = f/p$  :  $p$  nombre de pôles ,  $f$  : fréquence en hertz .

- vitesse rotorique de glissement :

le rotor tourne à une vitesse  $\Omega_r$  inférieure à la vitesse de synchronisme  $\Omega_s$ .

La différence  $\Omega_s - \Omega_r$  est dite vitesse de glissement .



$T_t$  : couple transmis au rotor

Rendement :  $\eta_i = P_n/P_a$

Rendement du rotor :  $\eta_r = n_r/n_s$

Remarque :

Si l'on charge le moteur , le glissement augmente et si le charge est très forte (puissance mécanique dans une machine outil

par exemple) aspirateur ou compresseur sans huile lubrifiante , ...), il peut arriver que le glissement soit tel que le rotor n'arrive plus à suivre Le champs tournant , il cale , et les plombs ou les disjoncteurs sautent , parceque le courant qu'il absorbe devient à ce moment exagéré .

### I.3.2 5/ PROBLEME DE DEMARRAGE.

#### Solutions générales au problème de démarrage :

Mis à part le démarrage direct , les différents procédés de démarrage (démarrage semi-automatique , démarrage par élimination de résistances statoriques, démarrage en  $\Delta$  et Y , ... etc ) .ont pour objectifs fondamental de limiter l'intensité absorbée en tout maintenant les performances mécaniques de l'ensemble "moteur machine entraînée" conforme au cahier des charges.

Dans le cas de moteur asynchrone cette limitation de courant est obtenue par :

- Une réduction de la tension d'alimentation , le courant est proportionnel à la tension .

Action sur le circuit primaire (stator ) démarrage par :

- Couplage étoile triangle ,
- Elimination de résistances statoriques ;
- Auto-transformateur .
- Une augmentation de la résistance rotorique :

Action sur le circuit secondaire (rotor) ,

- Démarrage par élimination des résistances rotoriques .
- Moteur à cage multiple .

### I.3.2.6/ Contraintes du cahier des charges des équipements de l'installation :

En voici les contraintes du cahier de charges des équipements de l'installation :

#### a/ Stabilisateur de température :

- Température maximum : 300 °C .
- Puissance thermique : 5 et 10 kw .
- Volume de la chaudière : 16 litres .
- Débit de la pompe : 4 cm<sup>3</sup>/h .
- Hauteur manométrique : 9 m .
- Poids du poste : 160 kg .

#### b/ Moteur asynchrone à vide :

Rendement = 0,75 ch .

n = 1410 tr/mn .

température ambiante = 40 °C .

nombre de phases = 3 à 4 fils (le 4ème pour la terre)

Démarrage étoile triangulaire :

$$\Delta V = 220 \text{ volt à } 3 \text{ A .}$$

$$\wedge V = 330 \text{ volt à } \sqrt{3} = 1,73 \text{ volt}$$

#### c/ Pompe à eau (du système de refroidissement fermée) :

POMPE GUINARD

Nombre de phase : 3 à 3 fils (sans fils de terre)

Fréquence : 30 Hz (en alternatif)

Démarrage triangulaire (démarrage direct)

$$\Delta V = 220 \text{ volt à } 3 \text{ A .}$$

$$\wedge V = 380 \text{ volt .}$$

Ampérage : 2,75 pour  $\Delta$  ,

et 1,60 A pour  $\wedge$





## PARTIE EXPERIMENTALE

### II.1- Les réparations faites sur l'unité :

Nous décrivons dans cette partie l'état initial de l'unité de distillation et nous cernerons les causes de son arrêt prolongé ainsi que les réparations réalisées sur cette unité .

#### II.1.1/ Circuit d'alimentation :

L'état initiale du corps de la pompe centrifuge était défectueuse (brisé , dû au mauvais articulation du support de la canalisation en verre , il n y a donc aucune protection du corps ainsi que la canalisation lie à ce corps contre les contraintes extérieure , cette pompe recevait directement toutes les vibrations, et tout les chocs mécaniques .

La réparation de cet organe nécessitait un traitement spécial. La soudure du verre au chalumeau , vue l'état de la pièce , ce traitement s'est avéré non rentable , car toute soudure exigeait une élévation de la température du corps à un certain ordre , que les fissures ne peuvent résister à cette augmentation exagérée de température , ceci entraine la mise en pièces du corps. On avait recours à l'araldite qui est solution temporaire .

Le second problème dans cette pompe était la présence importante de fuite de la charge , quantité non récupérable le long de l'arbre de la pompe , ceci est due principalement aux joints (bague de friction , bague de blocage ... (cf fig.12 page 32) .

Malgré le bon état du moteur de la pompe (moteur asynchrone)

nous étions contraint de mettre la pompe hors circuit .  
Avec cette dernière solution , est ce que l'alimentation ou bien la distillation sera assurée en continu ou en discontinu .  
La réponse est que pour une distillation atmosphérique , l'alimentation en continu peut être pratiquée et ceci en alimentant la charge par le haut de la colonne dans le ballon de 20 litres en continu .Le manipulateur dans ce cas veillera à ce que le niveau dans le ballon soit toujours fixe en amenant toute la charge plus de 50 litres du premier étage du hall de génie chimique .

Dans la distillation sous vide en continu , cette méthode ne peut être appliquée car en assurant la continuité de l'alimentation dans le ballon on perturbera la Pression régulée ainsi que l'équilibre liquide-vapeur dans la colonne .

Donc vue que la distillation continue exige une grosse quantité de charge (pour 50 litres de mélange " d'acide acétique (+) eau " et pour  $x_F = 30\%$  en acide il nous faut presque 29 litres d'acide ...) et la mise hors circuit de la pompe centrifuge . Il est préférable dorenavant d'adopter une distillation discontinue seulement .

#### Suggestions :

- Se procurer un nouveau corps (par moulage du verre) .
  - serrer bien les joints causes de fuites .
- ou bien se procurer simplement une pompe centrifugeuse .  
répondant au caractéristiques du cahier des charges (corrosion , hauteur manométrique , température de marche , ...)

Si on adopte l'une de deux solutions on doit aussi placer deux vannes à passage direct ( $V_1$ ) et ( $V_2$ ) et une vanne de soutirage ( $V_3$ ) , afin de régler l'écoulement de la charge . Dans le but d'assurer plus de trois fonctions à la fois :

- soit; alimenter directement le rebouilleur .
- soit; alimenter le préchauffeur indépendamment du rebouilleur .
- et soit; faire le vidange de la charge en cas de récupération de la charge .

### II.1.2/ Pompe à vide :

#### 1- Moteur asynchrone :

Nous avons constaté dès le début la présence de fuite d'huile lubrifiante (10 k) le bobinage était donc noyé :

- le réservoir accessoire au aspirateur d'air était vide d'huile lubrifiante .

- les boulons liants les trois compartiments :

- le réservoir d'huile ,
- aspirateur ( fonctionnement inverse du compresse)
- moteur électrique .

étaient mal serrés .

Ces problèmes résultaient du manque de maintenance et de vérification périodique de l'équipement . car à chaque semestre (3 mois de marche) il faut serrer les joints. en effet les vibrations du moteur machine causent le problème d'ouverture des joints .

En mettant en marche la pompe . nous avons remarqué une apparition du feu au niveau du moteur électrique et le disjoncteur s'est manifesté .

L'explication du premier phénomène revient à ce que la présence d'huile lubrifiante sur le bobinage ainsi que le source d'énergie (étincelle) . On fait que le feu se déclanche (c'est ce qu'on appelle en hygiène et sécurité de travail le triangle de feu) il faut donc éliminer le comburant ici l'huile lubrifiante .

Le deuxième phénomène résulte surtout du fait que le moteur était en surcharge (engrenage de l'arbre non graissé, manque de l'huile lubrifiante qu'est rendait la charge sur le moteur exagérée) le moteur n'arrivait pas à se synchroniser, il calait et le disjoncteur "sautait".

Résultats : - Les fusibles de l'armoire principal inefficaces .  
- Moteur électrique à une phase d'enroulement de fils intacte, et les deux autres phases ne fonctionnaient pas .

P.S : L'alimentation du moteur est fournie de l'armoire électrique principale .

## 2/ Système de régulation :

### 2.1/ Etat initiale du système de régulation :

1°/ L'électrovanne (V4) était débranchée du circuit électrique d'alimentation de l'armoire de la pompe à vide .

- sa bobine n'existait pas .

Le rôle de cette vanne (V4) était de laisser l'air refoulé à l'intérieur une fois que l'électrovanne (V2) serait fermée (cette fermeture se réalise en régulant la pression désirée) pour éviter la cavitation de l'aspirateur .

2°/ L'électrovanne (V1) était en bon état de marche (car elle se trouvait protégée du milieu extérieur par l'armoire blindée de la pompe ...)

2.3°/ Le manostat différentiel à mercure "P.G.E" contenait une quantité de mesure insuffisante (car lors de la mise en marche de l'appareil le fil de tungstène prenait beaucoup de temps pour chauffer le mercure qui se dilatait et atteindra l'autre fil et

fermera , ainsi l'interrepeteur du circuit , à cause de cette faible quantité de Hg , la régulation prenait un temps de reponse très long pour atteindre la pression désirée . Depuis (1975)[1] l'aiguille du manomètre mettait beaucoup de temps pour se fixer sur la pression du vide désirée , il a fallu allumer le bouton de touche régulation de vide avant que l'aiguille n'atteindra la pression voulue .

2.4°/ L'aiguille du manomètre à membrane en lame d'acier inoxydable ne descendait pas plus de 600 mmHg au début .

2.5°/ Le fluide auxillaire (essentiellement de l'eau) était impropre (milieu agressif qui peut endommager le reservoir tampon ...)

2.6°/ l'électrovanne (V2) etait debranchée de son entrée indiquée dans le relais électronique de l'armoire blindée par (E1) et (E2) .

- l'axe de V2 etait grippé .

- la bobine de (V2) se trouve en bon etat après son test

le role de cette electrovanne etait de s'ouvrir une fois le contact de mise en marche general est allumé faisant ainsi la rentrée de l'air refoule de l'aspirateur dans le reservoir tampon , et de se fermer lors de la regulation du vide .

## 2.2 Travaux réalisés :

2.2.1 le remplissage du manostat en quantité de mercure suffisante permettant le " contact à mercure " et reduisant ainsi le temps de réponse du système de regulation en même temps.

le renouvellement de l'eau joignant ce mercure dans les branches du monostat en même niveau .

2.2.2 - La mise en pieces des vannes (V2) , (V3) , (V4)

- nettoyage des canalisations liants ces trois vannes et degrippage des deux electrovannes (V2) et (V4) par un degrippeur ( en general l'essence suffira )

- branchement de l'electrovanne (V2) à son circuit d'alimentation situé sur la télécommande " P.C " .

- la mise en marche de l'electrovanne (V2)

2.2.3 - changement de fluide auxillaire par l'eau propre

2.2.4 - En essayant d'aspirer de l'air par la canalisation menant au deux manometre (R.1.1) et (R.1.2) par une seringue on a remarqué que l'aiguille descend jusqu'à 200 torrs voir jusqu'à 100 mmHg (100 torrs) . donc les manomètres marchaient bien sauf quand en essayant à blanc i.e l'air est refoulé dans l'atmosphère et aspirer du reservoir tampon l'aiguille n'atteignait pas plus 600 torrs dans ce cas , Notre souci était de la faire descendre jusqu'à 5 torrs .

En démantant plusieurs fois le compartiment machine et en nettoyant la chambre à air (chambre à deux palettes ; c'est pour cette raison qu'on dit que c'est une pompe à palettes à fluide auxillaire) et ainsi on renouvelant l'huile lubrifiante qui se trouve plus vite degrader (sales changement de couleurs , ...) on a descendait jusqu'à les 520 mm .Hg .

En serrant bien les joints par des coulés et en coupant les morceaux tuyaux inutilisables , et en renouvelant les tuyaux joncteurs entre l'enceinte à vider et l'appareil de vide on a descendait jusqu'à 350 mmHg du cadran graduée de 0 - 760 torrs , c'est juste le milieu à savoir , lors du suivi des conditions de fonctionnement de l'appareil durant les années passées on a jamais dépasse les 380 torrs i.e 0,5 atmosphère .

Et tant que l'appareil aspire de l'air de l'atmosphère à travers les différents joints , on n'espère pas un meilleur resultat sauf

si on serre bien les joints de tout la colonne : canalisation , robinets , condenseur , on peut descendre un peu plus bas si on change la canalisation du verre par des tuyaux de faibles diamètres.

#### 2.2.5/ Le robobinage du moteur électrique .

##### Suggestions :

##### sur le système de regulation :

2.3.1/ L'électrovanne (V<sub>4</sub>) malgré qu'elle se trouve depourvue de sa bobine son travail peut être remplacée manuellement c.à.d la déboucher et l'ouvrir au bon mouvement (fermée avant la regulation, et ouvert après l'allumage du bouton de régulation) .

2.2.2/ Ou bien se procurer une bobine ressemblant à celle du (V<sub>1</sub>) et de la branche sur les mêmes entrées (E<sub>1</sub>) et (E<sub>2</sub>) avec la (V<sub>2</sub>) sur la télécommande .(P.C)

Si on adopte la première solution , il est très séduisant de mettre aux extrémités du fil d'alimentation de cette bobine (la sortie) une lampe indiquant le bon moment de l'intervention du manipulateur car à ce moment quand la mercure mais le contact entre les deux fils de tungstène le potentiel atteint les 220 volts sur E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub> tandis qu'avant il n'atteignait pas plus les 50 volts (avant la régulation) .

2.3.3/ Vérifier de temps en temps le niveau de mercure (si sur le cadran l'aiguille n'arrive pas à ce fixer) et agir avec souplesse envers le manostat surtout quand il est chaud .

2.3.4/ Il est préférable de prendre de l'eau distillée comme fluide auxiliaire et de le changer de temps en temps , pour éviter la



corrosion et la conduction électrique .

2.3.4/ Périodiquement (trois mois de marche) serrer les boulons joignant les trois compartiment de la pompe à vide .

2.3.6/ Pour éviter le mouillage du bobinage , il est très pratique d'incliner vers le haut le moteur électrique afin d'éviter la fuite d'huile vers le moteur électrique à travers l'arbre de rotation .

11.1.3/ L'armoire de control et de régulation :

3.1- Etat initial :

Appareil délivrée au département génie chimique , sans mode d'emploi et essentiellement sans cartes de reseaux électriques et électroniques qui peuvent nous être très utiles lors de son inspection par un electricien ou un ingénieur soit pour comprendre le système de fonctionnement , ou soit en voulant faire une maintenance très spécialisée donc il nous manquait beaucoup de renseignements concernant l'appareil .

Au début le bouton marche générale marchait bien , mais après que le moteur de la pompe à vide a calé l'armoire ne fonctionnait plus .

3.1.1/ Dans l'enregistreur où le stator marquait les températures des thermocouples , le rotor ne fonctionnait pas en inspectant les deux étages de l'armoire portant les deux enregistreurs on trouve dans chaque étage et sur le même niveau que deux relais thermiques à lame en cuivre étaient enlevées et non remplacées (ils n'existaient même pas ) ou il y a lieu des traces de calcination du réseau .

Toujours en testant les autres relais restant (relais thermiques) il y a ceux qui ont des diodes endommagées donc le système de protection (thermique + diodes ...) se trouvait dans un état critique de plus derrière chaque rotor (il y a deux rotors) à côté de la boîte d'alimentation se trouve trois types de boîtes noires dans le début on croyait que c'était des relais électroniques, mais réellement se sont des résistances de rôle inconnus faute de manque de renseignements non délivré par le constructeur (E.I.V.S) on avait sur nos, mais une simple carte qui sert à identifier les files par numérisation parmi ces trois résistances citées ailleurs, deux n'existaient pas.

Donc au total ; il manquait quatre relais thermiques et quatre résistances et plus un nombre non déterminé de diodes défectueuses.

3.1.2/ Deux thermocouples fonctionnaient mal, le T8 et le T9, le 1er dès le début de chaque manipulation indiquait les 200 °C et l'autre au plein bouillage indiquait moins de 0°C alors que la température de la colonne dépasse les 100 °C au moyenne.

3.1.3/ Le taux de reflux : Vu que le mécanisme de l'ouverture et la fermeture de la tête de reflux était électropneumatique, la résolution de la régulation résultait donc de vérification des deux aspects du mécanismes.

- Aspect électrique (bobinage),
- Aspect pneumatique (air comprimé du compresseur).

3.1.4/ La consigne noire de réglage de perte de charge ne fonctionnait pas. Le problème résultait de la boîte articulée juste à côté du préchauffeur au dessous de électrotravanne à l'huile.

Cette boîte comporte deux compartiments afin de comparer les deux

niveaux de hauteur et transmettre cette différence comme une perte de charge entre la tête du rebouilleur et le sommet de la colonne au circuit électrique de l'armoire où l'armoire traduira cette différence par mobilisation de la consigne noire .

3.1.5/ La régulation de température du préchauffeur fonctionnait bien la régulation automatique fonctionne bien tandis que le réglage manuelle ne fonctionne pas .

3.1.6/ En allumant le bouton de pompe centrifuge le moteur tourne donc elle est en bon état électrique quoique elle se trouve hors circuit pour des raisons cités déjà ailleurs .

3.1.7/ les deux électrovannes à l'huile celle qui règle la température en haut près du préchauffeur et celle qui règle la température du bouilleur ( en relation directe avec la perte de charge, c'est une relation linéaire... ) avaient la longueur de leur course différente ( normalement une course correspond à 102 secondes ).

## II.1.5/ TETE DE REFLUX :

### 5.1- Etat initial :

5.1.1- La lampe témoignage fonctionnait bien mais nous avons des problèmes avec le mécanisme d'ouverture et de fermeture de la tête de reflux .

5.2.1- Présence d'étanchéité (anomalie déjà signalée) [1] [2] .

### 5.2- Les travaux réalisés :

5.2.1- En testant le réseau électrique de la tête de reflux ce côté électrique (bobine) ne posait aucun problème , compte tenu de fonctionnement de la tête de reflux qu'est électropneumatique, rester le côté pneumatique qui est assuré par le compresseur, l'air comprimé n'arrivait pas à la tête de reflux le tuyau en cuivre était bouché par des impuretés avec le temps et la compression ils ont pris un aspect solide .

Nous avons donc débouché cette canalisation au lieu de la découper et de la souder de nouveau .

#### SUGGESTION :

- Pour éliminer toute étanchéité, il faut changer le morceau d'élastomère (qui oriente l'injection du distillat dans l'ouverture de récupération par un morceau de plastique dur résistant (ne se dilate pas) aux températures élevées .

Ou bien d'enlever carrément cet élastomère , et ceci après le démontage du condenseur .

#### II.1.6/ CIRCUIT FERME DE REFRIGERATION :

##### 6.0- Le principe de fonctionnement du circuit de refroidissement :

Le refroidissement du condenseur est assuré par la circulation d'une quantité d'eau dépendant de la puissance du groupe déservi .

Cette eau rechauffée lors de son passage dans le condenseur se refroidit dans ce réfrigérant atmosphérique humide qui peut être considéré comme un échangeur dans lequel l'eau se refroidit au contact direct de l'air .

Le principe de fonctionnement consiste donc à provoquer

simultanément par ce contact, l'évaporation d'une fraction de cette eau chaude du condenseur et le refroidissement corrélatif de l'eau restante. Ainsi l'échange thermique s'effectue à la fois par évaporation partielle de l'eau et par convection entre le circuit d'air de refroidissement et le circuit d'eau alimentant le réfrigérant. La part d'énergie thermique enlevée par l'air par simple convection est plus ou moins importante suivant la température sèche de l'air de ventilation.

Aussi, l'effet de convection permet d'enlever environ 40% de l'énergie thermique échangée par temps très froid, soit une température de l'air sec de 0°C environ. Par contre en été lorsque la température de l'air sec atteint 25°C, la part de la convection dans l'échange thermique total ne sera plus que de 10%.

#### 6.1- Etat initial de la toure de réfrigération :

La toure se trouve dépourvue de tout son circuit réfrigérant lors des premiers travaux, on a remarqué :

6.1.1- L'absence de tout trace de surface de ruissellement ( les quatres sections )

6.1.2- L'inexistence du ventilateur

6.1.3- Le débranchement de la tuyauterie amenant l'eau chaude .

6.1.4- Bac rempli de tartes , algues , ...

#### 6.2- Travaux réalisés :

6.2.1- Nettoyage du bac .

6.2.2- Branchement de l'arrosoir en cuivre au tuyauterie

amenant l'eau chaude .

6.2.3- Vue que on ne pourrait pas construire un réfrigérant à gradins de quatre côtés chaque côté porte environs 10 plaques de faibles épaisseurs et de dimensions bien déterminée avec du bois spécial (même les courtes plaquettes normales n'existent pas dans la menuiserie de l'école) .

On n'a pu faire qu'un seul côté, il en reste donc trois côtés à faire, de même on ne pouvait procurer un ventilateur assurant le bon transfert thermique .

Malgré ce problème, pour le moment et compte tenu de la dimension du bac on a jugé nécessaire de transférer le mode de réfrigération à gradins à tirage force en mode très simple le deuxième type de réfrigération à aération naturelle : à tuyères pulvérisatrices donc le réfrigérant est un bac à ciel ouvert et un arosoir pulvérisateur qui présente lui aussi les caractéristiques d'une tour à tirage forcé mais ne comportant ni ventilateur ni surfaces de ruissellement

#### SUGGESTION :

- Réparation des surfaces de ruissellements ceci une fois le matériau existerait chez le menuisier .
- Procurer un ventilateur permettant ainsi le meilleur contact entre air-eau chaude .
- Repeindre l'intérieur du bac afin d'éviter le corrodage de ce dernier (malgré la résistance du cuivre au milieu agressif, atmosphère, eau ... ) .
- Pratiquement lors du refroidissement afin d'éviter la formation de bulles d'air dans les serpentins , il est préférable que

l'entrée d'eau froide soit du bas en haut , tandis que dans les refroidisseurs, et dans le condenseur on a le cas contraire , ce qui exige une prudence supplémentaire lors de l'ouverture des vannes ou la fermeture .

- Si le moteur de la pompe à eau ne marche plus , vérifier directement la boîte d'allumage qui est équipée d'un sectionneur portant trois fils d'alimentation de 220V . Ces trois fils sont liés à trois fusibles de 25 A . (fusibles en simple fils) .

## II.2/ ETUDES POUVANT ETRE REALISEES PAR L'UNITE

Nous avons jugé utile de mentionner dans cette partie, les différentes études qu'on peut réaliser avec cette unité réparée .

Cette partie peut être qualifiée, comme étant une valorisation de cette installation de nouveau mise en marche .

Ces études étant basées sur la vaporisation , il convient pour bien comprendre les phénomènes intervenant dans ces études de rappeler à chaque étude quelques-uns des résultats les plus importants relatifs à l'équilibre liquide vapeur des mélanges binaires , compte qu'il existe deux types de mélanges , classés d'après la solubilité réciproque des constituants .

- Les mélanges homogènes comprennent :
  - Les mélanges normaux parmi lesquels on rencontre les mélanges idéaux .
  - Les mélanges anormaux ou azéotropiques .
  - Les mélanges hétérogènes .

chaque étude se subdivise selon la catégorie du mélange .

Parmi ces études on cite :

11.2.1. A partir de la courbe d'ébullition et de rosee, étude du point d'ébullition pour une concentration donnée .

11.2.1.1. Diagrammes isobares des mélanges homogènes :

11.2.1.1.1. Mélanges homogènes normaux :

11.2.1.1.1.1. Diagrammes (T,X,Y) :

Par détermination expérimentale de la température d'ébullition commençante de différents mélanges de composition connue, on trace la courbe qui représente la variation de cette température en fonction du titre du liquide . Cette courbe appelée isobare d'ébullition commençante ou plus simplement isobare d'ébullition à la forme ALB de la FIG 1 . Dans le cas d'un mélange normal , elle s'élève plus au moins rapidement du point d'ébullition A B du liquide moins volatil, sans présenter ni maximum, ni minimum , autrement dit, pour un mélange normal, la température d'ébullition est toujours comprise entre les points d'ébullition des deux constituants purs . L'isobare d'ébullition permet de connaître la composition du mélange qui bout à une température donnée .

On trace sur le même diagramme (fig 1) la courbe AVB donnant la composition de la vapeur en équilibre avec le liquide à la température d'ébullition du mélange . Cette courbe est l'isobare de rosée .

On constate qu'elle passe par les points d'ébullition A et B des liquides purs et qu'elle est toujours située au dessus de la courbe d'ébullition .

Les isobares d'ébullition et de rosée partagent le plan du diagramme en trois régions :



- Region I mélange liquide .
- Region II : Mélange à l'état vapeur
- Region III : mélange liquide vapeur de composition différentes à une température donnée .

dans la région III aux points conjugués LV le titre de la vapeur  $y$  (V) est toujours supérieure à  $x(L)$  par suite des positions respectives des isobares d'ébullition et de rosée, la vapeur émise est toujours plus riche en constituant le plus volatil .

#### 11.2.1.1.2 Cas particuliers des mélanges normaux :

Un mélange idéal se définit comme vérifiant en solution la loi de Raoult et suivant en phase vapeur les lois de Henry et de Dalton .

De tel mélanges constituent une catégorie importante de mélanges normaux .

Dans le cas particulier d'un mélange binaire :

La relation : 
$$x = \frac{P - P_2}{P_1 - P_2}$$
  $P_1$  et  $P_2$  tensions maximales des deux constituants purs .

$P$  : pression totale

Montre dans le cas d'un mélange idéal les titres molaires en constituant le plus volatil des deux phases en équilibre peuvent être calculés à partir des tensions maximales de vapeurs de chacun des deux constituants à la température considérée et de la pression totale  $P$  sous laquelle on opère :

### 11.2.1.1.1.3- Diagramme y,x ou diagramme d'équilibre :

La relation

$$y = \frac{\alpha x}{(\alpha-1)x+1} \quad \text{ou } \alpha \text{ volatilité relative}$$

rapport des volatilités absolues des constituants le plus volatil sur celle du moins volatil s'applique à la totalité des mélanges normaux, elle exprime le lien qui, dans le cas de ces mélanges, à chaque température, le titre de la phase vapeur à celui de la phase liquide.

Lorsque  $\alpha$  est constante le graphe de cette fonction est une branche d'hyperbole équilatère passant par l'origine ( $x=0$  et  $y=0$ ) et par le point de coordonnées (1,1) situé sur la droite à 45°. Cette courbe est l'isobare d'équilibre liquide-vapeur, ou diagramme y,x.

On l'a construit (Fig 2) en utilisant les valeurs de x de y qui se correspondent sur le diagramme d'ébullition est de rosée, pour différentes valeurs de la température.

On constate que lorsque  $\alpha=1$ , la relation devient  $y = x$ . Dans un tel cas, quelle que soit la température, la composition de la phase vapeur est, sous pression constante égale à celle de la phase liquide. On ne espère séparer ces constituants par distillation. La possibilité de séparer les constituants augmente avec  $\alpha$ . Pour de très grandes valeurs de  $\alpha$ , la phase vapeur est pratiquement constituée par le constituant le plus volatil.

### 11.2.1.1.2. Mélanges homogènes anormaux :

Ce sont les mélanges homogènes qui présentent les écarts importants avec la loi de Raoult. En particulier, leur température

d'ébullition passe :

- Soit par un maximum, supérieur au point d'ébullition du liquide le moins volatil .

- Soit par un minimum, inférieur au point d'ébullition du liquide le plus volatil .

ce phénomène constitue l'azéotropie .

a/ L'azéotropie à point d'ébullition maximal correspond à un abaissement de la tension de vapeur des constituants ; elle est pour cette raison, dite négative . Parmi les systèmes présentant ce type d'azéotropie, nous citerons les solutions aqueuses de certains minéraux (HCl, HNO<sub>3</sub>, ...) ainsi que les couples acetone-chloroforme, ethanol-toluène .

Les diagrammes dont la composition correspond au maximum de la courbe d'ébullition est appelé azéotrope, il émet une vapeur de même titre que le liquide . Les courbes d'ébullition et de rosée sont toutes deux au même point . L'azéotrope bout à une température constante et sa vapeur se condense à la même température .

Dans le courbe d'équilibre (fig 3.b) pour les mélanges de titres inférieurs à celui de l'azéotrope, la vapeur est moins riche que le liquide en constituant le plus volatil . Pour des titres supérieurs il ya inversion de la volatilité .

b- L'azéotropie à point d'ébullition minimal :

Resulte d'une élévation des tensions de vapeurs: elle est dite positive les mélanges présentant une telle azéotropie se rencontrent très fréquemment citons par exemple les couples (acide acétique-n.octane) , (ethanol-benzène) , (ethanol-eau,) (chloroforme-éthanol) .

### 11.2.1.2. Mélanges hétérogènes :

Dans ces mélanges qui s'écartent totalement de l'état idéal, la solubilité réciproque des deux constituants liquides peut être partielle ou nulle .

Dans le premier cas le diagramme d'ébullition (fig 5a) présente un palier indiquant que la température d'ébullition reste constante sur un grand intervalle de titres .

Dans la région de non-mixibilité, c'est à dire pour les titres  $x$  compris entre  $x'$  et  $x''$ , il y a trois phases : le système est donc univariant . Pour une pression donnée, la température d'ébullition est la même dans tout l'intervalle  $x'x''$  .

La courbe d'équilibre (fig 5.b) remonte la diagonale en un point qui , dans le cas général, se trouve dans la zone d'insolubilité .

Pour un mélange dont la composition correspond à ce point le titre de la vapeur est égal à celui des deux phases liquides réunies .

Lorsque les deux constituants liquides sont pratiquement insolubles l'un dans l'autre , la courbe d'ébullition se déduit de la précédente (fig 6) par allongement de l'intervalle des titres ou températures d'ébullition en restant constantes. Cette courbe est composée de deux branches AC et BD pratiquement verticales et du segment horizontal CD . La température d'ébullition est inférieure à celle des deux constituants purs .

La courbe de rosée comprend les branches AM et BM . Au point de rebroussement M qui appartient aux deux courbes , correspond un liquide de titre  $x_0$  qui , par ébullition, fournit une vapeur de même composition .

Sauf au voisinage des titres 0 et 1 , le système est unvariant et, sous pression constante, la température du mélange reste fixe .

Dans un mélange de deux liquides insolubles , chacun des constituants se comporte comme s'il était seul, autrement dit , à chaque température , chaque corps possède une pression partielle dans la vapeur qui est indispensable de la masse de chacun des corps en présence .

Il en résulte que le titre du constituant le plus volatil dans la phase vapeur donné par  $y = p_1/P_1$  reste constant .

(puisque la tension de vapeur  $P_h$  et la pression partielle  $P_1$  sont constantes )

La courbe d'équilibre (fig 6.b) est donc une droite horizontale sur presque toute sa longueur . Elle rencontre la diagonale en un point pour lequel la composition de la vapeur reste à la composition globale de l'ensemble des deux liquides , soit  $x$  .

Pour des mélanges de composition globale  $x < x_0$  , la vapeur est plus riche que le liquide en constituant le plus volatil .

Lorsque  $x > x_0$ , il ya inversion de la volatilité et la vapeur est moins riche en ce constituant que le liquide initial, dans ce dernier cas (  $x > x_0$  ) l'enrichissement de la vapeur en constituant le plus volatil , est impossible . C'est au contraire un appauvrissement .

Pour tous les mélanges compris dans l'intervalle  $x'x''$ , la vapeur émise garde la même composition . celle-ci ne varie que si  $0 < x < x'$  ou si  $x'' < x < 1$  .

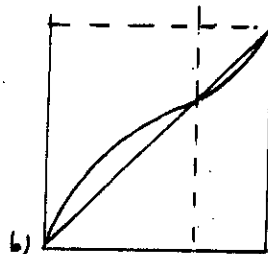
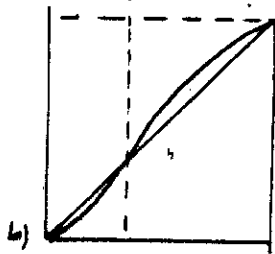
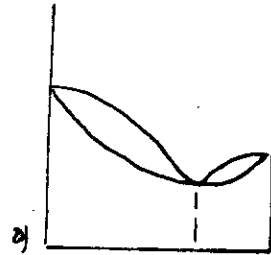
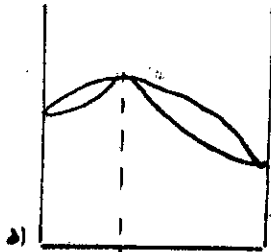
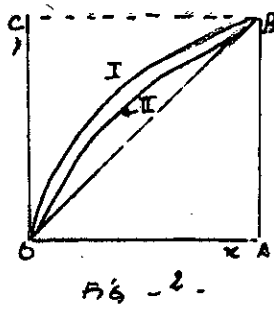
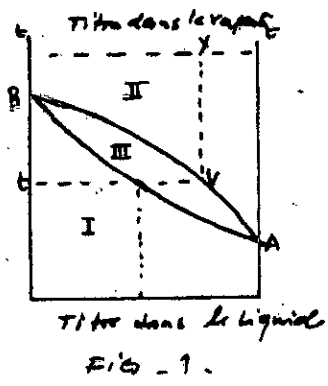
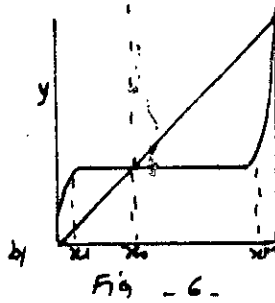
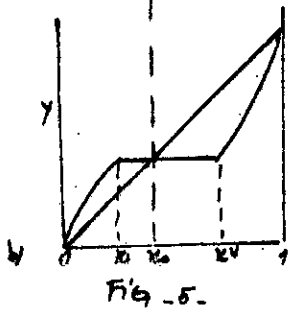
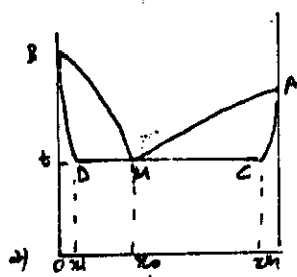
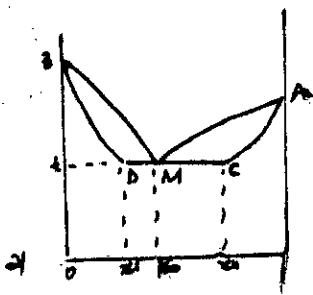


Fig - 3 -  
Azotropie negative

Fig - 4  
Azotropie positive



## II.2.2 NOTION D'EFFICACITE:

Avec le diagramme concentration en phase liquide et gazeuse du composant le plus volatil ( $y = f(x)$ ), et par la méthode de McCabe et Thiele, loi de Fenske, on peut étudier :

- L'efficacité d'un plateau à calotte .
- Notion de plateaux théoriques et réels .

### II.2.2.1. Mécanisme d'interaction liquide vapeur :

L'efficacité d'un plateau est mieux étudiée en axant l'attention sur le mécanisme de l'interaction de la vapeur et du liquide sur un plateau réel .

En effet les trous dans la calotte à bulles sont submergés dans le liquide et la profondeur de submergence peut être contrôlée par la profondeur liquide au dessous du plateau . La vapeur qui passe à travers les trous forme une multitude de petites bulles qui s'élèvent à travers le liquide .

Généralement les calottes sont placées assez proches les une des autres et les bulles qui sortent de l'une rentrent en collision avec celles qui sortent des calottes adjacentes augmentant ainsi la surface de contact .

L'écoulement du liquide se fait à travers le plateau, pour que ceci se produise il faut qu'il ait un gradient hydraulique de bas en haut .

### II.2.2.2. Calcul de l'efficacité :

Il est assez rare que l'efficacité d'un plateau réel coïncide

avec celle d'un plateau théorique .

Il en résulte que si l'on désigne par E l'efficacité réelle d'une colonne dont les plateaux sont supposés avoir tous la même efficacité, le nombre de plateaux théoriques N obtenu par la méthode de Mac Cabe est à diviser par "E" pour obtenir le nombre de plateaux réels .

L'efficacité peut être définie de trois manières différentes :

a- L'efficacité moyenne (ou globale) "E" d'une série de plateaux :

On définit l'efficacité par :

$$E = \frac{\text{nombre de plateaux théoriques assurant un enrichissement donné}}{\text{nombre de plateaux réels assurant le même enrichissement donné}}$$

b- Efficacité locale :

Si on considère le plateau (n) qui reçoit de la vapeur du plateau inférieur  $Y_{n-1}$ , la composition du liquide, sur le plateau (n)  $X_n$  est en équilibre thermodynamique avec la vapeur de composition  $Y^*$  l'efficacité locale en terme de vapeur sera définie par :

$$E_{oV} = \frac{Y - Y_{n-1}}{Y^* - Y_{n-1}}$$

de même en terme liquide l'efficacité locale sera définie par :

$$E_{oL} = \frac{X_{n+1} - X}{X_{n+1} - X^*}$$

où : X : la composition du liquide sur le plateau (n)

$X^*$  : la composition en équilibre thermodynamique

avec Y la composition de la vapeur



### C- Efficacité individuelle ou efficacité de Murphrée " E<sub>M</sub> " :

Cette définition considère les compositions moyennes des phases liquides et vapeurs arrivant sur le plateau .

On suppose que la colonne est en état de régime stationnaire . Le plateau de rang n ( numérotation à partir du bas ) reçoit une vapeur de composition  $X_{n-1}$  .

Soit  $X_n$  la composition moyenne du liquide s'échappant du plateau .  $Y_n$  serait en équilibre thermodynamique avec une vapeur de composition  $Y_n^*$  . La vapeur s'échappe du plateau a une composition  $Y_n$  .

$$EMV = \frac{Y - Y_{n-1}}{Y^* - Y_{n-1}}$$

$E_M$  est appelée efficacité de murphrée en terme vapeur .

On peut définir l'efficacité de murphrée en terme liquide .

$$EMM = \frac{X_{n+1} - X}{X_{n+1} - X^*}$$

avec  $X_{n+1}$  : la composition moyenne du liquide arrivant sur le plateau (n) .

$X_n^*$  : la composition en liquide qui serait en équilibre thermodynamiquement avec la vapeur de composition  $X_n$  s'échappant du plateau (n) .

### II.2.2.3/ FACTEURS INFLUENCANT L'EFFICACITE D'UN PLATEAU :

Les facteurs qui influencent l'efficacité de contact, donc l'efficacité du plateau peuvent être classes en deux groupes .

1- Ceux qui sont en rapport direct avec la conception et la construction du plateau et l'écoulement du liquide à travers ce plateau .

2- Ceux qui contrôlent le transfert des constituants entre le liquide et la vapeur , comme le passage des bulles à travers le dépôt liquide sur le plateau .

Dans le premier groupe de facteur il a été montré que l'efficacité d'un plateau augmente avec le débit de vapeur (calculé sur la section totale de la colonne) quand ce dernier est faible , et reste constante sur toute une gamme de débits, et chute à de plus grands débits .

Le chemin du liquide traverse le plateau a également un effet sur l'efficacité du plateau .

- Si le chemin du liquide est assez long, que des différences appréciables dans la composition du liquide existent en différents points du plateau ceci pourrait être en équilibre avec le liquide sortant .

Les résultats de l'efficacité de murphrée sont alors au dessus de 100% de telles efficacités sont atteintes surtout pour les colonnes de grands diamètres .

Le professeur Kirschboun et son équipe ont étudié l'influence du débit de vapeur l'efficacité murphrée , en faisant varier divers paramètres .

Kirschboun définit une vitesse de vapeur admissible qui correspond au point où l'efficacité commence à chuter .

- L'efficacité varier avec le rapport .

section du tube à vapeur x 100

$\rho_h =$ 

Section de la colonne

Une augmentation de  $\rho_h$  entraîne généralement une diminution de l'efficacité .

- La pression influe peu sur l'efficacité , une diminution importante de la pression entraîne une légère augmentation de l'efficacité , mais a pour avantage d'obtenir d'assez grands débits de vapeurs sans atteindre l'engorgement .

- L'augmentation du taux de reflux entraîne une meilleure séparation des constituants donc une efficacité plus élevée .

- Le diamètre  $d_r$  du tube de vapeur influe sensiblement sur l'efficacité murphrée , une diminution de ce diamètre entraîne une amélioration de l'efficacité

L'efficacité varie également en fonction de la nature des éléments séparant le liquide et la vapeur et les paramètres liés à la construction des calottes

#### II.2.2.4. INFLUENCE DES PARAMETRES PHYSICO-CHIMIQUES SUR L'EFFICACITE

##### \* Influence de la pression :

La pression est l'un des facteurs physiques les plus importants dans la distillation

La réduction de la pression de marche provoque un abaissement de température d'ébullition

Inversement toute augmentation de pression entrainera une élévation de la température de condensation

La pression influe sur le nombre de plateaux théoriques, ce qui revient à dire qu'elle influe sur l'efficacité globale de la colonne

En effet un abaissement de pression entraîne une élévation notable de la volatilité idéale et la séparation exige un nombre inférieur de plateaux. Cela se traduit graphiquement par une augmentation de l'écart entre la courbe d'équilibre et la première bissectrice. La variation de la pression influe sur les paramètres physico-chimiques

★ Influence du produit :

Elle n'est autre que : volatilité  $\times$  viscosité ( $\alpha\eta_L$ ) les recherches effectuées sur l'efficacité d'un plateau soit sur les colonnes expérimentales de laboratoire, soit sur les colonnes fractionnées commerciales, ont indiqué que la propriété physique la plus importante affectant l'efficacité d'un plateau, est la viscosité du liquide

L'augmentation de la viscosité du liquide entraîne une diminution de l'efficacité du plateau

★ Influence de la tension superficielle :

Ce paramètre agit sur le diamètre des bulles de vapeur durant le barbotage

La tension superficielle dépend de la présence des constituants tensio-actifs, par exemple une petite quantité d'acide acétique ou éthanol dans l'eau diminue sensiblement la tension superficielle et de même le diamètre des bulles de vapeur ce qui

augmente l'interface (surface de contact)

Dans le cas où la tension superficielle augmente avec la composition du liquide en allant de haut en bas, l'efficacité est importante .

### II.2.3/ NOTION DE PERTE DE CHARGE:

La troisième étude qui peuvent être établie sur cette colonne de rectification est l'étude du phénomène d'engorgement , débit d'engorgement ainsi que de déterminer la perte de charge au dessus de laquelle on aurait une mauvaise séparation pour chaque binaire par exemple : (ethanol-eau) , (méthanol-eau) .

Les notions de cette étude sont indispensables, il faut bien les savoir

- comme perte de charge utile .
- comme perte de charge parasite
- Engorgement des liquides
- Engorgement par le primage .

Nous notons ici dans ce paragraphe les définition des ces notions .

### II.2.3.0/ HYDRODYNAMIQUE :

#### II.2.3.1/ Perte de charge de la vapeur à travers un plateau :

Perte de charge : d'un plateau est la différence entre la pression statique de la vapeur de part et d'autre part du plateau. On peut la diviser en deux parties

a/ La perte de charge utile :

Elle est due à la division de la vapeur en filets dans les

fentes , à la formation des bulles en travaillant contre la tension superficielle du liquide, et à traversée de la couche de liquide par ces bulles

b/ La perte de charge parasite : Elle est due au passage de la vapeur dans les organes de distribution : cheminée, espaces annulaire au dessus et autour de la cheminée

#### 11.2.3.2/ Limitation du débit d'une colonne :

Lorsqu'on augmente le débit de la vapeur, le débit de liquide retrogradé décroît proportionnellement . Deux phénomènes peuvent alors se produire : un engorgement en liquide et un engorgement par le primage .

#### A/ Engorgement en liquide :

Un trop plein de section et de forme données admet un débit limité de liquide, au delà du quel il s'engorge .

Le phénomène se traduit par la montée rapide du niveau au dessus du deversoir , pour une faible augmentation de débit .

Le trop plein est alors complètement rempli de liquide entraînant les bulles de vapeurs .

Le niveau s'élève sur le plateau, les calottes sont submergées, et le liquide peut refluer par certaines cheminées . Le fonctionnement est alors irrégulier et la perte de charge atteint plusieurs fois sa valeur normale jusqu'au moment où toute la colonne étant pleine de liquide , celui ci monte au lieu de descendre ce qui annule évidemment toute séparation .

Ce type d'engorgement résulte simplement de trop pleins trop étroits , il se produit prématurément si le liquide mousse abondamment . Cette mousse augmentant le volume apparent de liquide à faire passer par le trop plein .

b/ Engorgement par le primage :

La vapeur qui traverse le liquide en sortant des calottes forme des bulles . En crevant à la surface , ces bulles projettent des gouttes de liquide qu'on appelle le primage .

Lorsque le débit de la vapeur augmente, le bouillement est tel que les bulles sont invisibles et que le plateau se couvre d'une épaisse couche de gouttes projetées dans toutes les directions

Les plus fines sont entraînées par le courant ascendant de vapeur, et certaines, pénètrent dans les cheminées du plateau supérieur viennent augmenter le débit de liquide sur celui-ci .

Le débit pondéral de primage est une fonction très rapidement croissante de la vitesse de vapeur . D'après la corrélation de d'Eduljee le primage est en fonction presque exponentielle de cette vitesse . C'est à dire qu'à partir d'un certain débit de vapeur, le primage devient du même ordre de grandeur que le débit de liquide. A ce moment , l'engorgement se produit par excès de liquide arrivant au trop plein .

### II.3. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DE L'INSATILLATION EN DISTILLATION CONTINUE

Pour effectuer la distillation discontinue à la pression atmosphérique ou sous pression ( pression sous vide ) .

- Introduire la charge dans le rebouilleur .

- Mettre le circuit de réfrigération ( de préférence le circuit fermé) en marche .
- Alimenter l'installation en courant alternatif ( 380 volts pour cela appuyer sur le bouton noir ) .

#### II.3.1/ Stabilisateur de température :

- Ouvrir totalement le robinet de refroidissement du stabilisateur .
- Mettre le bouton de commande en marche .
- Fixer la puissance de chauffe au bout de 10 Kw et une fois l'ébullition atteinte dans le bouilleur régler cette puissance à 5 kw .
- Le début de chauffage s'accompagne par un choix de la température de chauffe en encadrant la valeur désirée par deux aiguilles .

\* Une aiguille verte qui indique la T° minimale .

\* Une aiguille rouge qui indique la T° maximale .

La T° d'huile est indiquée par l'aiguille noire qui sera encadrée par les deux autres citées précédemment .

#### II.3.2/ Compresseur :

Mettre en marche le compresseur qui permet de fonctionner la tête de reflux .

#### II.3.3 Armoire de contrôle général :

On peut se servir de cet appareil que si en tournant le bouton de "marche générale une lampe témoin rouge s'allume .

#### A- Régulation de la perte de charge :



Elle se fait sur deux petits cadrans de gauche de la manière suivante :

1- Tourner le bouton de commande marqué "perte de charge" une lampe témoin rouge s'allume .

2- Fixer la valeur de perte de charge à l'aide de la vis rouge qui actionne l'aiguille de la même couleur (consigne) .

3- Faire le choix entre un régulation automatique et une régulation manuelle .

- Pour la régulation automatique : on positionne le bouton noir de gauche sur le point indiqué par un cercle la régulation se fera par la fermeture ( indiquée en vert ) ou l'ouverture ( indiquée en blanc) de la vanne jusqu'à ce que l'aiguille noire se stabilise sur la valeur désirée. Mais avant de passer au réglage automatique il est préférable de satisfaire à la consigne par un réglage manuel .

- Pour la régulation manuelle, on positionne le bouton noir à gauche sur le point indiqué par une main on fixe l'ouverture de la vanne à l'aide du bouton noir de droite pour que l'aiguille noire se stabilise sur la valeur désirée. il est nécessaire alors d'agir sur la T° de chauffage du stabilisateur .

**N.B:**

- La vanne est complètement ouverte si le petit rectangle est blanc
- La vanne est complètement fermée si le petit rectangle est vert
- La vanne est 50 % ouverte si le petit rectangle est coupé suivant la diagonale en deux parties : l'une blanche , l'autre verte , etc

**B- Régulation du préchauffeur :**

Elle se fait sur les deux petits cadrans de droite de la manière suivante :

- 1/ Tourner le bouton de commande marqué "régulation de T°" une lampe témoin rouge doit s'allumer .
- 2/ Fixer une valeur de T° de préchauffage à l'aide de la vis rouge et on procède de la même manière que la régulation de perte de charge .

#### C/ Réglage du taux de reflux :

Le réglage du taux de reflux (R) se fait par l'intermédiaire du timer électronique .

Le temps de reflux est réglable à l'aide de deux rotacteurs l'un gradué de 0 à 9 et l'autre de 0 à 60 .

Ces rotacteurs fonctionnent en additionneurs .

par exemple : rotateur de gauche (0 - 9) positionné à 5  
(0 - 60) positionné à 20

total 25

Le temps de recette se règle de la même façon

#### d/ Les enregistreurs :

Mettre en marche les enregistreurs en tournant sur leurs bouton de commandes après avoir choisi la vitesse du papier .

#### II.2.4. GROUPE MOBILE DE VIDE :

Pour réaliser le vide dans la colonne :

- 1- Vérifier le niveau de l'huile lubrifiante qu'il est suffisant.
- 2- Tourner le bouton marqué "général", une lampe témoin rouge doit

s'allumer .

3- Suivre sur le cadran l'aiguille qui marque le vide , lorsque la valeur souhaitée est atteinte ,tourner le bouton marqué "regulation" .

$$\text{le } R = \frac{\text{temps de reflux}}{\text{temps de recette}}$$

\* Un interrupteur de mise en attente place la colonne en reflux total  $R = \infty$  .

**CONCLUSION :**

Durant notre contact intime avec la colonne de rectification et ses accessoires (nous avons formé une idée du mécanisme de fonctionnement de cette unité, ainsi que repéré les pannes qui ont causé l'arrêt prolongé de cette unité .

Nos réparations qui peuvent être qualifiées de maintenance non spécialisées étaient réparties ou orientées suivant deux cotés, un côté électrique qui comporte les surtensions, système de protection, .... et un côté mécanique qui comporte la surcharge du moteur, serrage , graissage ,.....

Nous tenons à signaler qu'avant de commencer à faire les études sur la colonne de prendre les suggestions optimales proposées déjà et :

- de calorifier bien la colonne (car elle est isolée et non adiabatique) .
- de choisir un binaire ayant un écart de température d'ébullition très élevé comme : le méthanol + eau (distillet) .

## BIBLIOGRAPHIE :

[1] : Mr BELHACHEMI . B.

Mlle STAMBOULI . T.

Colonne de rectification .

Thèse d'ingénieur (1976).

[2] : Melle AMMOUR . F.

Etude l'efficacité d'un plateau à calottes et d'une colonne  
E.I.V.S.

Thèse d'ingénieur (1982).

[3] : BENSOUYAD .

Etude de l'efficacité de rectification d'une colonne à plateau

Thèse d'ingénieur (1984).

[4] : TALABOULMA

Etude et réalisation d'une tour de réfrigération pour circuit fermé

Thèse d'ingénieur (1987).

[5] : Pierre BOYE André BIANCIOTTO .

Les schémas en électrotechnique .

Ed. Delagrave (1981) PARIS .

[6] : ALFRED SOULER

Les courants alternatifs .

Ed. Garnier frère (1966) Paris .

[7] BOUAMOUZ . B.

[7] : Conception et mise au point d'un appareil réfrigérant en  
circuit fermé

Thèse d'ingénieur (1979)