



OFPPT

ROYAUME DU MAROC

مكتب التكوين المهني وإنعاش الشغل

Office de la Formation Professionnelle et de la Promotion du Travail

DIRECTION RECHERCHE ET INGENIERIE DE FORMATION

**RESUME THEORIQUE
&
GUIDE DE TRAVAUX PRATIQUES**

MODULE N°13 : RESEAU VAPEUR

SPECIALITE : THERMIQUE INDUSTRIELLE

NIVEAU : TECHNICIEN SPECIALISE



ISTA.ma
Un portail au service
de la formation professionnelle

Le Portail <http://www.ista.ma>

Que vous soyez étudiants, stagiaires, professionnels de terrain, formateurs, ou que vous soyez tout simplement intéressé(e) par les questions relatives aux formations professionnelles, aux métiers, <http://www.ista.ma> vous propose un contenu mis à jour en permanence et richement illustré avec un suivi quotidien de l'actualité, et une variété de ressources documentaires, de supports de formation, et de documents en ligne (supports de cours, mémoires, exposés, rapports de stage ...) .

Le site propose aussi une multitude de conseils et des renseignements très utiles sur tout ce qui concerne la recherche d'un emploi ou d'un stage : offres d'emploi, offres de stage, comment rédiger sa lettre de motivation, comment faire son CV, comment se préparer à l'entretien d'embauche, etc.

Les forums <http://forum.ista.ma> sont mis à votre disposition, pour faire part de vos expériences, réagir à l'actualité, poser des questionnements, susciter des réponses. N'hésitez pas à interagir avec tout ceci et à apporter votre pierre à l'édifice.

Notre Concept

Le portail <http://www.ista.ma> est basé sur un concept de gratuité intégrale du contenu & un modèle collaboratif qui favorise la culture d'échange et le sens du partage entre les membres de la communauté ista.

Notre Mission

Diffusion du savoir & capitalisation des expériences.

Notre Devise

Partageons notre savoir

Notre Ambition

Devenir la plate-forme leader dans le domaine de la Formation Professionnelle.

Notre Défi

Convaincre de plus en plus de personnes pour rejoindre notre communauté et accepter de partager leur savoir avec les autres membres.

Web Project Manager

- Badr FERRASSI : <http://www.ferrassi.com>

- contactez : admin@ista.ma

REMERCIEMENTS

La DRIF remercie les personnes qui ont participé ou permis l'élaboration de ce module de formation.

Pour la supervision :

M. Rachid GHRAIRI : Directeur du CDC Génie Electrique Froid et Génie Thermique

M. Mohamed BOUJNANE : Chef du pôle Froid et Génie Thermique

Pour l'élaboration :

Mme BENJELLOUN ILHAM : Formatrice Animatrice au CDC FGT.

Pour la validation :

- **Mme MARFOUK Aziza** : Formatrice à l'ISGTF
- **MR M'Hamed EL KHATTABI** : Formateur à l'ISGTF
- **Mme NASSIM Fatiha** : Formatrice à l'ISGTF

Les utilisateurs de ce document sont invités à communiquer à la DRIF toutes les remarques et suggestions afin de les prendre en considération pour l'enrichissement et l'amélioration de ce programme.

MR. SAID SLAOUI
DRIF

SOMMAIRE

Présentation du module	6
Résumé de théorie	7
A- La vapeur d'eau, notions de base	8
1°-Introduction	9
2°-Principes de base	9
3°-Tables de vapeur d'eau	12
4°-Utilisation de l'énergie contenue dans la vapeur	15
5°-Rendement global du réseau vapeur.	18
B-Purgeurs de vapeur	28
1°-Fonctions des purgeurs de vapeur	29
2°-Types de purgeurs	29
3°-Facteur de sélection des purgeurs	38
4°-Caractéristiques des purgeurs de vapeur	44
5°-Pertes thermiques et vapeur des purgeurs	45
6°-Vérification du bon fonctionnement des purgeurs.	47
C-Récupération des condensats	54
1°-Economie de l'énergie	55
3°-Dimensionnement de la tuyauterie	56
4°- L'élévation des condensats	59
5°- L'engorgement des conduites de retour des condensats	60
6°-Transport des condensats.	61
D -La vapeur de détente	65
1°-Introduction	66
2°-Estimation de la vapeur de détente	66
3°-Conception des ballons séparateurs	68
4°-Conception du système de récupération de la vapeur de détente	71
E-Dimensionnement du réseau vapeur	75
1°-Choix de la pression	76
2°- Dimensionnement de la tuyauterie	76
3°-Exemples de calcul	78
4°-Dilatation.	83
Guide de travaux dirigés	86
Liste bibliographique	89

Module : 13**Réseau Vapeur**

**OBJECTIF OPERATIONNEL DE PREMIER NIVEAU
DE COMPORTEMENT**

Comportement attendu :

Pour démontrer sa compétence, le stagiaire doit ;

Assurer la distribution de la vapeur dans les installations industrielles,

Selon les conditions, les critères et les précisions qui suivent :

Condition d'évaluation :

- A partir des consignes données par le formateur.
- A l'aide de la documentation technique.
- A partir de mises en situation.

Critères généraux de performance :

- Diagnostic correct d'une petite ou moyenne chaufferie.

<u>Précisions sur le comportement attendu</u>	<u>Critères particuliers de performance</u>
A- Connaître la vapeur d'eau.	<input type="checkbox"/> Utilisation exacte des tables de la vapeur d'eau
B- Enumérer les différents purgeurs de vapeur	<input type="checkbox"/> Description correcte des fonctions des purgeurs de vapeur. <input type="checkbox"/> Description correcte des types de purgeurs. <input type="checkbox"/> Énumération exacte des facteurs de sélection des purgeurs.
C – Assurer la récupération des condensats.	<input type="checkbox"/> Connaissance exacte du réseau du retour des condensats. <input type="checkbox"/> Calcul correct de la tuyauterie de retour.
D – assurer la récupération de la vapeur de détente.	<input type="checkbox"/> Estimation correcte de la quantité de la vapeur de détente. <input type="checkbox"/> Calcul juste des vases d'expansion.
E – Dimensionner le réseau vapeur.	<input type="checkbox"/> Calcul correct du réseau vapeur.

Champs d'Application de la Compétence:**Installations de production de vapeur****OBJECTIFS OPERATIONNELS DE SECOND NIVEAU**

LE STAGIAIRE DOIT MAITRISER LES SAVOIRS, SAVOIR-FAIRE SAVOIR PERCEVOIR OU SAVOIR-ETRE JUGES PREALABLES AUX APPRENTISSAGES DIRECTEMENT REQUIS POUR L'ATTEINTE DE L'OBJECTIF DE PREMIER NIVEAU TELS, QUE :

***Avant d'apprendre à connaître la vapeur d'eau (A):**

- 1- Définir la notion d'énergie.
- 2- Décrire les avantages d'utilisation de la vapeur.

***Avant d'apprendre à énumérer les différents purgeurs de vapeur (B) :**

- 3- Définir l'origine de la vapeur humide.
- 4- Décrire les effets de l'air dans le réseau vapeur.
- 5- Définir les fonctions des purgeurs de vapeur.

*** Avant d'apprendre à assurer la récupération des condensats (C) :**

- 6- Définir la notion d'économie d'énergie.
- 7- Définir la notion de contre-pression.

***Avant d'apprendre à assurer la récupération de la vapeur de détente (D) :**

- 8- Définir la détente.

***Avant d'apprendre à dimensionner le réseau vapeur (E) :**

- 9-Définir les composantes du réseau vapeur.
- 10- Définir le rendement global du réseau vapeur.
- 11-Définir les résistances thermiques.

PRESENTATION DU MODULE

Le module de réseau vapeur comprend 5 parties :

- La 1^{ère} partie donne les notions de base concernant la vapeur d'eau.
- La 2^{ème} partie donne une description des différents purgeurs de vapeur qui existent.
- La 3^{ème} partie montre les méthodes de récupération des condensats.
- La 4^{ème} partie concerne l'étude de la vapeur de détente.
- La 5^{ème} partie montre comment dimensionner un réseau vapeur.

Ce module est d'une durée de 120 heures.

Module : Réseau vapeur
Résumé théorique

A- La vapeur d'eau , Notions de base

1°-INTRODUCTION :

La vapeur d'eau est le fluide thermique caloporteur le plus utilisé dans l'industrie.

Elle permet de véhiculer l'énergie de combustion de la chaudière aux stations d'utilisation.

La vapeur d'eau est produite en brûlant du combustible dans une chaudière ou en récupérant de l'énergie perdue au niveau des procédés industriels. Elle peut être également récupérée comme un sous produit en aval des turbines utilisées pour la production de l'énergie électrique. Les systèmes de distribution de la vapeur doit être convenable pour assurer un bon fonctionnement de l'usine et assurer une disponibilité de la vapeur en quantité suffisante , à la pression adéquate et au moment de la demande.

2°- PRINCIPES DE BASE :

La vapeur d'eau est un gaz invisible , produit par le changement d'état de l'eau. Ce changement d'état est obtenu en ajoutant de la chaleur à l'eau.

L'énergie calorifique correspondante, contenue dans un combustible (charbon , gaz , hydrocarbure, électricité, énergie nucléaire,.....) est transmise à l'eau dans une chaudière .

Les **figures 1 et 2** décrivent ce processus physique, suivant qu'il se produit à la pression atmosphérique, comme dans une bouilloire ou à une pression plus élevée, dans une chaudière.

Dans le premier cas (**fig. 1**), l'eau froide dans la bouilloire commence par emmagasiner de la chaleur : sa température croit progressivement.

Une fois la température de 100°C est atteinte, l'eau commence à bouillir : l'eau continue à recevoir de l'énergie bien que sa température reste constante.

Cette énergie permet la transformation progressive du liquide (eau) en vapeur d'eau : c'est la vaporisation.

Dans le deuxième cas (**fig.2**) l'eau froide absorbe l'énergie calorifique, produite dans le foyer de la chaudière. La température de l'eau croit comme précédemment et la vaporisation commence. La chaudière étant un vase clos , la production de vapeur engendre une pression.

Cette pression, croissant au fur et à mesure de la production de vapeur, s'exerce sur la surface de l'eau et retarde sa vaporisation. La température de vaporisation devient de plus en plus élevée.

Deux premières constatations peuvent être déjà faites :

- La température de vaporisation de l'eau croit lorsque la pression de la chaudière croit.
- L'eau et la vapeur en contact sont toujours à la même température.

Figure 1

*Transformation de l'eau
en vapeur sous
pression atmosphérique*

Ces schémas indiquent la quantité de chaleur nécessaire pour produire 1 kg de vapeur sous pression atmosphérique. Noter qu'il faut 1 calorie pour chaque degré d'élévation de la température jusqu'au point d'ébullition, mais qu'il faut beaucoup plus de calories pour transformer l'eau à 100°C en vapeur à 100°C.

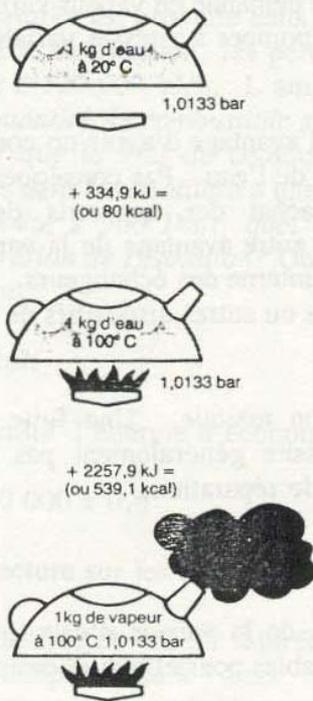
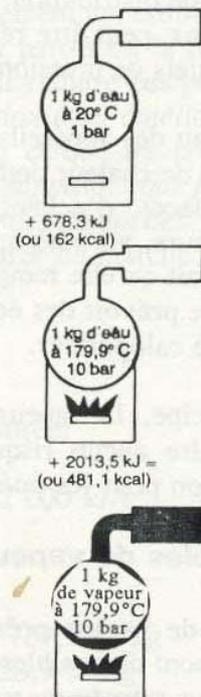


Figure 2

*Transformation de l'eau
en vapeur sous pression
de 10 bars*

Ces schémas indiquent la quantité de chaleur nécessaire pour produire 1 kg de vapeur sous pression de 10 bars. Noter qu'il faut atteindre une température beaucoup plus élevée pour vaporiser l'eau à 10 bars qu'à la pression atmosphérique. Noter aussi qu'il faut fournir une quantité de chaleur plus faible pour transformer l'eau en vapeur à cette température plus élevée.



REMARQUES:

-Une fois produite, la vapeur est véhiculée de la chaudière aux équipements utilisateurs où elle cédera sa chaleur latente (énergie utile) et se transformera en liquide saturé.

-Les condensats ainsi obtenus contiennent encore une quantité d'énergie équivalente à celle fournie à l'eau pour la porter à sa température d'ébullition.

Une bonne pratique d'amélioration de l'efficacité du système de vapeur consiste donc à recycler les condensats et à les réutiliser dans la chaudière.

3°- AVANTAGES DE LA VAPEUR :

-L'utilisation de la vapeur comme fluide caloporteur offre les avantages suivants :

* avec une chaleur latente élevée, la vapeur a la possibilité de véhiculer une grande quantité d'énergie dans des conditions relativement petites.

Ceci a un impact économique certain.

En effet, l'utilisation d'un système de distribution de petite taille réduit d'une part l'investissement initial et d'autre part les frais de fonctionnement. Les conduites de retour des condensats seront également de taille réduite.

* Le débit massique de la vapeur en circulation dans le système de distribution est relativement faible, (par rapport à d'autres fluides caloporteurs : eau ou huile).

Donc, pour un même besoin énergétique l'installation des conduites nécessitera moins de matériaux de support et de suspension.

* La circulation de la vapeur dans les conduites est due aux différences de pression le long de la tuyauterie. Il est donc inutile d'installer des pompes dont le coût est généralement élevé.

* L'utilisation de la vapeur comme fluide caloporteur permet une exploitation souple du système de distribution. Ainsi, la satisfaction d'une demande en vapeur variant suivant les besoins peut être réalisée sans faire appel aux pompes à vitesses variables, ni aux différentiels de pression, ni aux bypasses.

* Aux niveaux des appareils d'utilisation, la vapeur a l'avantage d'avoir un coefficient de transfert de chaleur deux fois plus élevé que celui de l'eau. Par conséquent, la taille des surfaces d'échange et l'investissement d'achat des appareils de transfert (échangeurs, aérothermes,....) seront réduits.

* Un autre avantage de la vapeur réside dans le fait qu'elle remplit uniformément l'espace interne des échangeurs. Il est donc inutile de prévoir des échangeurs avec des chicanes ou autres dispositifs de répartition du fluide caloporteur.

* La vapeur est un fluide inodore non toxique, une fuite de vapeur n'engendre aucun risque d'incendie et ne nécessite généralement pas d'arrêt de production pour les opérations de maintenance et de réparation.

4°) TABLES DE VAPEUR D'EAU :

Pour comprendre les phénomènes physiques de transformation de l'eau en vapeur, il est habituel d'utiliser quatre diagrammes :

- ☐ La courbe de saturation de la vapeur d'eau
- ☐ La courbe de température-enthalpie.
- ☐ La courbe de température-entropie.
- ☐ Le diagramme de Mollier.

4-1 Courbe de saturation : (fig. 3)

La courbe de saturation de la vapeur d'eau donne la correspondance entre la pression et la température d'un mélange liquide – vapeur pour l'eau.

Dans une enceinte contenant de l'eau :

- Si la température et la pression correspondante à un point situé au dessus de la courbe, il y aura de l'eau liquide.
- Si la température et la pression correspondent à un point situé au dessous de la courbe, il y aura de la vapeur sèche.
- Si la température et la pression correspondent à un point de la courbe, il y aura de la vapeur saturée.

Sur cette courbe le point C est le «point critique».

En ce point, le volume massique de la vapeur et celui du liquide en équilibre sont égaux.

Les coordonnées de ce point sont :

- ☐ pression critique : 221,20 bar
- ☐ température critique : 374,15°C

4-2 Courbe de température – enthalpie: (fig. 4)

La courbe de température – enthalpie indique les valeurs expérimentales de la température en fonction de l'enthalpie de l'eau (Par convention, l'enthalpie de l'eau est nulle à 0°C) cette courbe est obtenue en traçant successivement :

- La courbe de saturation de l'eau (segment **OC**) correspondant à 100% de liquide , soit un titre $x = 0$.
- La courbe de saturation de la vapeur sèche (segment **CS**) correspondant à 100%, de vapeur saturée, soit un titre $x = 1$

Ces deux courbe se rencontrent au point critique C :

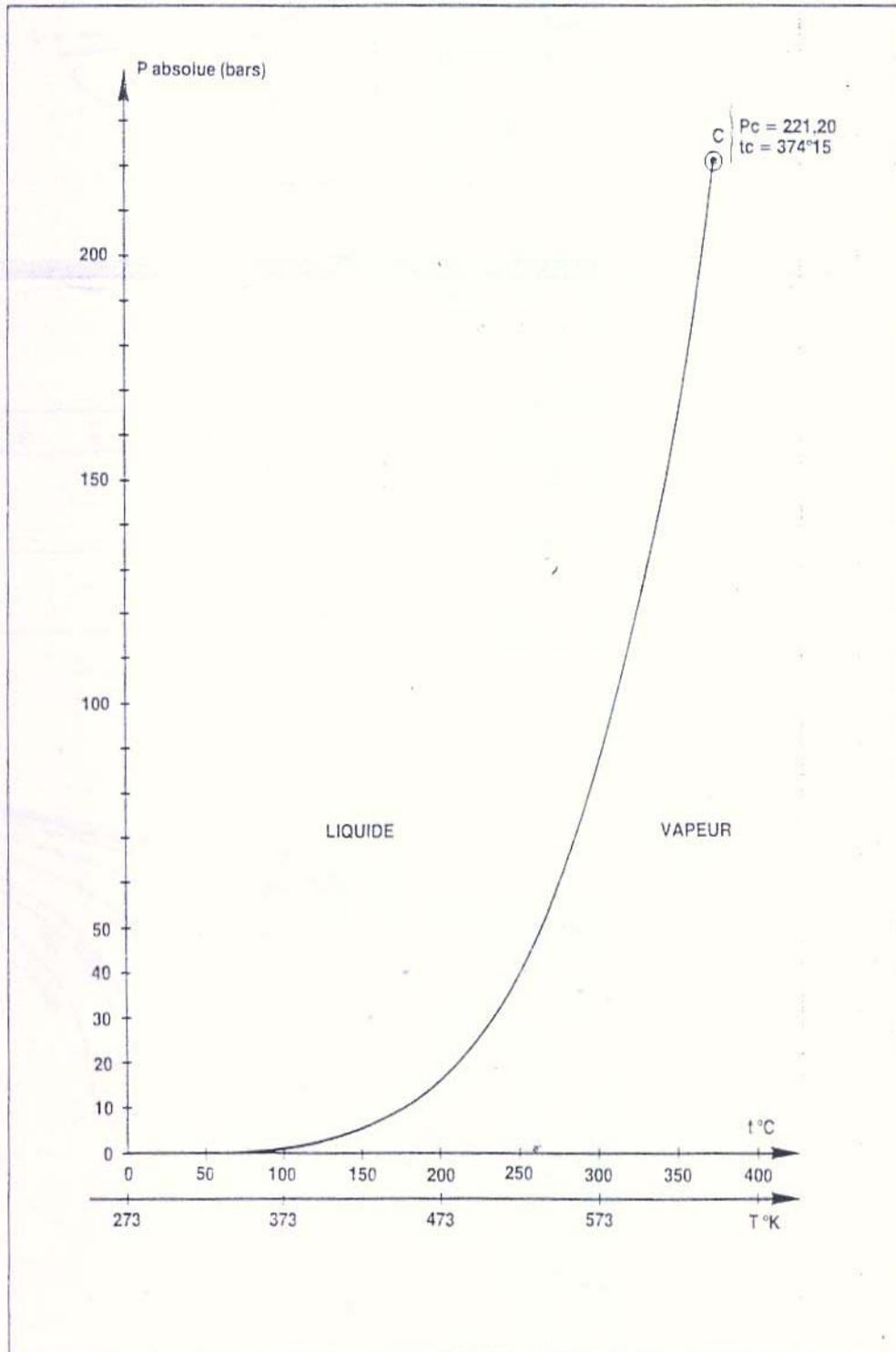
- ☐ température critique = 374,15°C
- ☐ enthalpie critique = 2120,KJ/Kg

Ensuite on trace les courbes à pression constante ou isobare :

Dans la région de la vapeur saturée, les isobares sont horizontales et sont confondues avec les isothermes. Dans la région de la vapeur surchauffée les isobares prennent une allure plus ou moins parabolique

Les principales données lues sur ce diagramme sont :

- l'enthalpie du liquide à la température de saturation (**EA**),

ANNEXE 2 COURBE DE SATURATION DE LA VAPEUR D'EAU

- L'enthalpie de la vapeur saturée sèche à la température de saturation (**EB**),
- L'enthalpie d'un mélange biphasique à la température de saturation (**EM**),
- L'enthalpie de la vapeur surchauffée (**E'F**),
- La chaleur latente de vaporisation (**AB**),
- Le titre X de la vapeur en un point M: rapport **AM/AB**.

Ce diagramme très simple permet de suivre l'évolution de l'eau dans les générateurs de vapeur et dans les échangeurs de chaleur . La quantité de chaleur absorbée pour le chauffage est lue directement sur l'axe des abscisses :

→ En partant d'un état initial, on chauffe l'eau jusqu'à une température correspondant à **A**. On vaporise entre **A** et **B** et on surchauffe jusqu'en **F**.

La quantité de chaleur totale nécessaire est lue en projetant le segment **IF** sur l'axe des abscisses.

→ Inversement, en utilisant la vapeur, elle cédera de la chaleur du point **F** au point **A**. Il faudra alors éliminer les condensats à l'aide d'un purgeur.

4-3 Courbe de température – Entropie : (fig. 5)

La courbe de température – entropie est tracée point par point à partir de la courbe précédente. On tracera successivement :

- La courbe de saturation du liquide (**OC**)
- La courbe de vapeur saturée sèche (**CS**)
- les paliers isobares (**AB**) qui sont confondus avec les isothermes dans le mélange biphasique et les courbes isobares en vapeur surchauffée (**BF**).
- Les courbes isenthalpiques notées, $J = 1000, 2000, \dots$

Sur ce diagramme, il est possible de suivre les diverses évolutions que l'eau et la vapeur peuvent subir dans une installation :

- Compression adiabatique de l'eau par le pompe avant l'entrée dans la chaudière (**IJ**),
- Chauffage de l'eau jusqu'à sa température, de saturation (**JA**) ;
- Vaporisation de l'eau (**AB**),
- Surchauffe de la vapeur (**BF**),
- Réglage éventuel de la pression par vanne de régulation: détente isenthalpique (**FG**)
- Détente réelle de la vapeur dans une turbine: un travail est fourni et l'enthalpie décroît (**GE**),
- Utilisation de la vapeur dans un échangeur à pression constante : surchauffe de la vapeur (**EB'**), puis condensation (**B'A'**).
- Evacuation des condensats par le purgeur (**A'R**) :
Ils subissent une détente et par suite une revaporisation partielle.
- Utilisation de la chaleur excédentaire dans les condensats (**RA''**) , puis éventuellement en (**A''J**) avant de recycler dans la chaudière .

4-4 Diagramme de Mollier: (fig. 6)

Ce diagramme donne l'enthalpie d'un système contenant de l'eau en fonction de l'entropie. Il est tracé point par point à partir des deux diagrammes précédents, en portant en abscisse les valeurs de l'entropie et en ordonnées les valeurs de l'enthalpie correspondantes.

Sur ce diagramme on retrouve les courbes suivantes :

- ⇒ La courbe de saturation du liquide (**OC**).
- ⇒ La courbe de vapeur saturée sèche (**CS**)
- ⇒ Les paliers isobares (**AB**) qui sont confondus avec les isothermes dans le mélange biphasique, et les isobares en vapeur surchauffée (**BF**)
- ⇒ Les isothermes en vapeur surchauffée.
- ⇒ Les courbe de titre **X** dans la région de saturation
- ⇒ Les courbes de volume massique.

De plus, chaque point de ce diagramme permet de connaître toutes les caractéristiques du système à savoir :

- pression absolue.
- température absolue en C°
- enthalpie
- entropie.
- titre éventuel.

Exemple : Vapeur à 10 bars absolues et à 250°C

- La température de saturation = 180 °C (**TAB.1**)
- A partir du diagramme de Mol lier :
 - Enthalpie = 705Kcal / Kg.
 - Entropie = 1.67Kcal / Kg °C

5°) UTILISATION DE L'ENERGIE CONTENUE DANS LA VAPEUR:

5.1 Vapeur saturante sèche et humide :

⇒ La vapeur saturante sèche est la vapeur saturante dont l'enthalpie est maximum à la pression considérée.

Elle ne contient aucune gouttelette de brouillard, d'où son appellation. En la chauffant, sa température augmente et la vapeur est dite surchauffée (en réalité, cette vapeur saturante sèche ne peut exister réellement, du fait de son état instable.)

La vapeur saturante transporte toujours une certaine quantité d'eau sous forme de brouillard en raison par exemple : du primage de la chaudière, d'un traitement d'eau mal adapté, des pertes d'énergie pendant le transport de la vapeur.

⇒ La vapeur humide est une vapeur saturante dont l'enthalpie est inférieure à l'optimum possible à la pression considérée.

La proportion de vapeur sèche dans la vapeur humide est le titre de la vapeur x :

$$\text{Titre } x = \frac{m_{\text{vap}}}{m_{\text{vap}} + m_{\text{eau}}}$$

m_{vap} : masse de vapeur sèche contenue dans la vapeur humide

m_{eau} : masse d'eau contenue dans la vapeur humide.

L'enthalpie (i) de la vapeur humide s'exprime alors de la façon suivante :

$$i = i' + rx$$

i : enthalpie de la vapeur saturante humide.

i' : chaleur sensible.

r : chaleur la tente.

Aucune chaudière ne donne de vapeur sèche, et le titre est au mieux égal à 0,95.

5.2 Vapeur surchauffée : (TAB.2)

Une fois l'état de saturation atteint, si on continue à fournir de la chaleur à la vapeur, sa température va augmenter ainsi que sa pression.

La vapeur se transforme en vapeur surchauffée, dont l'état est stable. Ses propriétés se rapprochent alors de celles d'un gaz parfait.

On appelle température de surchauffe ou surchauffe de la vapeur, la différence de température entre la vapeur surchauffée et la vapeur saturante sèche à la même pression.

L'augmentation d'enthalpie de la vapeur surchauffée par rapport à la vapeur saturante est approximativement égale à 2,09 KJ/KG (ou 0,5 Kcal/Kg) par degré de surchauffe (chaleur massique à la pression constante de la vapeur surchauffée).

$$i = i'' + cp (t - t_s)$$

i : enthalpie de la vapeur surchauffée

i'' : enthalpie de la vapeur saturante

cp : chaleur massique à pression constante, à la pression considérée de la vapeur surchauffée

t : température de la vapeur surchauffée

t_s : température de saturation à la pression considérée.

5.3 Energie potentielle et calorifique :

⇒ Si aucun échange calorifique entre la vapeur et le milieu environnant n'est possible, l'énergie de la vapeur ne peut pas se dégrader par chute de pression, car l'enthalpie reste constante.

Au passage à travers une vanne de détente, la vapeur saturée devient de la vapeur surchauffée à l'aval, mais à une pression inférieure.

Cette transformation isenthalpique est toujours irréversible.

⇒ En cas de travail fourni par la vapeur, il y a chute de pression et échange calorifique avec l'extérieur, l'enthalpie diminue, elle n'est plus constante.

La vapeur est alors détendue dans une turbine, de la pression d'admission à la pression d'échappement.

A cette chute de pression correspond une chute d'enthalpie.

Une turbo-machine (turbo-alternateur, turbo-pompe, turbo-compresseur,....) peut ainsi récupérer cette chute d'énergie pour mettre en mouvement un rotor et entraîner une machine.

Pour éviter l'érosion des aubages par les gouttelettes de condensats, on utilise principalement de la vapeur surchauffée.

Suivant les possibilités d'utilisation de la vapeur d'échappement et les rendements thermiques et effectifs (travail recueilli / chaleur dépensée) recherchés, il existe :

- des turbines à condensation sous vide où la totalité de la vapeur d'échappement est condensée sous quelques dizaines de millibar.
Elles sont utilisées principalement lorsque la demande en chauffage est inexistante ou très faible par rapport à l'enthalpie récupérable en sortie.
- des turbines à contre-pression où la vapeur ayant fourni un travail à la turbine est destinée à d'autres usages calorifiques (échangeur par exemple).

Pour satisfaire ces nouvelles applications, la vapeur doit contenir un niveau enthalpique, suffisant et donc échapper de la turbine à une certaine pression.

La vapeur en sortie de la turbine peut être encore surchauffée, mais très proche de la saturation.

On utilise parfois même des soutirages partiels au niveau des étages intermédiaires de la turbine avec des pressions plus élevées que la pression d'échappement.

6°) Application :

Une partie de la vapeur saturée est distribuée à une pression relative de 7 bars.

Cette vapeur saturée est produite dans une chaudière dont le rendement est estimé à 80%.

Au cours de la distribution, les pertes de chaleur à travers les parois de la tuyauterie sont estimées à 120.000KJ/h. L'amélioration de l'isolation doit réduire ces pertes de 60%.

Quelle quantité de combustible serait économisée si l'isolation était améliorée ?

On suppose que le PCI du combustible est de 42500KJ/Kg et que les condensations sont retournées dans la chaudière à une température de 92°C.

En supposant que le combustible coûte 2500DH/ tonne, quel est le montant des économies annuelles générées par l'amélioration de l'isolation.

On prendra 8000H pour la durée de marche annuelle de la chaudière.

Réponse :

⇒ Qté d'énergie à économiser si l'isolation est améliorée :

$$120.000 * 0,6 = 72.000\text{KJ/h.}$$

⇒ La lecture sur la table donne :

- enthalpie de vapeur saturée à 7 bars = 2767,5 KJ/Kg
- enthalpie d'eau à 7 bars = 720,9 KJ/Kg
- chaleur de vaporisation = 2046,5 KJ/Kg

⇒ quantité de vapeur économisée :

$$\frac{72.000}{2046,5} = 35,2 \text{ Kg/h}$$

⇒ Enthalpie de l'eau à 92°C = 384.39 KJ/h

⇒ Quantité d'énergie nécessaire pour générer 35,2 Kg/h de vapeur à 7 bars :

$$(2767,5 - 384) * 35,2$$

$$\frac{\quad}{0,80} = 104,856 \text{ KJ/h}$$

0,80

⇒ Quantité correspondante en combustible économisé :

$$104856$$

$$\frac{\quad}{42500} = 2,5 \text{ Kg de combustible / h}$$

$$42500$$

⇒ Economies annuelles :

$$2,5 * 8000 * 2,5 = 50.000 \text{ DH/an.}$$

7°) RENDEMENT GLOBAL DU RESEAU VAPEUR :

Avant de présenter en détail le système de distribution de la vapeur, il est important de comprendre le principe de base de calcul du rendement global de ce système.

Un réseau de vapeur typique comprend les éléments suivants :

- un générateur de vapeur
- une tuyauterie et autres éléments installés sur cette tuyauterie tels que les vannes de contrôle et les purgeurs.
- un système de récupération des condensats englobant les conduites, les réservoirs de stockages et les pompes.
- des appareils utilisateurs de la vapeur.

Le rendement global d'un tel réseau relie l'énergie utile de la vapeur à la quantité d'énergie du combustible consommée pour produire cette vapeur. Ce rendement global peut être estimé à partir des rendements individuels propres à chaque élément constituant le réseau.

7.1 Exemple :

Les valeurs types d'un réseau de vapeur à 10 bars sont données ci-dessous :

* Chaudière :

- pertes par les fumées : 14%
- pertes par les parois (ray et conv) : 3%
- pertes par les purges : 2%

Le rendement de la chaudière est :

$$(100 - 4 - 3 - 2)\% = 81\%$$

* Tuyauterie de distribution :

En tenant compte des fuites et des pertes par les parois, le rendement de la tuyauterie peut être estimé à : 92%

* Appareils utilisateurs de la vapeur :

En supposant que les condensats ne soient pas récupérés, le pourcentage de l'énergie disponible (utile) de la vapeur peut se calculer comme suit :

$$\Rightarrow \text{Enthalpie de la vapeur saturée (10 bars)} = 2779,6 \text{ KJ/Kg}$$

$$\Rightarrow \text{Enthalpie des condensats (saturés)} = 781,16 \text{ KJ/Kg}$$

$$\Rightarrow \text{Chaleur de vaporisation} = 1998,5 \text{ KJ/Kg}$$

Le pourcentage d'énergie disponible est donc :

$$\frac{1998,5}{2779,6} = 0,72 \quad \text{soit } 72\%$$

* Les pertes par les parois des équipements du procédé sont estimées à 3%, réduisant ainsi le rendement à :

$$100 - 3 = 97\%$$

Le rendement global du système vapeur est donc égal à :

$$0,72 * 0,81 * 0,92 * 0,97 = 0,52$$

Soit 52%

Il est important de noter que le rendement global a été calculé en faisant le produit des rendements individuels.

Les valeurs de rendement individuels citées dans l'exemple ci-dessus sont typiques pour une usine.

Le rendement global d'un réseau de vapeur dépasse à peine 50%.

Le résultat ainsi obtenu indique que presque la moitié du combustible brûlé est utilisée pour compenser les pertes et seule la moitié de l'énergie produite est utile pour le procédé.

7.2 Effets des améliorations des rendements individuels :

Des petites améliorations au niveau de chaque rendement individuel pourraient se traduire par une amélioration substantielle du rendement global.

Par exemple, ces améliorations peuvent être réalisées en contrôlant davantage les conduites donnant lieu à des fuites de vapeur, en améliorant l'isolation des conduites de distribution et en récupérant les condensats,.....

Ces actions peuvent donner lieu aux augmentations des rendements individuels suivants :

* Chaudière :

- pertes par les fumées : 10%
- pertes par (ray/conv) : 2%
- pertes par les purges : 1%

Le rendement de la chaudière est donc :

$$100 - 10 - 2 - 1 = 87\%$$

* Tuyauterie :

En réduisant les fuites et en améliorant l'isolation le rendement peut atteindre : 95%

* Equipement du procédé :

En supposant que la moitié de l'énergie disponible dans les condensats est retournée dans la chaudière, on peut procéder à l'évaluation du nouveau rendement d'utilisation de la vapeur :

$$\Rightarrow \text{enthalpie de vapeur à 10 bars : } 2779,6 \text{ KJ/Kg}$$

$$\Rightarrow \text{enthalpie des condensats (saturés) : } 781,2 \text{ KJ/Kg.}$$

Si la moitié de l'énergie contenue dans les condensats est récupérée, l'enthalpie des condensats rejetés est de :

$$\frac{2779,6}{2} = 390,6 \text{ K/Kg}$$

Le pourcentage de l'énergie disponible pour utilisation est donc :

$$\frac{(2779,6 - 390,6)}{2779,6} = 0,86 \quad \text{Soit } 86\%$$

Les pertes par les parois des équipements estimées à 2% réduisent le rendement à : 98%

- Le rendement global du réseau avec récupération de 50% de l'énergie des condensats devient donc :

$$0,87 * 0,95 * 0,86 * 0,98 = 0,70 \text{ Soit } 70\%$$

La réduction de la consommation du combustible après l'application des mesures d'économie d'énergie est importante, elle représente :

$$\frac{\frac{1}{0,52} - \frac{1}{0,70}}{1} * 100 = 26\%$$

de la consommation globale du combustible.

Ainsi pour une petite ou moyenne entreprise consommant par exemple 300 t/an de fioul n°7, cette économie représente un gain de :

$$300 * 0,26 * 2500 = 195.000 \text{ DH/an.}$$

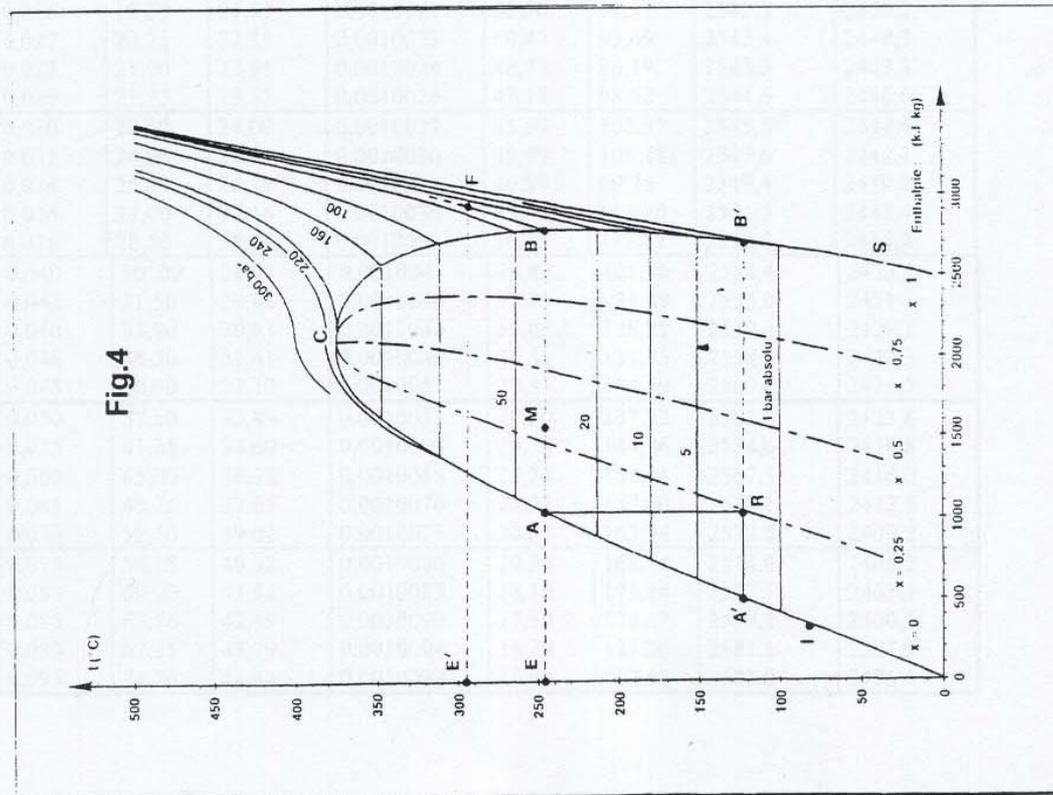
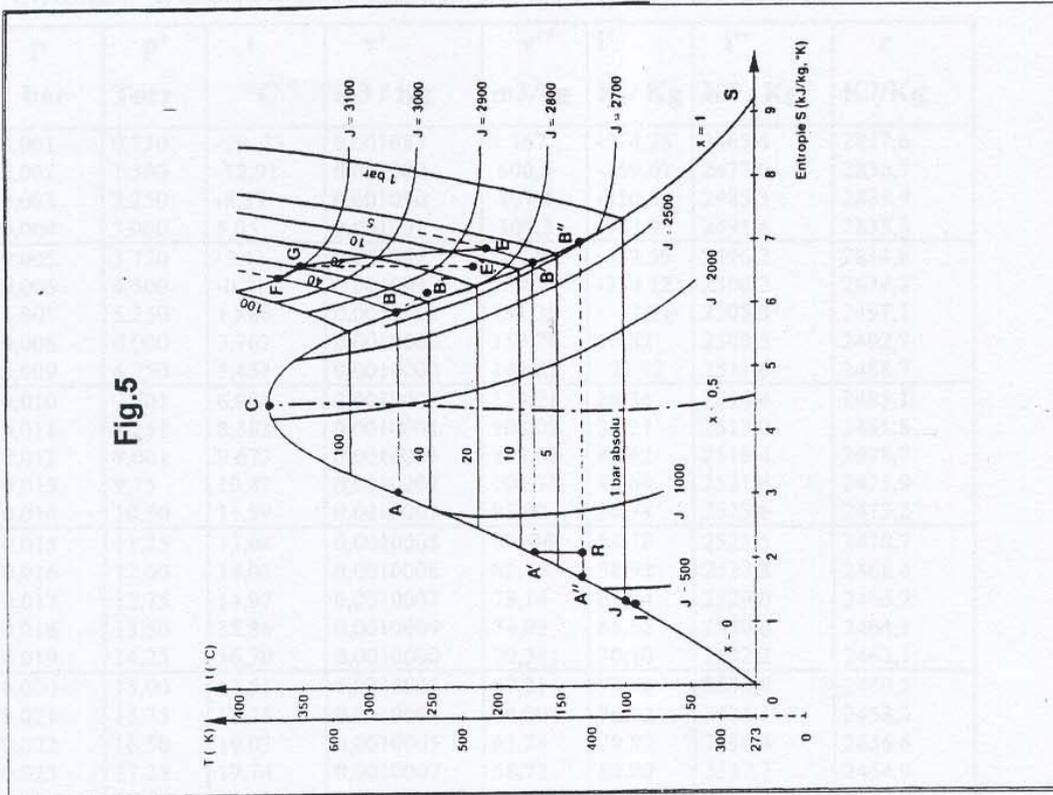


TABLE 1 : DE SATURATION DE LA VAPEUR (EN PRESSION ABSOLUE)

p bar	p' Torr	t °C	v' m3 / Kg	v'' m3/kg	i' Kj/ Kg	i'' KJ / Kg	r KJ/Kg
0,001	0,750	-20,33	0,001087	1 167	-374,25	2463,4	2837,6
0,002	1,500	-12,91	0,001089	600,5	-359,67	2477,0	2836,7
0,003	2,250	-8,37	0,001090	407,3	-350,62	2485,3	2835,9
0,004	3,000	5,05	0,001091	309,3	-343,93	2491,4	2835,3
0,005	3,750	-2,41	0,001092	249,9	-338,59	2496,2	2834,8
0,006	4,500	-0,21	0,001093	209,9	-334,12	2500,2	2834,3
0,007	5,250	1,886	0,0010001	181,32	7,91	2505,0	2497,1
0,008	6,000	3,767	0,0010000	159,74	15,82	2508,5	2492,7
0,009	6,750	5,454	0,0010000	142,82	22,92	2511,6	2488,7
0,010	7,501	6,984	0,0010001	129,21	29,34	2514,4	2485,1
0,011	8,251	8,383	0,0010001	108,02	35,21	2517,0	2481,8
0,012	9,001	9,673	0,0010003	108,67	40,62	2519,4	2478,7
0,013	9,75	10,87	0,0010002	100,73	45,69	2521,6	2475,9
0,014	10,50	11,99	0,0010003	93,90	50,38	2523,6	2473,2
0,015	11,25	13,04	0,0010005	87,96	54,78	2525,5	2470,7
0,016	12,00	14,03	0,0010006	82,75	58,92	2527,3	2468,4
0,017	12,75	14,97	0,0010007	78,14	62,84	2529,0	2466,2
0,018	13,50	15,86	0,0010009	74,03	66,56	2530,6	2464,1
0,019	14,25	16,70	0,0010000	70,34	70,10	2532,2	2462,1
0,020	15,00	17,51	0,0010002	67,01	73,48	2533,7	2460,2
0,021	15,75	18,28	0,0010004	64,00	76,72	2535,1	2458,3
0,022	16,50	19,03	0,0010005	61,24	79,82	2536,4	2456,6
0,023	17,25	19,74	0,0010007	58,72	82,80	2537,7	2454,9
0,024	18,00	20,43	0,0010008	56,41	85,67	2539,0	2453,3
0,025	18,75	21,09	0,0010020	54,28	88,44	2540,2	2451,7
0,026	19,50	21,73	0,0010021	52,30	91,11	2542,3	2450,2
0,027	20,25	22,35	0,0010023	50,47	93,69	2542,4	2448,7
0,028	21,00	22,95	0,0010024	48,77	96,19	2543,5	2447,3
0,029	21,75	23,53	0,0010026	47,18	98,62	2544,6	2446,0
0,030	22,50	24,09	0,0010027	45,69	100,97	2545,6	2444,6
0,032	24,00	25,17	0,0010030	42,99	105,481	2547,6	2442,1
0,034	25,50	26,19	0,0010033	40,59	09,75	2549,4	2439,7
0,036	27,00	27,16	0,0010036	38,46	113,80	2551,2	2437,4
0,038	28,50	28,09	0,0010038	36,55	117,67	2552,8	2435,2
0,040	30,00	28,97	0,0010041	34,82	121,36	2554,4	2433,1
0,042	31,50	29,82	0,0010044	33,25	124,89	2556,0	2431,1
0,044	33,00	30,63	0,0010046	31,82	128,29	2557,4	2429,2
0,046	34,50	31,41	0,0010049	30,51	131,55	2558,9	2427,3
0,048	36,00	32,17	0,0010051	29,31	134,69	2560,2	2425,5
0,050	37,50	32,89	0,0010053	28,20	137,72	2561,5	2423,8
0,055	41,25	34,60	0,0010059	25,78	144,86	2564,6	2419,8
0,060	45,00	36,18	0,0010065	23,74	151,46	2567,5	2416,0
0,065	48,75	37,65	0,0010070	22,02	157,60	2570,1	2412,5
0,070	52,50	39,02	0,0010075	20,53	163,34	2572,6	2409,2
0,075	56,25	40,32	0,0010080	19,24	168,74	2574,9	2406,2
0,080	60,00	41,54	0,0010085	18,10	173,84	2577,1	2403,3
0,085	63,76	42,69	0,0010090	17,10	178,67	2579,2	2400,5
0,090	67,51	43,79	0,0010094	16,20	183,26	2581,1	2397,9
0,095	71,26	44,84	0,0010098	15,40	187,63	2583,0	2395,4

P x bar	P' Torr	T °C	V' m ³ / Kg	V'' m ³ /kg	i m ³ /Kg	i'' Kj / Kg	r Kj /Kg
0,100	75,01	45,84	0,0010103	14,67	191,81	2584,8	2393,0
0,110	82,51	47,71	0,0010111	13,41	199,67	2588,1	2388,5
0,120	90,01	49,45	0,0010119	12,36	206,93	2591,2	2384,3
0,130	97,51	51,07	0,0010126	11,46	213,69	2594,1	2380,4
0,140	105,0	52,58	0,0010133	10,69	220,01	2596,7	2376,7
0,150	112,5	54,00	0,0010140	10,02	225,97	2599,2	2373,3
0,160	120,0	55,34	0,0010147	9,43	231,59	2601,6	2370,0
0,170	127,0	56,62	0,0010153	8,91	236,92	2603,8	2366,9
0,180	135,0	57,83	0,0010159	8,45	241,99	2606,0	2364,0
0,190	142,5	58,93	0,0010165	8,03	246,83	2608,0	2361,2
0,200	150,0	60,09	0,0010171	7,65	251,45	2609,9	2358,5
0,210	157,5	61,14	0,0010177	7,31	255,88	2611,7	2355,9
0,220	165,0	62,16	0,0010182	7,00	260,14	2613,5	2353,4
0,230	172,5	36,14	0,0010188	6,71	264,23	2615,2	2351,0
0,240	180,0	64,08	0,0010193	6,45	268,18	2616,8	2348,6
0,250	087,5	64,99	0,0010198	6,21	271,99	2618,4	2346,4
0,260	195,0	65,87	0,0010203	5,98	275,67	2619,9	2344,2
0,270	202,5	66,72	0,0010208	5,77	279,23	2621,4	2342,1
0,280	210,0	67,54	0,0010213	5,58	282,69	2622,8	2340,1
0,290	217,5	68,34	0,0010218	4,40	286,04	2624,1	2338,1
0,300	225,0	69,12	0,0010222	5,23	289,30	2625,5	2336,2
0,320	240,0	70,61	0,0010231	4,92	295,55	2628,0	2332,5
0,340	255,0	72,02	0,0010240	4,65	301,47	2630,4	2328,9
0,360	270,0	73,37	0,0010248	4,41	307,12	2630,7	2325,6
0,380	285,0	74,65	0,0010256	4,19	312,50	2634,8	2322,3
0,400	300,0	75,88	0,0010264	4,00	317,65	2636,9	2319,2
0,420	315,0	77,06	0,0010272	3,82	322,59	2638,9	2316,3
0,440	330,0	78,19	0,0010279	3,65	327,34	2640,8	2313,4
0,460	345,0	79,27	0,0010286	3,50	331,91	2642,6	2310,7
0,480	360,0	80,32	0,0010293	3,37	336,32	2644,3	2308,0
0,500	375,0	81,34	0,0010300	3,24	340,57	2646,0	2305,4
0,550	412,5	83,73	0,0010317	2,96	350,62	2649,9	2299,3
0,600	450,0	85,95	0,0010332	2,73	359,94	2653,6	2293,6
0,650	487,5	88,02	0,0010347	2,54	368,63	2656,9	2288,3
0,700	525,0	89,96	0,0010361	2,37	376,78	2660,0	2283,3
0,750	562,5	91,78	0,0010375	2,22	384,47	2663,0	2278,5
0,800	600,0	93,51	0,0010388	2,09	391,74	2665,7	2274,0
0,850	637,6	95,15	0,0010400	1,97	398,65	2668,3	2269,7
0,900	675,1	96,71	0,0010412	1,87	405,23	2670,8	2265,6
0,950	712,6	98,20	0,0010424	1,78	411,51	2673,2	2261,6

P : Pression en bar absolu.

P' : Pression en Torr absolu.

t : température °C.

V' : Volume spécifique de l'eau m³/ Kg .

V'' : Volume spécifique de la vapeur sèche m³/ Kg.

I' : Enthalpie de l'eau en ébullition KJ/Kg.

I'' : Enthalpie de la vapeur saturée sèche KJ/Kg.

r : Chaleur de vaporisation .

ANNEXE 5 TABLE DE SATURATION DE LA VAPEUR (EN PRESSION ABSOLOUE)

p bar	T °C	V' m ³ / Kg	V'' m ³ /kg	i' m ³ /Kg	i'' Kj / Kg	r Kj /Kg
1.0	99.6	0.001 0435	1.649	417.53	2 675.4	2 257.9
1.1	102.3	0.001 0456	1.549	428.86	2 679.6	2 250.7
1.2	104.8	0.001 0476	1.248	439.38	2 683.4	2 244.0
1.3	107.1	0.001 0496	1.325	449.20	2 686.9	2 237.7
1.4	109.3	0.001 0514	1.236	458.43	2 690.2	2 231.8
1.5	111.4	0.001 0531	1.159	467.14	2 693.3	2 226.3
1.6	113.3	0.001 0548	1.091	475.38	2 696.2	2 220.8
1.7	115.2	0.001 0564	1.031	483.22	2 698.9	2 215.7
1.8	116.9	0.001 0580	0.9771	490.70	2 701.5	2 210.8
1.9	118.6	0.001 0595	0.9288	497.84	2 703.9	2 206.1
2.0	120.2	0.001 0609	0.8853	504.69	2 706.3	2 201.6
2.1	121.8	0.001 0623	0.8458	511.27	2 708.5	2 197.2
2.2	123.3	0.001 0637	0.8097	517.61	2 710.6	2 193.0
2.3	124.7	0.001 0650	0.7767	523.72	2 712.6	2 188.9
2.4	126.1	0.001 0663	0.7464	529.62	2 714.5	2 184.9
2.5	127.4	0.001 0676	0.718.4	535.32	2 716.4	2 181.1
2.6	128.7	0.001 0688	0.6925	540.85	2 718.2	2 177.3
2.7	130.0	0.001 0700	0.6684	546.21	2 719.9	2 173.7
2.8	131.2	0.001 0712	0.6460	551.41	2 721.5	2 170.1
2.9	132.4	0.001 0724	0.6251	556.47	2 723.1	2 166.7
3.0	133.5	0.001 0735	0.6056	561.40	2 724.7	2 163.3
3.2	135.8	0.001 0757	0.570	570.87	2 727.6	2 156.7
3.4	137.9	0.001 0778	0.5385	579.88	2 730.3	2 150.5
3.6	139.9	0.001 0799	0.5104	588.48	2 732.9	2 144.4
3.8	141.8	0.001 0819	0.4851	596.72	2 735.4	2 138.6
4.0	143.6	0.001 0838	0.4623	604.63	2 727.7	2 133.0
4.2	145.4	0.001 0857	0.4416	612.23	2 739.9	2 127.6
4.4	147.1	0.001 0875	0.4227	619.55	2 741.9	2 122.4
4.6	148.7	0.001 0893	0.4053	626.62	2 743.9	2 117.3
4.8	150.3	0.001 0910	0.3894	633.46	2 745.8	2 112.3
5.0	151.8	0.001 0927	0.3747	640.08	2 747.6	2 107.5
5.5	155.5	0.001 0968	0.3425	655.77	2 751.7	2 096.0
6.0	158.8	0.001 1007	0.3155	670.39	2 755.5	2 085.1
6.5	162.0	0.001 1045	0.2925	684.11	2 758.9	2 074.8
7.0	164.9	0.001 1081	0.2727	679.05	2 762.0	2 065.0
7.5	167.8	0.001 1115	0.2555	709.29	2 764.9	2 055.6
8.0	170.4	0.001 1149	0.2403	720.93	2 767.5	2 046.5
8.5	172.9	0.001 1181	0.2268	732.04	2 769.9	2 037.9
9.0	175.4	0.001 1213	0.2148	742.66	2 772.1	2 029.5
9.5	177.7	0.001 1243	0.2040	752.84	2 774.2	2 021.4
10	197.9	0.001 1273	0.1943	762.63	2 776.1	2 013.5
11	184.1	0.001 1331	0.1774	781.16	2 779.6	1 998.5
12	188.0	0.001 1386	0.1632	798.47	2 782.7	1 984.5
13	191.6	0.001 1439	0.1511	814.74	2 785.4	1 970.6
14	195.0	0.001 1490	0.1407	830.12	2 787.7	1 957.6

P bar	T °C	V' m ³ /Kg	V'' m ³ /kg	i' m ³ /Kg	i'' Kj/Kg	r Kj/Kg
15	198.3	0.001 1539	0.1316	844.71	2 789.8	1 945.1
16	201.4	0.001 1587	0.1237	858.61	2 791.7	1 933.1
17	204.3	0.001 1634	0.1166	871.89	2 793.3	1 921.4
18	207.1	0.001 1680	0.1103	884.61	2 794.8	1 910.2
19	209.8	0.001 1724	0.1046	196.84	2 796.1	1 899.2
20	212.4	0.001 1767	0.099 52	908.62	2 797.2	1 888.6
21	214.9	0.001 1810	0.094 88	919.98	2 798.2	1 878.2
22	217.3	0.001 1852	0.090 64	930.97	2 799.0	1 868.1
23	219.6	0.001 1893	0.086 76	941.61	2 799.8	1 858.2
24	221.8	0.001 1933	0.083 19	951.93	2 800.4	1 848.5
25	223.9	0.001 1973	0.079 90	961.96	2 800.9	1 839.0
26	226.0	0.001 2012	0.076 85	971.71	2 801.4	1 829.7
27	228.1	0.001 2050	0.074 02	981.21	2 801.7	1 820.5
28	230.1	0.001 2089	0.071 39	990.46	2 802.0	1 811.6
29	232.0	0.001 2126	0.068 93	999.50	2 802.2	1 802.7
30	233.8	0.001 2163	0.066 63	1 008.3	2 802.3	1 794.0
32	237.4	0.001 2237	0.062 44	1 025.4	2 802.4	1 777.0
34	240.9	0.001 2309	0.058 73	1 041.8	2 802.2	1 760.5
36	244.2	0.001 2380	0.055 42	1 057.5	2.801.8	1 744.3
38	247.3	0.001 2450	0.041 16	1 27.7	2 801.2	1 728.5
40	250.3	0.001 2519	0.049 75	1 087.3	2 800.4	1 713.1
42	253.2	0.001 2588	0.04731	1 101.5	2 799.5	1 697.9
44	256.0	0.001 2656	0.04508	1 115.3	2 798.4	1 683.0
46	258.7	0.001 2723	0.04304	1 128.7	2 797.1	1 668.4
48	261.4	0.001 2790	0.04116	1 141.7	2 795.7	1 654.0
50	263.9		0.039 43	1 154.3		1 640.0
60	275.6		0.032 44	1 213.3		1 571.7
70	285.8		0.027 37	1 267.3		1 506.0
80	295.0		0.023 53	1 317.2		1 442.8
90	303.3		0.020 50	1 363.6		1 380.8
100	311.0		0.018 04	1 408.0		1 319.7
110	318.1		0.016 01	1 450.7		1 258.6
120	324.7		0.014 28	1 491.8		1 197.4
130	330.8		0.012 80	1 531.9		1 135.0
140	336.6		0.011 50	1 571.7		1 070.6
150	342.1		0.010 34	1 610.7		1 004.4
200	365.7		0.005 88	1 826.3		592.0

P : Pression en bar absolu.

t : température °C.

V' : Volume spécifique de l'eau m³/ Kg .

V'' : Volume spécifique de la vapeur sèche m³/ Kg.

I' : Enthalpie de l'eau en ébullition KJ/Kg.

I'' : Enthalpie de la vapeur saturée sèche KJ/Kg.

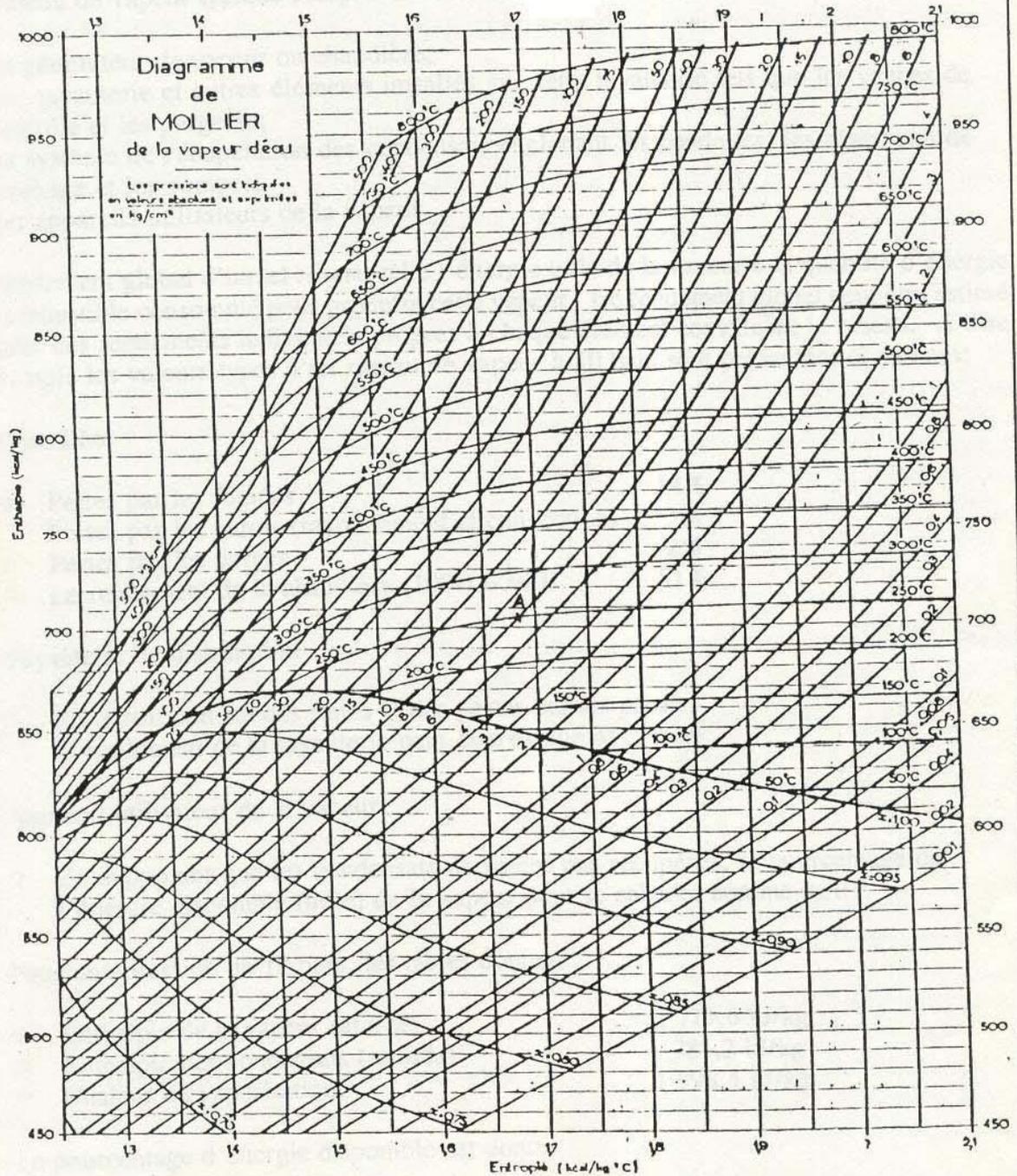
r : Chaleur de vaporisation .

Table de la vapeur surchauffée
TAB .2

Pression absolue kg/cm ²	Chaleur totale de vaporisation et de surchauffe						Poids spécifique de la vapeur surchauffée						Viscosité cinématique de la vapeur surchauffée				
	kcal/kg						kg/m ³						cSt				
	250°	300°	350°	400°	500°	600°	250°	300°	350°	400°	500°	600°	250°	300°	350°	400°	500°
0,5	710,5	734,3	758,4	782,9	833,0		0,2035	0,1856	0,1707	0,1875	0,1375						
1,0	710,2	734,0	758,2	782,7	832,8	884,6	0,4077	0,3716	0,3416	0,3161	0,2750	0,2435	48,85	48,70	58,52	68,78	92,25
2,0	709,4	733,4	757,7	782,3	832,6	884,4	0,8183	0,7452	0,6845	0,6329	0,5507	0,4873					
4,0	707,9	732,3	756,3	781,8	832,1	884,1	1,648	1,498	1,374	1,270	1,103	0,9758					
8,0	706,3	731,0	755,8	780,8	831,6	883,8	2,489	2,258	2,068	1,910	1,657	1,465					
8,0	704,7	729,8	754,9	780,0	831,1	883,4	3,343	3,028	2,788	2,592	2,213	1,954					
10,0	702,9	728,6	754,0	779,2	830,5	883,0	4,210	3,802	3,472	3,199	2,770	2,446	4,55	5,5	6,9	8,26	11,4
12	701,2	727,3	753,9	778,5	830,1	882,7	5,092	4,585	4,182	3,849	3,339	2,949					
14	699,5	726,1	752,0	777,7	829,5	882,3	5,988	5,379	4,977	4,505	3,891	3,431					
16	697,9	724,9	751,1	777,0	829,0	881,9	6,891	6,180	5,618	5,182	4,454	3,925					
18	696,0	723,7	750,1	776,2	828,5	881,5	7,825	6,988	6,345	5,824	5,018	4,421					
20	694,3	722,4	749,2	775,5	828,0	881,1	8,772	7,806	7,077	6,485	5,583	4,919	2,28	2,88	3,27	3,82	4,18
22	692,2	721,1	748,2	774,7	827,5	880,8	9,737	8,636	7,813	7,158	6,154	5,411					
24	690,2	719,8	747,2	773,9	827,0	880,4	10,72	9,479	8,544	7,831	6,729	5,910					
26	688,1	718,4	746,3	773,1	826,4	880,1	11,73	10,33	9,302	8,503	7,294	6,414					
28	685,9	717,0	745,3	772,4	825,9	879,7	12,76	11,18	10,06	9,182	7,888	6,918					
30	683,6	715,7	744,3	771,6	825,4	879,3	13,82	12,06	10,82	9,876	8,446	7,413	1,87	2,35	2,73	3,07	4,17
32	681,1	714,3	743,3	770,8	824,9	879,0	14,91	12,94	11,59	10,56	8,025	7,911					
34	678,5	712,9	742,2	770,0	824,4	878,6	16,03	13,83	12,37	11,25	9,606	8,418					
36	675,8	711,5	741,2	769,2	823,9	878,2	17,19	14,74	13,15	11,94	10,88	8,921					
38	673,1	709,8	740,1	768,4	823,4	877,9	18,38	15,66	13,94	12,65	10,77	9,425					
40	670,1	708,3	739,0	767,6	822,8	877,5	19,62	16,60	14,73	13,35	11,35	9,938	1,81	1,92	2,28	2,68	3,88
42		706,6	737,9	766,9	822,3	877,1		17,55	15,53	14,06	11,94	10,44					
44		705,0	737,0	766,1	821,8	876,8		18,52	16,34	14,77	12,53	10,96					
46		703,4	735,8	765,2	821,3	876,4		19,50	17,16	15,49	13,12	11,46					
48		701,7	734,7	764,5	820,7	876,0		20,50	17,99	16,21	13,71	11,97					
50		700,0	733,6	763,6	820,2	875,7		21,52	18,82	16,94	14,31	12,48	1,37	1,52	1,82	2,17	3,0
55		695,4	730,7	761,5	819,9	874,8		24,15	20,33	18,77	15,80	13,78					
60		690,5	727,5	759,5	817,6	873,8		26,93	23,12	20,64	17,31	15,05					
65		685,2	724,9	757,3	818,3	872,8		29,77	25,25	22,64	18,83	16,34					
70		679,7	721,7	755,2	815,0	872,0		33,01	27,67	24,47	20,37	17,65					
75		673,6	718,4	752,9	813,8	871,8		36,36	30,06	26,45	21,92	18,96		1,16	1,38	1,68	1,94
80		667,3	715,0	750,8	812,3	870,2		39,97	32,53	28,45	23,49	20,28					
85		660,3	711,7	748,3	811,9	869,2		43,94	35,89	30,59	25,06	21,89					
90			707,5	745,8	809,6	868,3			37,74	32,58	26,65	22,93					
95			703,8	743,1	808,3	867,4			40,58	34,71	28,25	24,37					
100			699,5	740,4	807,0	866,5			43,46	36,97	29,88	25,61		0,99	1,16	1,31	1,61
110			691,2	735,3	804,2	864,6			49,68	41,69	33,17	28,33					
120			681,9	730,0	801,3	862,7			56,43	46,23	36,52	31,07					
130			671,6	724,4	798,4	860,9			64,18	51,23	39,95	33,83					
140			660,0	718,4	795,4	859,0			72,89	56,53	43,44	36,64					
150			647,7	712,3	792,4	857,1			83,47	62,07	47,01	39,46			0,84	0,83	1,11
180		630,8	705,9	789,3	855,2				96,81	68,07	50,63	42,28					
170			699,2	726,2	853,6					74,34	54,38	46,19					
180			691,7	725,1	851,9					81,30	58,17	48,10					
190			683,8	723,8	850,8					88,81	62,97	51,97					
200			675,3	722,6	848,1					96,99	66,09	54,05					
220				657,0	770,0	844,1				168,9	74,40	57,07					

Figure 6

Diagramme de MOLLIER pour la vapeur d'eau



(Référence 8)

B-Purgeurs de Vapeur

1°) FONCTION DES PURGEURS DE VAPEUR:

Il est important de procéder fréquemment à la purge du réseau de vapeur pour mieux optimiser l'opération du système vapeur/condensation. Le purgeur de vapeur assurant cette opération doit avoir trois fonctions principales :

- Evacuer les condensats , rapidement et entièrement.
- Evacuer l'air et les autres incondensables.
- Eviter les pertes de vapeur.

2°) TYPES DE PURGEURS:

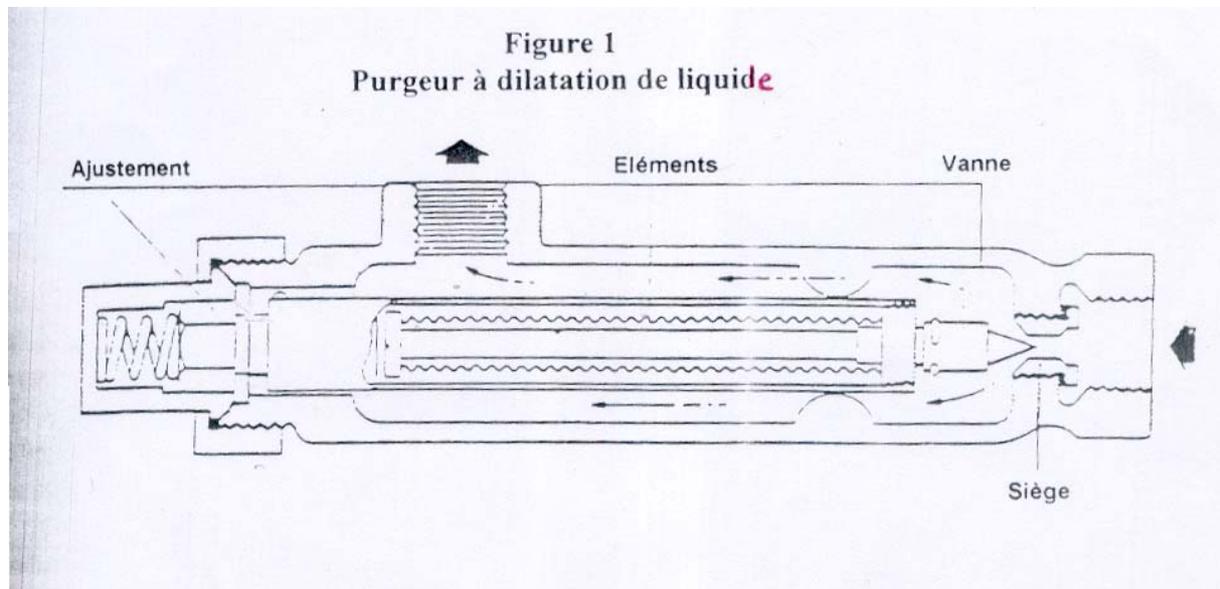
il existe trois principaux types de purgeurs classés suivant le principe physique utilisé:

- Les purgeurs thermostatiques
- Les purgeurs mécaniques
- Les purgeurs thermodynamiques

2.1) Purgeurs thermostatiques :

2.1.1 purgeurs à dilatation de liquide :

Ce purgeur présenté schématiquement sur la fig. 1 , est le plus simple . Il comprend une cartouche remplie d'huile qui , en se dilatant sous l'effet de la température pousse un pointeau vers son siège et ferme ainsi le clapet.

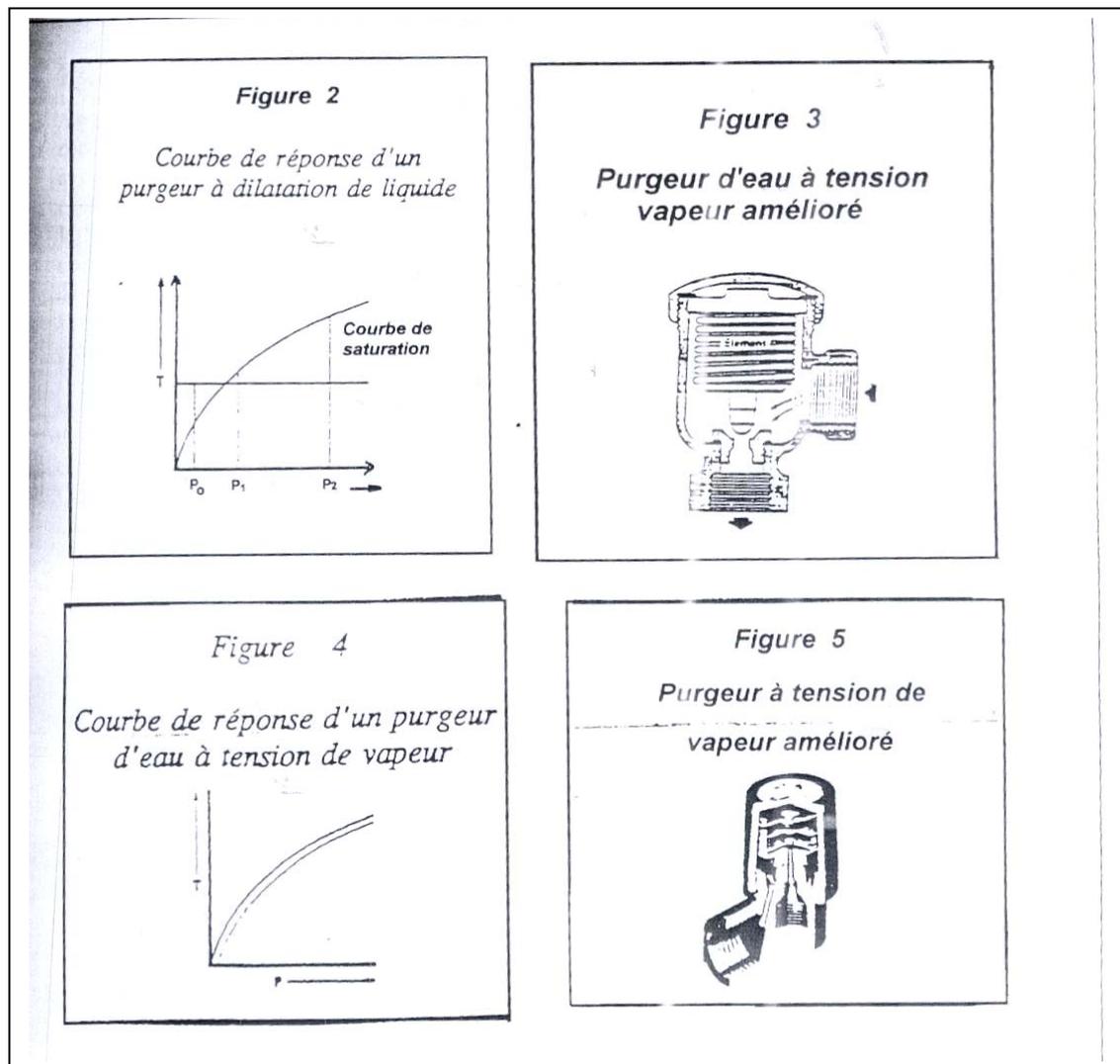


Cette cartouche est munie d'un dispositif d'ajustement qui règle le déplacement de la cartouche en fonction de la température .

Le problème de ce type de purgeur réside dans le fait qu'il fonctionne à une température fixe , alors que la température de la vapeur varie avec la pression.

La fig.2 montrant la courbe de saturation de la vapeur et la ligne de réponse du purgeur à dilatation de liquide , illustre bien ce problème.

Ce type de purgeur peut être employé dans des situations où une accumulation excessive des condensats est acceptable.



2.1.2 Purgeur à tension de vapeur ou à pression équilibrée:

ce purgeur représenté sur la fig.3, apporte une amélioration par rapport au type de purgeur décrit précédemment. Comme son nom l'indique, le purgeur est équilibré de façon à faire face aux variations de la pression. Au lieu d'être pleine d'huile, la cartouche sous vide (soufflet ou membrane) contient une petite quantité d'un liquide dont le point d'ébullition est légèrement inférieur à celui de l'eau. Lors du démarrage, quand le système est froid, la cartouche est contractée et la soupape est grande ouverte permettant ainsi l'évacuation rapide de l'air (utilisation comme purgeurs d'air).

Lors de l'évacuation des condensats, la température du liquide de la cartouche augmente progressivement.

Avant l'arrivée de la vapeur vive au purgeur, le liquide atteint sa température d'ébullition et se vaporise. La cartouche se dilate et ferme ainsi le clapet. Sous l'effet des pertes thermiques, le dispositif se refroidit, la cartouche se contracte et le clapet s'ouvre pour laisser échapper les condensats.

Quand la température s'approche de celle de la vapeur, le clapet se ferme et le cycle se répète. La courbe de réponse de ce dispositif est montrée sur la fig. 4. Un des problèmes de ces

purgeurs est la fragilité de la cartouche qui peut être endommagée sous l'effet des coups de bélier ou de la corrosion. Une cartouche de conception récente plus résistante et plus robuste est montrée sur la fig. 5.

2.1.3 Purgeurs bimétalliques :

Ce sont les purgeurs les robustes. Les bilames sont constitués de deux lames métalliques (à coefficient de dilatation très différents) soudées ensemble . Ces bilames plats à la température ambiante , s'incurvent à chaud . La fig. 6 montre un purgeur bimétallique simple.

A froid , le purgeur est largement ouvert permettant la désaération du système . En contact avec les condensats , la température du purgeur augmente provoquant ainsi la déflexion des lames et la fermeture du clapet . Un dispositif d'ajustement peut être installé pour que le clapet se ferme à une température prédéterminée.

A cause de cette restriction , les purgeurs bimétalliques utilisent généralement un clapet en aval (voir fig.7)

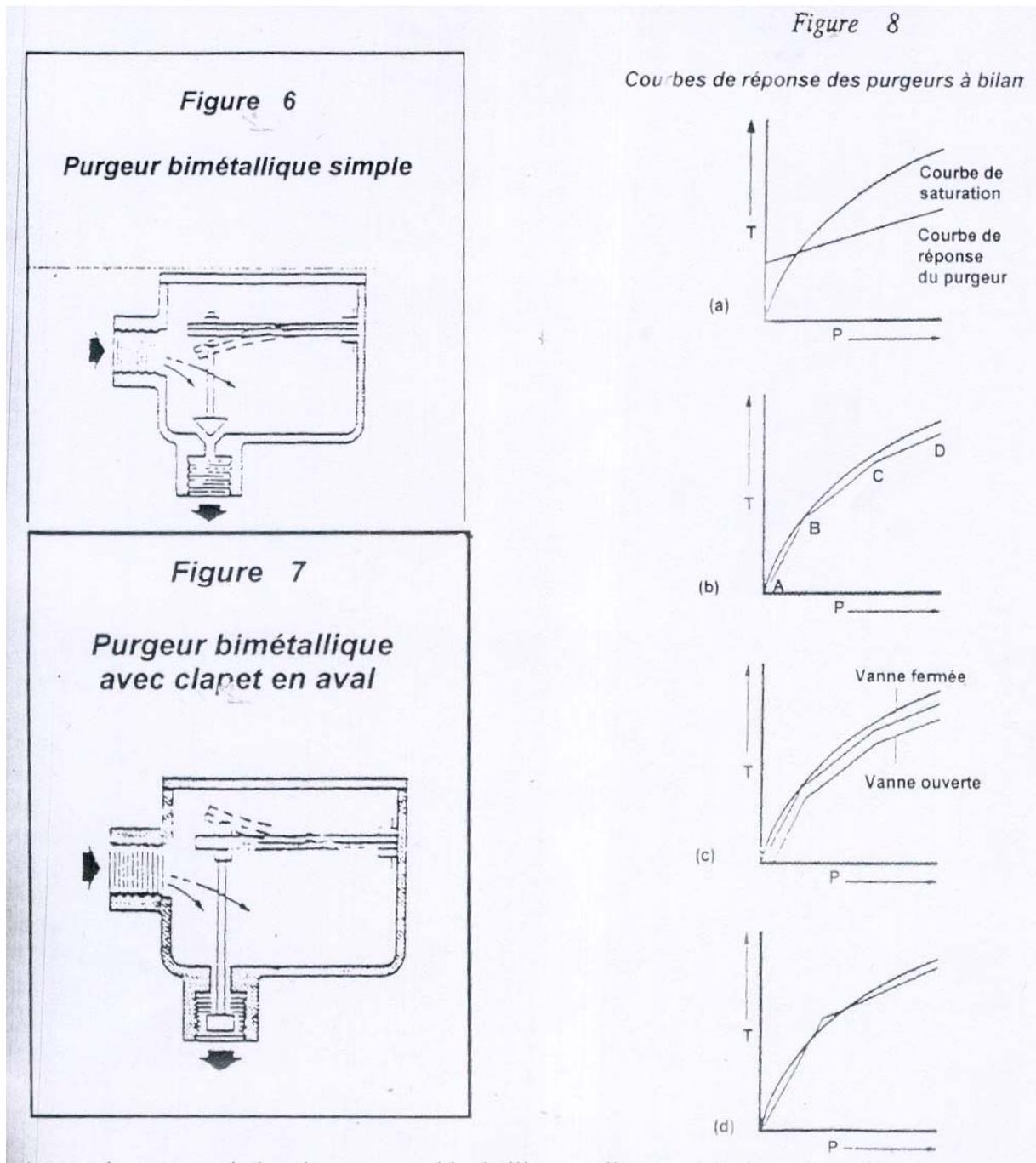
Les condensats traversant le purgeur déformant le bilame de façon à tirer le clapet contre son siège alors que la poussée qu'exerce la pression aura tendance à l'éloigner. A mesure que la température des condensats augmente , la traction exercée par le bilame contre la poussée de pression augmente progressivement et tend à fermer le clapet.

La courbe de limite d'ouverture/ fermeture du clapet qui résulte de l'équilibre des forces mises en jeu est montrée avec la courbe de saturation sur la fig. 8a. C'est une amélioration par rapport à la fig. 2 ,mais la courbe est loin de suivre l'allure de la courbe de saturation.

L'utilisation des purgeurs comprenant un ensemble de pièces métalliques placées en pair permet d'améliorer la courbe de réponse (fig.8b). Un jeu de lames s'incurve pour donner un segment de la courbe .

A une température donnée , le premier jeu subit une déflexion pour donner la réponse AB; à une température plus élevée , un deuxième jeu de lames donnera la réponse BC et ainsi de suite . L'objectif est de suivre la courbe de saturation aussi près que possible . La courbe de réponse du purgeur peut être déplacée vers le haut ou vers le bas en ajustant la position du clapet par rapport au siège. Toutefois , il est déconseillé d'avoir un dispositif dont la courbe de réponse est très proche de la courbe de saturation et ceci pour plusieurs raisons . Tout d'abord , les bilames peuvent souffrir du phénomène d'hystérésis comme le montre la fig. 8c. La lame bimétallique se défléchira et fermera le clapet quand l'eau environnante sera à une température un peu plus élevée que la température de la lame .

Il ne se rouvrira que lorsque l'eau se sera refroidie à une température plus basse que la lame. Il y a ainsi une différence dans les températures d'ouverture et de fermeture . Il est donc impossible d'ajuster précisément ce purgeur pour une température donnée . De même , l'ajustement dépend de l'équilibre entre la force de fermeture exercée par le bilame et celle d'ouverture exercée par la pression de ligne . Il est clair que la moindre variation de contre pression en aval du purgeur modifiera cet équilibre . Malheureusement plusieurs systèmes de retour de condensats imposent une contre pression qui varie avec les conditions de charge de sorte que l'ajustement des purgeurs en sera affecté , donc si le purgeur est réglé pour fonctionner à une température proche de celle de la vapeur , il est possible qu'il laisse échapper de la vapeur vive (fig. 8d) sous certaines conditions. De plus , le fonctionnement du purgeur à cette température peut causer une déformation du clapet et du siège telle qu'il ne pourra plus assurer une fermeture étanche . Pour pallier à ces problèmes , les purgeurs bimétalliques sont ajustés de façon telle qu'ils gardent en permanence une certaine quantité de



condensats . D'autres purgeurs bimétalliques utilisent des lames de formes différentes , empilées en paires et fonctionnant comme le montre la fig.9.

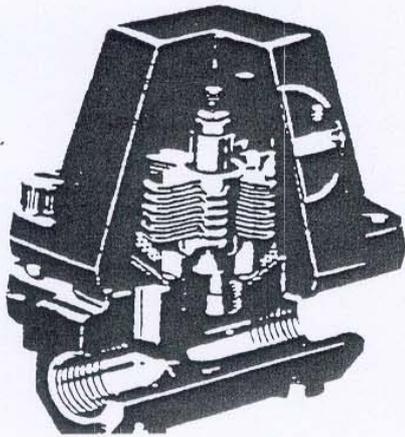
Une forme particulièrement bien réussie est illustrée sur la fig. 10 , qui montre la manière dont les trois pièces de différentes longueurs agissent à différentes températures .

L'inconvénient majeur de ce type de purgeur c'est que l'hystérésis peut les affecter avec le temps .En effet , avec l'usure , les bilames auront tendance à ne plus se déformer sous l'effet de la température et donc garder une forme fixe.

Figure 9

Fonctionnement du purgeur bimétallique

(a)



(b)

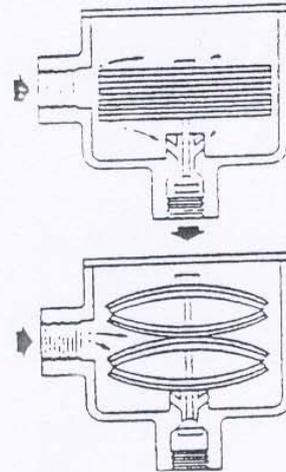


Figure 10

Formes particulières des éléments d'un purgeur bimétallique

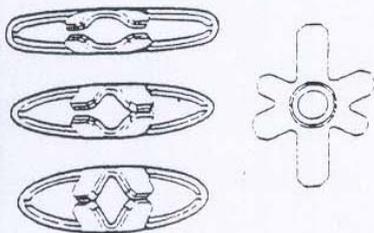


Figure 11

Purgeur à flotteurs

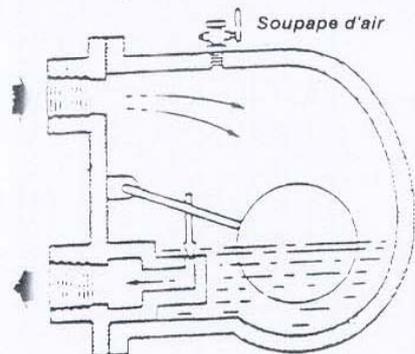


Figure 12

Purgeur à flotteur avec évent thermostatique

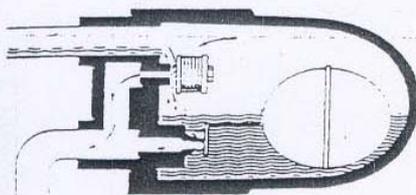
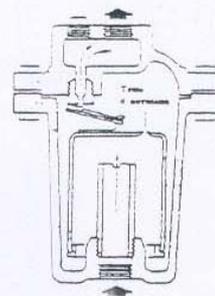


Figure 13

Purgeur à cloche inversée



2.2.Purgeurs mécaniques :

Ces purgeurs peuvent être divisés en deux catégories :

- Les purgeurs à flotteur fermé.
- Les purgeurs à flotteur inversé ouvert.

2.2.1 Purgeurs à flotteur fermé :

Comme tous les autres purgeurs mécaniques , le purgeur à flotteur agit selon la différence de densité entre la vapeur et des condensats .

Un exemple de fonctionnement est représenté sur la fig. 11 . Quand les condensats arrivent au purgeur ; le ballon flotteur monte avec la surface d'eau , ouvre le clapet et laisse échapper les condensats . Le débit des condensats évacués est automatiquement modulé au débit des condensats qui arrivent dans le purgeur . En effet , le purgeur est largement ouvert si le débit de condensation est suffisamment important pour que le flotteur monte assez haut .

Un problème qui se pose à ce type de purgeur , c'est que l'air ne peut être évacué à travers une soupape noyée . Les premiers purgeurs de ce type étaient désaérés manuellement à travers un orifice placé dans la partie supérieure du corps du purgeur . les purgeurs modernes emploient des événements thermostatiques comme le montre la fig. 12. L'évent permet l'évacuation de l'air initialement enfermé dans le système , alors que le purgeur de vapeur se limite à l'évacuation des condensats.

L'évent est virtuellement placé au dessus du niveau des condensats. Après une purge d'air , le dispositif se fermera une fois en contact avec la vapeur et demeurera fermé jusqu'à ce que l'air s'accumule de nouveau.

Un purgeur à flotteur avec événement thermostatique est presque un purgeur de vapeur idéal. Ce dispositif assurera facilement la désagrégation du système et se débarrassera des condensats dès qu'ils sont formés . Le fonctionnement de ce purgeur est indépendant de la variation de la pression .

Cependant , ces purgeurs ont deux inconvénients :

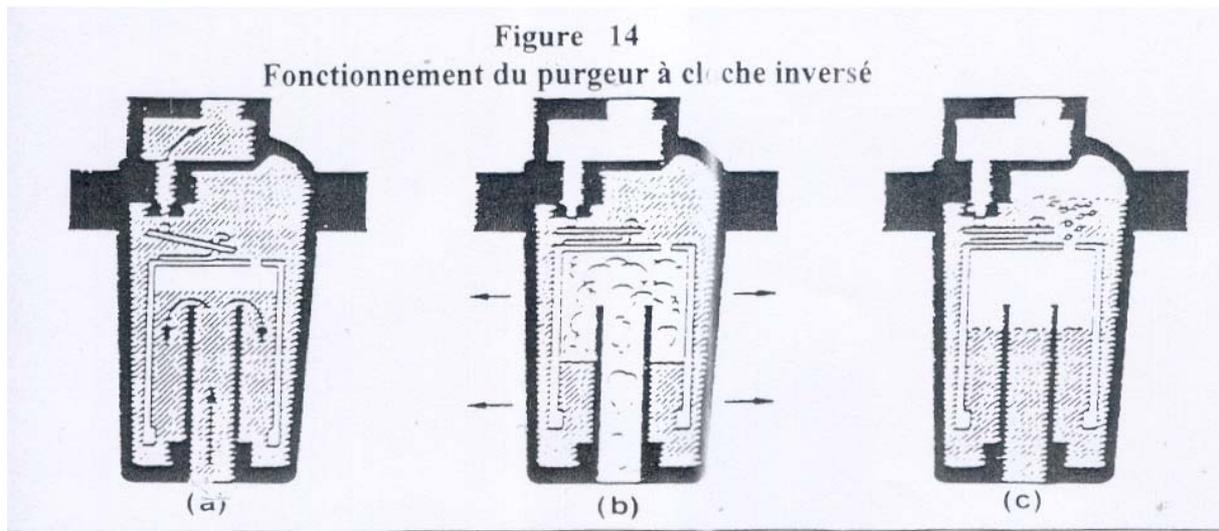
- Leur grande taille et le coût qui peut être élevé.
- La fragilité du mécanisme d'ouverture et de fermeture de la soupape vis à vis des coups de bélier.

2.2.2 Purgeurs à flotteur inversé ouvert:

Ce type de purgeur est illustré sur la fig.13 . L'élément fonctionnel de ce dispositif consiste en une cloche inversée , reliée au clapet et munie d'orifice de désaération situés sur la partie supérieure . Le fonctionnement de ce dispositif est illustré sur la fig.14.

La fig.14a représente le cas de l'arrêt du système ou celui de l'arrivée des condensats. La cloche repose au fond du corps sous l'effet de son poids entraînant l'ouverture du purgeur. Lorsque la vapeur arrive , elle s'accumule sous la cloche qui se vide d'eau . La cloche s'élève donc (comme la fig.14b) et pousse le clapet sur son siège. Le purgeur restera fermé jusqu'à ce que la vapeur piégée sous la cloche soit condensée par perte de chaleur . Les bulles d'air peuvent quitter la cloche en direction de l'orifice de désaération . La fig.14c montre la cloche en cours de descente ouvrant ainsi la soupape. Les condensats accumulés seront donc évacués.

Au démarrage , une arrivée d'air fera monter la cloche par poussée d'Archimède fermant ainsi la soupape .L'air piégé va s'échapper lentement à travers les orifices de faible diamètre situés sur la partie supérieure de la cloche.



Si le diamètre de ces petits orifices est choisi de façon à réduire les pertes de vapeur, il ne favorise pas une évacuation rapide de l'air. Bien que ce type de purgeurs ait un fonctionnement intermittent et assure une évacuation lente de l'air, il a l'avantage d'être robuste et pas cher.

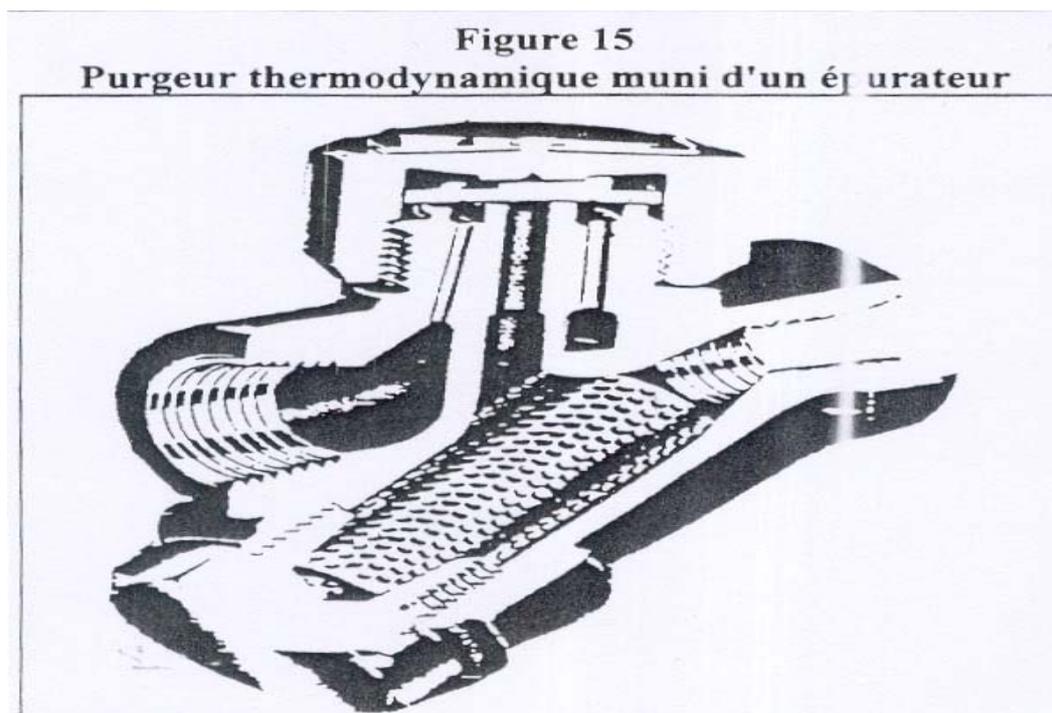
2.3 Purgeurs thermodynamiques et autres:

Cette catégorie regroupe les purgeurs les plus utilisés dans l'industrie.

2.3.1 Purgeurs thermodynamiques:

Leur principe de fonctionnement est basé sur le fait que les condensats subissent une auto-évaporation dès que leur pression diminue. Le purgeur est simple et consiste en un disque plat mobile faisant office d'obturateur, d'une chambre de pression et d'un orifice d'évacuation (fig.15).

Le fonctionnement de ces purgeurs est expliqué sur les schémas de la fig.16.



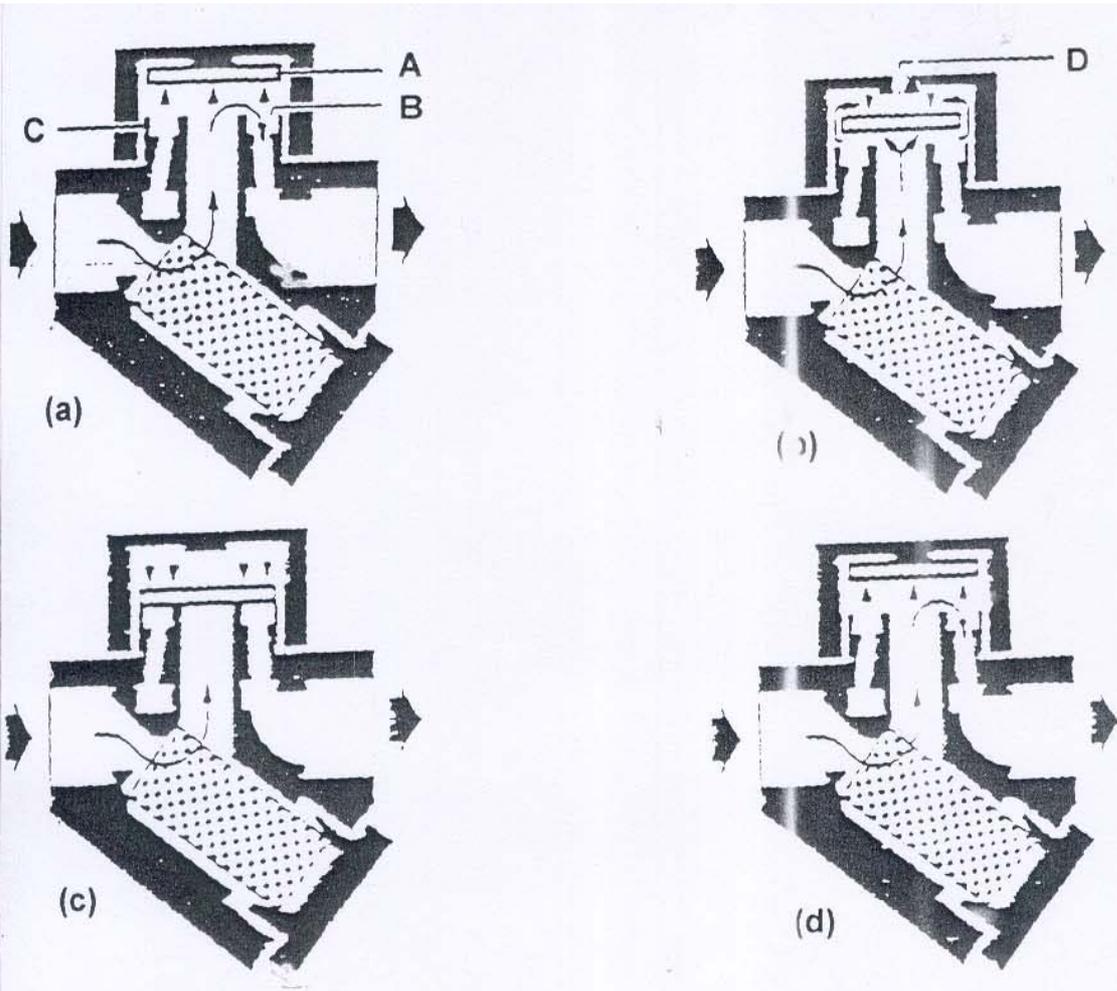
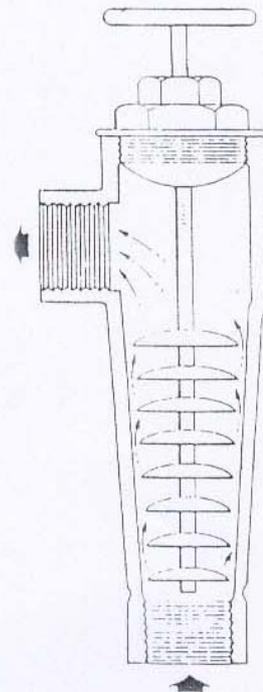
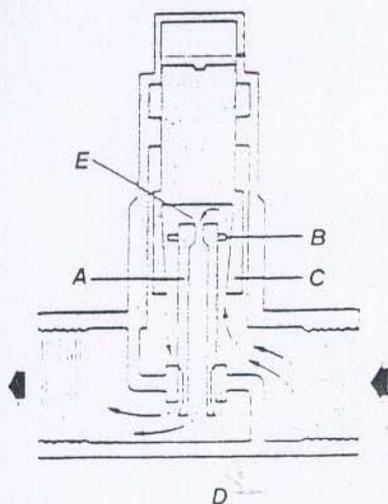


Figure 17

Purgeur à impulsion



Sur la fig.16 , le disque A s'élève de son siège C sous l'effet de la pression amont. Cette position du disque permet à l'air et aux condensats de passer à travers l'orifice d'évacuation B. A mesure que la température des condensats en circulation approche de la température de la vapeur , les condensats subissent une dépression au niveau de l'orifice d'entrée et seront donc partiellement revaporisés.

La formation de cette vapeur augmente la vitesse d'écoulement radial et donc la pression dynamique du fluide entraînant une diminution de la pression statique qui exerce une traction sur le disque vers le siège (Théorème de Bernoulli). L'élévation de la pression au dessus du disque due à la formation d'une quantité supplémentaire de vapeur dans la chambre D (fig.16b) agit sur le disque et ramène à son siège de façon instantanée

Cette fermeture rapide est importante car elle permet d'éviter toute déformation par usure du siège et par conséquent les fuites de vapeur (fig. 16c).

Lorsque la vapeur piégée dans la chambre D au dessus du disque se condense partiellement , la pression sur le disque baisse , le clapet se recouvre pour faire passer les condensats et un nouveau cycle commence (fig.16d).

La fréquence des ouvertures et fermetures du clapet dépend de la température et des conditions ambiantes . La majorité des purgeurs demeurent fermés pendant 20 à 40 secondes. Si le purgeur s'ouvre trop fréquemment à cause de son exposition au froid et au vent , il est possible de remédier à ce problème par une bonne isolation de ce purgeur . Une fréquence élevée d'ouverture d'un purgeur , peut être due à l'usure du disque et de son siège .

Cette usure entraîne des fuites de vapeur.

Certains constructeurs utilisent une isolation thermique pour la partie supérieure du purgeur . Cette conception ne permet plus à la vapeur piégée dans la chambre de contrôle de se condenser .

Une rainure radiale placée sur le côté inférieur du disque permet l'évacuation de cette vapeur . Dans ces conditions , la soupape donne inévitablement lieu à des pertes continues. Le purgeur ne peut plus assurer une fermeture hermétique et a tendance à s'ouvrir trop fréquemment . Il est plus judicieux d'utiliser un purgeur conventionnel et de prévoir une isolation externe de sa cloche.

2.3.2 Purgeurs à impulsion :

Le purgeur à impulsion schématisé sur la fig.17 consiste en un cylindre creux A muni d'un piston sous forme de disque B, le tout installé dans un cylindre C servant de dispositif de guidage . Au départ, la soupape principale repose sur le siège D laissant un espace de passage entre le cylindre , le piston et l'orifice E . L'augmentation des débits entrant d'air et des condensats va agir sur le disque B et provoque l'élévation de la soupape principale . Ce déplacement vers le haut de la soupape va créer plus d'espace de passage augmentant ainsi le débit sortant . A mesure que les condensats approchent de la température de la vapeur , une partie de ces condensats va subir une auto-évaporation au niveau de l'orifice E . Un ajustement du purgeur peut être réalisé en déplaçant le disque B vers son siège.

Malgré leur taille réduite , ces purgeurs ont une capacité de drainage élevée.

Ces purgeurs sont rarement utilisés , car ils présentent deux inconvénients majeurs . D'une part, ils ne peuvent fonctionner qu'au prix d'une légère perte de vapeur à chaque ouverture et d'autre part , étant petit , l'espace entre le disque et le cylindre est fréquemment obstrué par les déchets entraînés par la vapeur .

2.3.3 Purgeurs à tuyère étagée :

Ce type de purgeur schématisé sur la fig.18 ne peut être qualifié de purgeur automatique . Il consiste en un certain nombre de chicanes placées sur un petit arbre ajustable par le moyen d'un petit volant .Les condensats chauds passent entre la première chicane et le corps du purgeur subissant une détente se traduisant ainsi par une revaporisation partielle de ces condensats.

Ayant augmenté en volume le mélange condensats et vapeur va difficilement franchir l'espace entre les chicanes. Cette résistance au passage des condensats qui est d'autant plus grande qu'ils avancent dans le purgeur , empêche les fuites de vapeur vive. Le réglage de l'espace de passage des condensats peut se faire par le déplacement des chaînes par le biais d'un volant . Cependant ce dispositif demeure rudimentaire et nécessite un réglage continue pour faire face aux différentes conditions d'opération

2.3.4. Purgeur à la plaque perforée :

La conception de ce type de purgeur est extrêmement simple. Une fois que l'orifice est conçu pour évacuer une certaine charge de condensats, ce purgeur ne présente aucun problème d'entretien ni de perte de chaleur par radiation. Grâce à la différence importante entre les densités d'eau et de vapeur, les fuites de vapeur devraient être réduites même dans le cas d'un surdimensionnement de l'orifice.

Un autre avantage c'est qu'il n'y a pratiquement pas de risque à ce que la soupape de ce purgeur se bloque en position ouverte.

La limitation principale de ce purgeur est la taille de l' orifice. De plus, il est incapable d'assurer une désaération du système au démarrage et présente un risque permanent d'obstruction de l'orifice en même temps que l'engagement lorsque la charge augmente.

3°) FACTEURS DE SÉLECTION DES PURGEURS :

Par définition, les purgeurs ont pour fonction d'évacuer automatiquement les condensats, l'air et les incondensables sans laisser échapper la vapeur.

Le choix des purgeurs n'est pas une tâche facile. Si plusieurs critères définissant le rôle du purgeur idéal peuvent être cités, à titre de référence (voir Table 6 2), le choix se fait en général surtout sur la base de la fonction à remplir par le purgeur ainsi que par les conditions de fonctionnement. La variation de la pression opérationnelle, la charge des condensats, la contre pression ainsi que la résistance aux forces mécaniques et physico-chimiques sont les principaux critères qu'il faut considérer lors du choix d'un purgeur.

Selon les conditions d'application, certains purgeurs Peuvent présenter des caractéristiques opérationnelles plus avantageuses que d'autres. Mais il n'existe pas de purgeurs universels capables de fonctionner sous différentes conditions. Dans le paragraphe qui suit, les facteurs les plus importants de choix des purgeurs sont présentés.

3.1 Purge de l'air :

Au démarrage, les purgeurs doivent être capables d'évacuer tout l'air accumulé dans le réseau de vapeur durant l'arrêt pour éviter une baisse de rendement énergétique. Pour cette application, certains purgeurs sont mieux adaptés que d'autres .

Étant donné qu'ils s'ouvrent entièrement au démarrage les purgeurs thermostatiques sont les mieux adaptés à assurer cette fonction, suivis par les purgeurs à flotteurs muni d'un système d'évacuation de l'air.

Enfin, certains purgeurs thermodynamiques avec des orifices correctement dimensionnés peuvent aussi évacuer des quantités appréciables d'air. Les autres types de purgeurs tel que le purgeur à flotteur inversé ouvert et le purgeur à plaque perforée n'évacuent que de faibles quantités d'air.

Table 6.2

Critère définissant le rôle du purgeur idéal

Fonctionnement :

- 1 .Évacuation instantanée des condensats
- 2 .Adaptation aux variations de débit
- 3 .Adaptation aux variations de pression amont
- 4.. Fonctionnement en présence de contre pression
- 5 .Purge des incondensables au démarrage
- 6 .Purge des incondensables en régime établi
- 7 .Insensibilité aux conditions climatiques
- 8 .Etendue de la .plage d'utilisation pression / débit
- 9 .Suivi de la courbe de saturation
10. Fonction clapet anti -retour
- II. Fonctionnement en présence d'huile

Economie d'énergie :

- 1 .Etanchéité à la vapeur entre siège et clapet
- 2 .Etanchéité à la vapeur au joint de corps/ chapeau, de bouchon de filtre, ou de réglage
- 3 .Etanchéité à la fermeture ou absence de retard à la fermeture
- 4 .Purge économique à faible débit
- 5 .Possibilité d'adaptation d'un calorifuge
6. Récupération d'énergie par la retenue d'eau

Entretien et longévité :

- 1 .Fonctionnement en présence d'impuretés et insensibilité à l'encrassement
- 2 .Fonctionnement en toute position
3. Résistance à l'usure
- 4 .Résistance à la corrosion interne

- 5 .Résistance à la corrosion externe
 - 6 .Résistance à la surchauffe
 - 7 .Résistance aux coups de bélier
 - 8 .Insensibilité au gel
 - 9 .Faible fréquence ou absence d'entretien et de réglage
 10. Facilité d'entretien
- II. Diagnostic de fonctionnement facile.et rapide
-

Montage et investissement :

- 1 .Rapport débit/ encombrement
2. Prix d'achat
- 3 .Facilité de montage
4. Interchangeable

3.2 L'évacuation des condensats :

En plus de l'évacuation de l'air , le purgeur doit assurer l'évacuation efficace des condensats. Si le réseau vapeur répond juste aux besoins de l'usine (cas d'un sous dimensionnement du réseau) et si le maintien du niveau de production est important, les condensats doivent être évacués immédiatement sans le moindre refroidissement.

L'engorgement du système vapeur est la cause principale des arrêts des unités industrielles ayant un réseau de vapeur sous dimensionné. L'accumulation des condensats est aussi préjudiciable pour les échangeurs thermiques annulaires et tubulaires .

Selon ce critère de choix, les purgeurs mécaniques sont les meilleurs. D'autres types de purgeurs peuvent être utilisés s'ils constituent un bon compromis vis à vis d'autres critères de sélection. Cependant l'utilisation des purgeurs thématiques pour leur avantage d'économie d'énergie (évacuation de condensats sous refroidis ne doit être considérée que dans le cas où le réseau peut supporter un certain degré d'engorgement .

3.3 L'efficacité thermique :

Si l'efficacité thermique (définie comme étant la quantité utile disponible par tonne de vapeur produite) est importante comme critère de sélection, les purgeurs thermostatiques semblent être les meilleurs .Ces purgeurs retiennent les condensats jusqu'à ce qu'ils subissent un sous refroidissement appréciable. Si la quantité de chaleur récupérée au cours de ce refroidissement est efficacement utilisée dans le processus, l'économie réalisée sur la consommation de vapeur pourrait être notable. Il est donc recommandé d'évacuer les condensats à la température la plus basse possible.

En se basant sur la température de décharge des condensats et sur les pertes de revaporisation le purgeur bimétallique apparaît comme étant un bon choix, si par contre la chaleur sensible de sous refroidissement est perdue par échange avec le milieu extérieur , il est évident que l'économie réalisée par sous refroidissement des condensats sera nulle . Dans le cas où il n'existe pas de « pot » intermédiaire de refroidissement des condensats, l'eau liquide sera retenue dans les équipements du procédé et la chaleur de refroidissement sera directement utilisée que l'accumulation des condensats est permise.

Si cette accumulation d'eau dans les serpents sur-dimensionnés est parfois désirable, elle pourrait être désastreuse pour un échangeur thermique par exemple.

3.4 Coups de bélier :

Les coups de bélier peuvent être responsables du mauvais fonctionnement et parfois de l'endommagement des purgeurs. Lors du choix d'un purgeur il faudrait donc tenir compte de sa résistance aux coups de bélier. Ceux ci se produisent quand des poches d'eau se forment et se déplacent avec une vitesse élevée dans une tuyauterie ou dans des serpentins mal conçus . Il peuvent également se produire dans une tuyauterie ascendante juste après un point de purge. Même si la pression est suffisante pour faire face à la perte de charge de la pente, ces problèmes vont se poser au démarrage du réseau ainsi que pour des équipements fonctionnant sous une température contrôlée. Les coups de bélier peuvent être provoqués également par l'évacuation des condensats dans un réseau à circulation forcée d'eau. L'élément déformable conventionnel utilisé dans les purgeurs thermostatiques, dont le fonctionnement est basé sur l'équilibre de pression, est l'élément le plus vulnérable aux dommages provoqués par les coups de bélier. Cependant, l'utilisation des éléments en acier permet d'éviter ce problème. Toutefois les purgeurs bimétalliques sont plus robustes et répondent généralement aux mêmes critères de choix des purgeurs thermostatiques. Dans la catégorie des purgeurs mécaniques, les dispositifs à cloche inversée résistent mieux aux coups de bélier que le système à flotteur fermé. Cependant, ce sont les purgeurs thermodynamiques qui résistent le mieux aux coups de bélier.

3.5. Les impuretés :

Les problèmes posés par la présence d'impuretés doivent être pris en considération lors du choix d'un purgeur. En effet, la vapeur circulant dans la tuyauterie peut contenir des impuretés dont les origines peuvent être diverses. Les composés chimiques utilisés dans les traitements des eaux d'alimentation peuvent passer dans la vapeur pendant les périodes de forte demande. La vapeur peut aussi contenir des déchets éventuellement laissés dans la tuyauterie au cours de l'installation ou résultant du phénomène de corrosion . Les purgeurs intermittents semblent être les moins affectés par la présence des saletés dans la vapeur. Dans la catégorie des purgeurs thermostatiques, le choix peut porter sur le dispositif à tension de vapeur même si les clapets larges et plats dans certains purgeurs peuvent être source de problèmes. A cause du mode de fonctionnement et de la disposition de la tige contrôlant le clapet, les purgeurs bimétalliques sont très sensibles à la présence d'impuretés qui peuvent bloquer le dispositif d'évacuation. La partie la plus vulnérable à la présence des impuretés sont le clapet et son siège.

Les purgeurs mécaniques ne sont nullement affectés par la présence des saletés dans le réseau. Dans le cas des purgeurs à cloche inversée, on avance souvent que la soupape n'est pas affectée par les impuretés du fait qu'elle est submergée d'eau. Ceci est partiellement vrai dans la mesure où la partie la plus vulnérable dans ce dispositif est l'orifice de désagrégation. Il est généralement admis que le fait de donner un léger coup de marteau à certains purgeurs, améliore nettement leur fonctionnement .

Dans le cas de la cloche inversée, un tel coup aurait débouché l'orifice de désaération et apporté une solution instantanée au problème .

Les purgeurs thermodynamiques, surtout lorsqu'ils sont munis d'un dispositif d'épuration , sont les mieux adaptés à un fonctionnement en présence d'impuretés dans le réseau. Plusieurs purgeurs thermodynamiques sont équipés de filtres à tamis permettant d'éviter l'entrée d'impuretés dans les purgeurs.

Les purgeurs à impulsion ne sont pas bien adaptés au fonctionnement en présence des impuretés. La vitesse de circulation n'étant pas suffisamment élevée les impuretés peuvent se déposer et bloquer le clapet dans une position intermédiaire. Dans ce cas le purgeur est ouvert

d'une façon permanente et cette anomalie de fonctionnement peut exister pendant une longue période avant d'être détectée.

Le purgeur à plaque perforée est le dispositif le plus vulnérable aux impuretés, car en présence des saletés, le petit orifice est obstrué au bout de quelques heures de fonctionnement. Des filtres à tamis sont parfois installés en amont du purgeur .

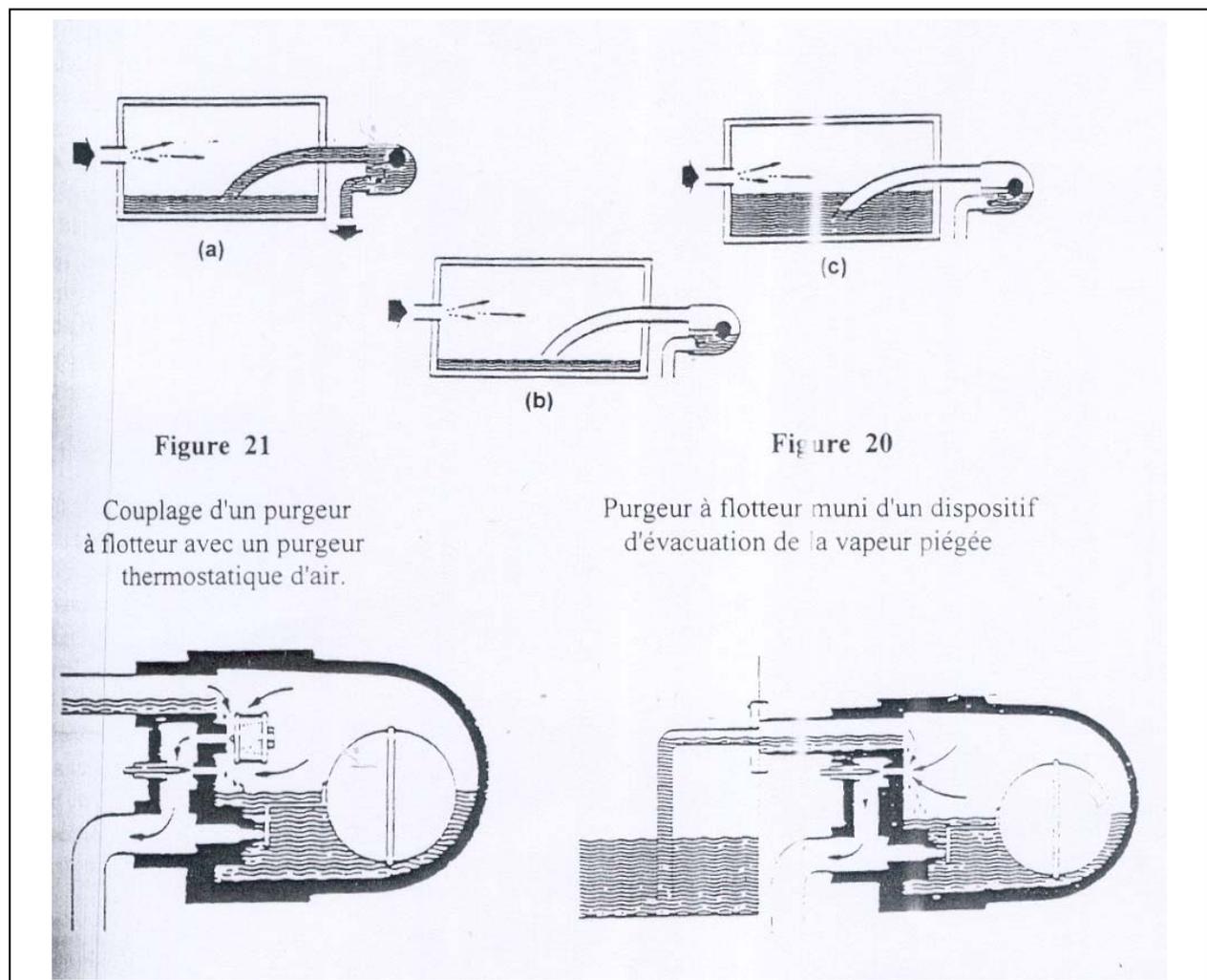
Pour mieux retenir les impuretés, les orifices de ces tamis doivent être petits ce qui entraîne une obstruction fréquente des filtres.

3.6 Blocage par la vapeur:

Le problème de blocage par la vapeur doit être également pris en considération lors du choix d'un purgeur. Il peut se produire chaque fois que le purgeur est installé loin de l'appareil à drainer. Ce problème est aggravé si les condensats sont évacués par un tube siphon.

La fig. 19 montre le cas où les condensats sont évacués d'un cylindre rotatif de séchage par un tube syphon. Sur la fig. 19a , la pression de vapeur est suffisante pour faire évacuer les condensats à travers le tube. La fig. 19b , montre le cas de faible charge où le niveau des condensats ne couvre plus le tube siphon. Dans ces conditions, la vapeur entre dans le siphon provoquant ainsi la fermeture du purgeur. Le purgeur est alors « bloqué par la vapeur ». Les échanges thermiques à travers le cylindre vont entraîner l'accumulation de condensats .

EVACUATION DES CONDENSATS D'UN CYLINDRE ROTATIF DE SECHAGE

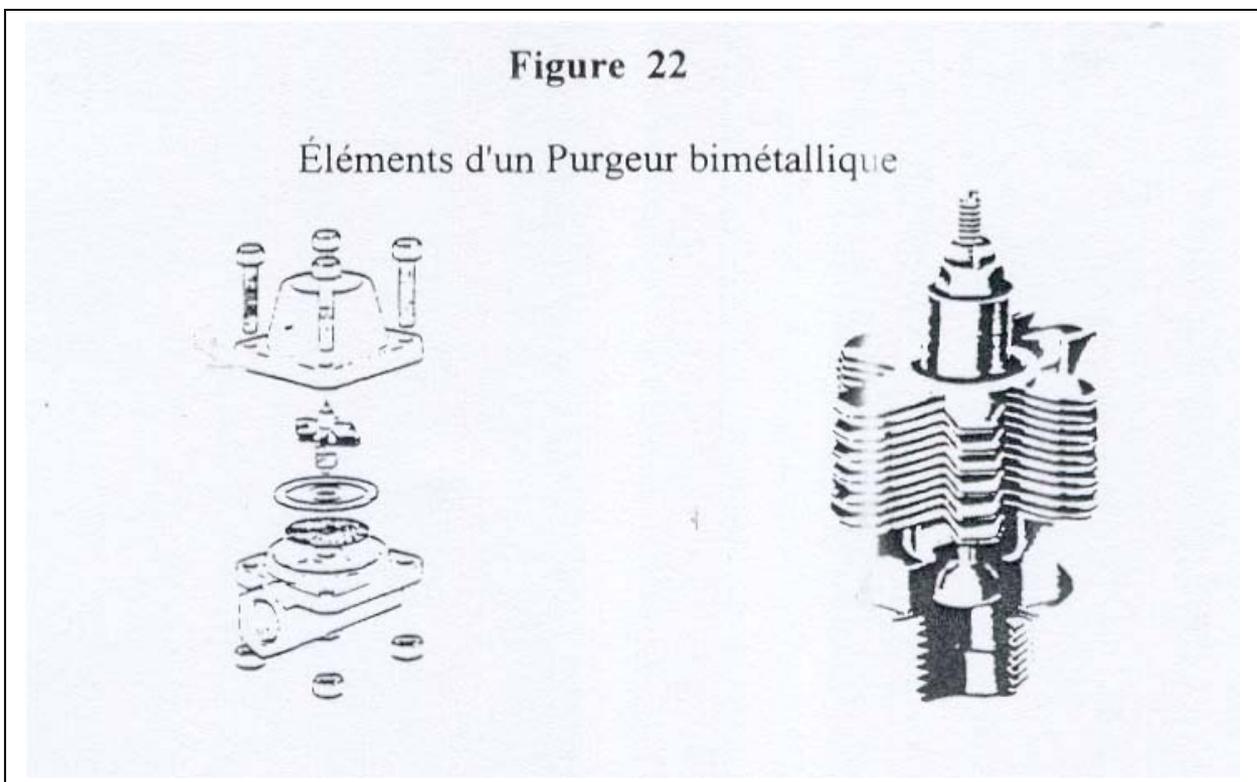


Comme le montre la **fig. 19c**, l'accumulation d'eau dans le tambour atteint un niveau qui réduit considérablement la performance de séchage du cylindre et augmente la puissance nécessaire à la rotation de ce séchoir. Dans le cas extrême, le niveau d'eau peut dépasser l'axe médian du cylindre et endommager les joints.

La **fig. 20**, montre un purgeur à flotteur équipé d'un système de « débloqué » de la vapeur piégée. Ce dispositif consiste en un orifice avec clapet aiguille qui permet d'évacuer la vapeur « bloquée » dans le siphon.

Les purgeurs de ce type sont généralement équipés en plus de la soupape, d'un purgeur d'air séparé comme la montre la **fig.21**.

En principe, tout purgeur qui s'ouvre régulièrement suite aux pertes thermiques, peut faire face au problème de blocage par la vapeur; En réalité, l'évacuation qui en résulte sera irrégulière car le purgeur n'est prévu que pour évacuer des quantités réduites de condensats.



3. 7 Réparation des purgeurs :

Un purgeur de vapeur comprend le clapet, le siège et d'autres éléments mobiles. L'usure de ces composants étant inévitable, il est donc nécessaire de les entretenir régulièrement et correctement.

Plusieurs purgeurs sont conçus de façon à faciliter leur maintenance. La **fig.22**, montre un purgeur bimétallique typique dont tous les organes internes peuvent être démontés en dévissant les boulons. Certains petits purgeurs mécaniques sont facilement démontables. Les

différents éléments de ces purgeurs peuvent être transportés facilement dans l'atelier pour une éventuelle réparation (**fig.23**).

La tendance actuelle est de fabriquer des purgeurs en bloc hermétique. L'inconvénient majeur de ce type de purgeur c'est qu'il ne permet ni nettoyage interne ni entretien. Une panne du mécanisme interne va nécessiter le remplacement du purgeur. Il faut donc prévoir un stock de remplacement suffisant pour ce type de purgeur.

4°) CARACTÉRISTIQUES DES PURGEURS DE VAPEUR :

Les constructeurs de purgeurs fournissent généralement des informations techniques détaillées sur les caractéristiques des purgeurs qu'ils fabriquent. Malgré que les caractéristiques fournies puissent varier d'un constructeur à l'autre, en règle générale les purgeurs de modèle et de conception similaire doivent avoir des performances comparables. Les caractéristiques de la majorité des types des purgeurs d'utilisation courantes sont résumés dans la **table 6 3**. Dans le cas où plusieurs types de purgeurs répondent aux critères techniques établis par la sélection, il faut bien sûr recourir au prix pour trancher.

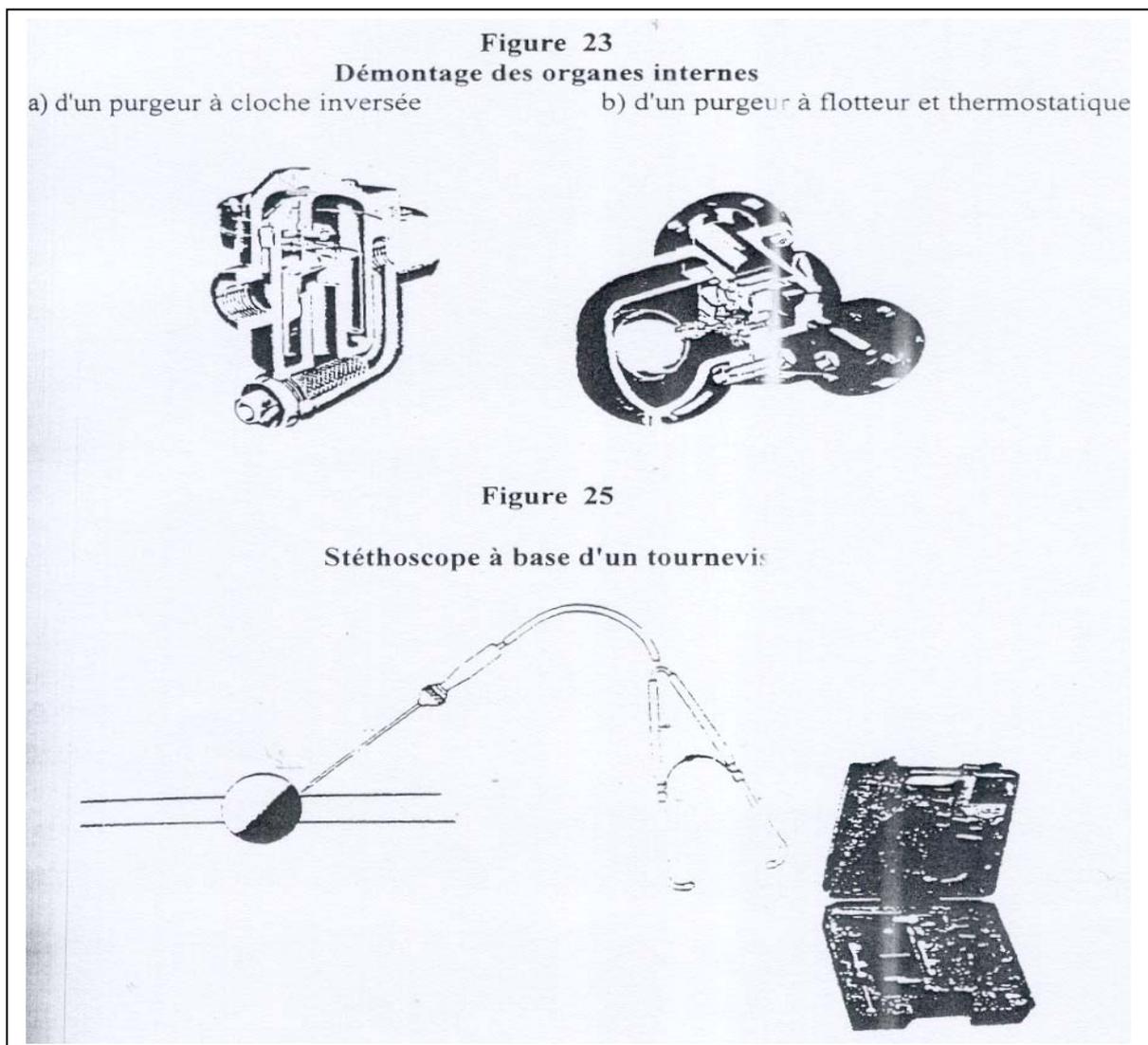


Table 6 3
Comparaison des paramètres des purgeurs

Caractéristiques	Cloche inversé	A flotteur	Thermodynamique à disque	Thermostatique
A Mode opération	intermittent	continu	intermittent	Intermittent(1)
B Economie d'énergie	excellent	bon	mauvais	moyen
C Résistance à l'usure	excellent	bon	mauvais	moyen
D Résistance à la corrosion	Excellent	bon	excellent	bon
E Résistance aux chocs hydrauliques	excellent	mauvais	excellent	mauvais
F Evacuation de l'air et de CO ₂ à la température de la vapeur	Oui	Non	Non	Non
G Capacité de désaération à basse pression	mauvais	excellent	NR(2)	bon
H Capacité de désaération au démarrage	moyen	excellent	mauvais	excellent
I Résistance à la pression avale	excellent	excellent	mauvais	excellent
J Résistance aux basses températures(congélation)(3)	bon	mauvais	bien	excellent
K Capacité de drainage du système	excellent	moyen	excellent	bon
L Manipulation des pochettes des condensats	rapide	rapide	retardé	retardé
M Manipulation des pochettes	rapide	rapide	retardé	retardé
N Manipulation des impuretés	excellent	mauvais	mauvais	moyen
O Taille physique	Gros(4)	gros	petit	petit
P Manipulation de la vapeur flash	moyen	mauvais	mauvais	moyen
Q Problème mécanique(blocage)	moyen	mauvais	mauvais	mauvais

((1)peut fonctionner en continu si la charge est légère

(2)'est pas recommandé pour des basses pressions

(3)les purgeurs en fonte ne sont pas recommandés

(4) taille s'il est fait d'acier inoxydable

(5)peut être bloqué fermé à cause des impuretés

(6) peut être bloqué ouvert ou fermé selon la conception

5°) PERTES THERMIQUES ET VAPEURS DES PURGEURS :

Les purgeurs peuvent être une source de pertes thermiques soit à travers les fuites de vapeur ou par convection ou radiation entre le purgeur et son environnement. La connaissance de la quantité d'énergie perdue pour chaque type de purgeur est importante.

5.1 Purgeurs thermostatiques :

Sous les conditions normales , les purgeurs thermostatiques retiennent les condensats jusqu'à ce qu'ils subissent un sous refroidissement. De ce fait, la soupape est toujours noyée et aucun risque de fuite de vapeur n'est à craindre. Mais la situation est différente pour une très faible charge. Le purgeur cède de la chaleur à l'environnement entraînant le refroidissement des condensats. Ce refroidissement entraînera l'ouverture de la soupape et l'évacuation d'une petite quantité de condensats qui sont remplacés par de la vapeur vive. Des tests conduits en laborantin ont montré que les pertes de vapeur sont l'ordre de 0,5 Kg/h.

5.2 Purgeurs mécaniques :

Le purgeur à flotteur est un autre exemple où la soupape est immergée dans les condensats empêchant ainsi les fuites de vapeur vive. Cependant, ce type de purgeur relativement de grande taille, peut prendre des quantités importantes d'énergie par radiation. Les tests conduits sur un purgeur à flotteur de 0,5 pouce (12,7 mm) ont montré que les pertes par radiation sont équivalentes à une fuite de vapeur de 1,4 Kg/h (la vapeur étant à 12 bars et la température ambiante à 32,2°C).

Un test similaire conduit sur les cloches inversées de 0,5 pouce fonctionnant à une charge réduite, a montré que les pertes sont de l'ordre de 0,5 Kg/h .Ces pertes sont principalement dans la fuite de vapeur à travers l'orifice de désaération.

5.3 Purgeurs thermodynamiques :

Les purgeurs thermodynamiques laissent échapper une certaine quantité de vapeur vive quand ils fonctionnent à charge réduite. Les pertes de chaleur dépendront de la température ambiante. En moyenne, ces pertes sont de l'ordre de 0,5 Kg/h de vapeur et peuvent doubler pour des températures ambiantes très basses. Ces pertes peuvent être réduites pratiquement de moitié par l'isolation du corps du purgeur. Dans tous les cas pour des charges élevées, ces pertes disparaissent et les pertes par radiation sont minimales (0,25 Kg/h).

La quantification des pertes thermiques des purgeurs dépend d'un certain nombre de variables, en l'occurrence de la température ambiante, de la pression et de la température de vapeur et enfin de la charge de condensation.

La table 4 résume les consommations énergétiques des purgeurs de 0,5 pouce (12,7 mm) d'une façon approximative pour une estimation rapide des consommations.

Table 4

	Pertes thermiques des purgeurs(en Kg/h équivalent vapeur)					
	Charge nulle			charge raisonnable		
	Fuite	Radiation	Total	Fuite	Radiation	Total
<i>Thermostatique</i>	0.5	0.5	1.0	≅0	0.5	0.5
<i>A flotteur</i>	≅0	1.4	1.4	≅ 0	1.4	1.4
<i>Thermodynamique</i>	0.5	0.25	0.75	≅0	0.25	0.25

6°) VÉRIFICATION DU BON FONCTIONNEMENT DES PURGEURS :

Les purgeurs par leur nature du lien vital entre le réseau de vapeur et le système de récupération des condensats, doivent faire l'objet d'un programme de maintenance périodique. Trois types de défaillance des purgeurs peuvent être rencontrés:

- .Le blocage en position de fermeture: cette anomalie peut être détectée par la mauvaise performance de l'appareil à drainer due à l'accumulation excessive d'eau .Ce type d'anomalie peut passer inaperçu dans les conduites principales-
- .Le blocage en position d'ouverture: même si cette défaillance cause une fuite de vapeur vive, sa détection n' est pas évidente si les condensats sont récupérés. La présence de vapeur vive dans la bêche de récupération est un signe de fuite de vapeur, mais la localisation du purgeur défaillant risque d' être difficile
- .Le mauvais fonctionnement du purgeur: la mauvaise performance des purgeurs est le problème le plus fréquent mais aussi le plus difficile à identifier et à localiser. Ce problème peut avoir comme conséquence des pertes de vapeur dont les causes dépendent des conditions spécifiques des différents types de purgeurs.

On peut citer à titre d'exemple les cas de cycles fréquents, de la fermeture incomplète de la soupape et celui d'un temps de réponse très lent à la vapeur se traduisant par une fermeture lente .

Les différentes méthodes de vérification du fonctionnement des purgeurs sont décrites dans les paragraphes qui suivent .

6.1 Purgeurs déchargeant à l'atmosphère :

Pour les purgeurs déchargeant à l'atmosphère il est facile de vérifier leur état de fonctionnement.

Il suffit d'observer les condensats évacués pour juger de l'état du purgeur. Les purgeurs dont la décharge se fait sous forme de jet sont particulièrement faciles à vérifier .

Quand le purgeur est fermé. seul un mince filet de vapeur correspondant à l'évaporation éventuelle de gouttelettes de condensats, doit être visible.

Pendant l'ouverture des purgeurs, on peut normalement voir un nuage de vapeur et de condensats se dégageant du purgeur .Cette vapeur évacuée ne doit pas être prise pour de la vapeur vive. Ces observations visuelles sont valables pour les purgeurs thermodynamiques, à tension de vapeur et à cloche inversée fonctionnant à charge réduite .

Les purgeurs à flotteur, bimétalliques et certains purgeurs à tension de vapeur munis d'une cartouche en acier, auront en général une décharge continue. Le diagnostic visuel de ces types de purgeur, est plus difficile .

Si le purgeur déchargeant à l'atmosphère est bloqué ouvert, on peut se baser sur le bruit et sur le débit fort et .continu de décharge pour identifier les fuites de vapeur vive.

6.2 Les orifices test :

Si les condensats sont récupérés dans un système de retour de condensats, une méthode de vérification de l'état de marche du purgeur consiste à prévoir un orifice de décharge à l'atmosphère dans le purgeur

La méthode décrite précédemment peut être alors suivie pour juger de l'état du purgeur. Le problème est que le purgeur n'est plus soumis à la pression avale exercée par les condensats du circuit de récupération. Cette diminution de la pression en aval peut affecter le réglage préalable effectué sur les purgeurs bimétalliques. De même, pour une pression aval suffisamment élevée, les conditions de marche des purgeurs thermodynamiques et à

impulsion seront affectés. Le test n'est donc pas à 100% fiable et l'interprétation des résultats doit tenir compte de ce fait.

6.3 Les hublots d'observation :

L'hublot est simplement une fenêtre d'observation installée sur le purgeur du côté de la sortie des condensats .L'observation des condensats à travers cette fenêtre est généralement concluante dans le cas où le purgeur fonctionne en intermittence .

Cependant, une certaine expérience est nécessaire pour juger de la décharge d'un purgeur fonctionnant en continu surtout à pleine charge.

Malheureusement, sous l'effet des dépôts d'impuretés les hublots s'encrassent et deviennent opaques.

La présence d'impuretés, comme cela a été signalé auparavant, affecte l'efficacité des surfaces d'échange côté vapeur par encrassement.

L'opacité des hublots peut être un signe du mauvais traitement des eaux d'alimentation.

6.4 Température :

Une autre vieille méthode utilisée pour vérifier le fonctionnement des purgeurs consiste en la mesure de la température à l'entrée et sortie du dispositif de purge. Des moyens de mesure de température allant de sondes sensibles jusqu'au gyromètre à infrarouge sont utilisés .

Cependant, la température des condensats et de la vapeur revalorisée à la sortie d'un purgeur fonctionnant correctement est de l'ordre de 100% , qui est exactement la température des condensats et de la vapeur vive à la sortie d'un purgeur défaillant. Dans ces conditions, la mesure de la température ne peut caractériser les conditions de marche du purgeur.

6.5 Méthode sonore :

Écouter le son produit par un purgeur en marche est aussi une méthode de vérification. Cette méthode qui à l'origine était basée sur l'utilisation de la manche d'un tournevis comme un stéthoscope (fig.25) continue à être exploitée actuellement, mais avec des stéthoscopes électroniques sophistiqués (fig.26).

Cette méthode est efficace avec des purgeurs qui font un bruit distinctif et régulier comme le cas des purgeurs thermodynamiques. Malheureusement plusieurs purgeurs n'émettent pas de son caractéristique. Le son émis par certains purgeurs lors de l'évacuation des condensats et de la vapeur de revalorisation est le même que pour le mélange vapeur et condensats.

Toutefois; ce son est affecté par le débit et la pression. Il a été montré que les purgeurs défectueux émettent un son dont l'intensité augmente avec la charge.

6.6 Méthode électronique :

La méthode développée récemment est basée sur l'utilisation d'un dispositif de mesure de la conductivité électrique des condensats .Cette méthode nécessite l'installation d'une chambre divisée en deux compartiments et munie d'une sonde en amont du purgeur (fig.27).

Quand le purgeur fonctionne normalement, les condensats circulent sous la cloison de séparation des compartiments. Un petit orifice installé dans la partie supérieure de la cloison de séparation permet d'équilibrer les pressions dans les deux compartiments. la sonde placée en amont permet de détecter la présence des condensats. Cette sonde est reliée à un circuit électrique qui en présence d'eau se ferme et le voyant vert sur un indicatif portatif s'allume.

Le purgeur fonctionne normalement .Quand le purgeur est bloqué en position « ouvert » , la vapeur passe dans le compartiment d'admission de la chambre, augmente la pression et fait

baisser le niveau d'eau. La sonde n'étant plus en contact avec les condensats, le circuit électrique sera ouvert.

Le voyant rouge de l'indicateur portatif s'allumera indiquant ainsi un mauvais fonctionnement du purgeur.

Le seul inconvénient de cette méthode est le coût supplémentaire de la chambre à sonde .

Figure 26

Stéthoscope électronique

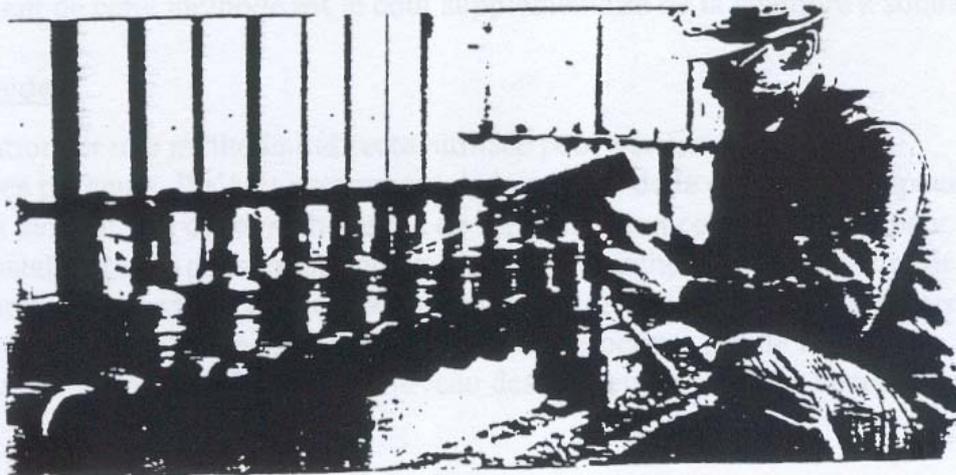
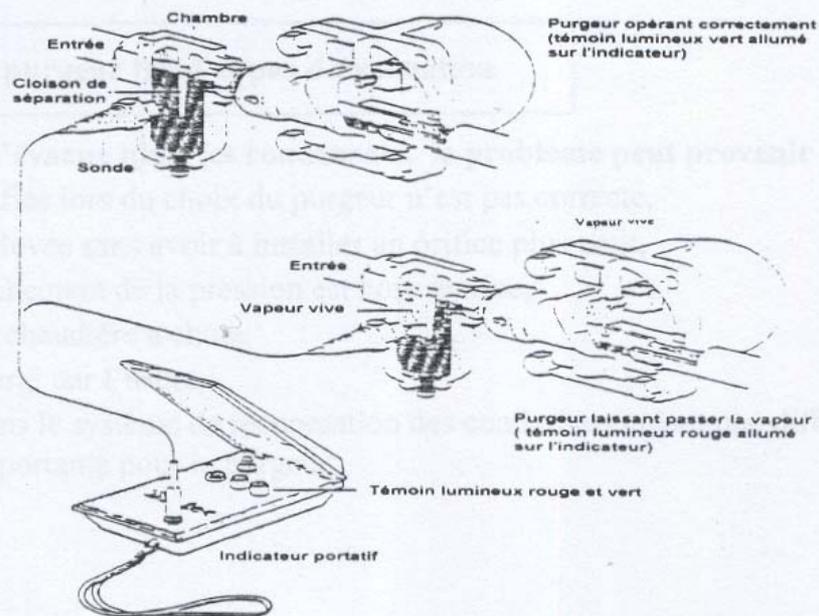


Figure 27

Fonctionnement du détecteur électronique



6. 7 Autres méthodes :

Il est utile de mentionner une méthode indirecte utilisée pour vérifier également le fonctionnement des purgeurs. Il s'agit notamment de la mesure de la quantité de vapeur consommée. Il est évident que cette méthode n'a de sens que si un compteur de vapeur consommée est installé et si la consommation de l'usine en marche normale est connue. Connaissant la norme standard de consommation, toute dérive est une indication de pertes de vapeur au niveau des purgeurs. Cependant, cette méthode ne permet pas de localiser le purgeur défectueux. D'autres vérifications au niveau des purgeurs sont donc nécessaires.

7°) DIAGNOSTIC ET SOLUTION :

Dans ce paragraphe, un résumé des méthodes utilisées pour détecter et résoudre un certain nombre de problèmes relatifs aux purgeurs est présenté. Toutefois, il est à noter que la majorité de ces problèmes sont relatifs au système de vapeur plutôt qu'aux purgeurs.

Problème : purgeur froid et pas d'évacuation

A. Si le purgeur n'évacue plus les condensats , le problème peut provenir de :

1. la pression spécifiée lors du choix du purgeur n'est pas correcte,
2. la pression est élevée sans avoir à installer un orifice plus petit,
3. la vanne de relâchement de la pression est hors service,
4. la pression de la chaudière a chuté,
5. l'orifice s'est élargi par l'usure,
6. un vide élevé dans le système de récupération des condensats créant une différence de pression trop importante pour le purgeur.

B. les condensats ou la vapeur n'arrivent plus au purgeur, alors:

1. le tamis d'épuration installé en amont du purgeur est bouché,
2. la soupape d'admission est cassée,
3. la tuyauterie amont est bouchée.

C. le mécanisme de fonctionnement du purgeur est usé ou défectueux.

D. Si le corps du purgeur est rempli d'impuretés, alors il faut installer un filtre ou supprimer les saletés à la source

E. Les orifices de désaération dans les cloches inversées sont obstrués. Ce problème peut être évité par :

1. l'installation d'un épurateur,
2. un petit élargissement des orifices de désaération,
3. un débouchage régulier des orifices.

F. le système de désaération du purgeur à flotteur ne fonctionne plus.

G. L'élément déformable du purgeur thématique ne se dilate plus et bloque le clapet en position de fermeture

H. le purgeur à disque est installé à l'envers.

Problème : purgeur chaud et pas d'évacuation**A. Les condensats n'arrivent pas aux purgeurs :**

1. le purgeur est installé en aval d'une vanne bipasse qui fuit,
 2. la conduite du siphon est cassée ou endommagée dans le cas des tambours drainés par siphon,
 3. la création du vide dans les serpentins peut empêcher le drainage.
- L'installation d'un dispositif permettant de casser le vide entre le purgeur thermique est nécessaire.

Problème : fuite de vapeur

Le purgeur évacue la vapeur vive si :

A. Le clapet ne repose pas correctement sur son siège .

Ceci peut être la conséquence :

1. d'un délogement de certaines pièces du purgeur ,
2. d'un vieillissement du dispositif.

B. Dans le cas d'un purgeur à cloche inversée.

La solution consiste à :

1. Procéder à la fermeture de la soupape d'admission pendant quelques minutes et l'ouvrir progressivement . Si après cette opération les fuites de vapeur sont supprimées , le purgeur fonctionne normalement .
2. les fuites de vapeur sont généralement dues aux chutes brusques ou fréquentes de la pression . Dans une telle situation , l'installation d'une soupape de sécurité est nécessaire.

C. La soupape des purgeur à flotteur et thermostatique est bloquée dans une position de fermeture.**Problème : évacuation continue**

Si les purgeurs à cloche inversée ou à disque évacuant en continu ou si les purgeurs à flotteur ou thermostatique évacuent à pleine charge , il faut vérifier si :

A. Le purgeur est trop petit :

1. Il faut revoir le dimensionnement du purgeur . L'installation d'un purgeur plus grand ou de petits purgeurs en parallèle peut résoudre le problème,
2. Les purgeurs conçus pour de hautes pressions sont utilisés dans des conditions de basse pression . Il faut donc installer des purgeurs dont les caractéristiques correspondent aux conditions opérationnelles.

B. La mauvaise qualité des eaux d'alimentation de la chaufferie.

La chaudière peut produire de grandes quantités de mousse favorisant l'entraînement de l'eau par la vapeur . Il faut installer un séparateur ou améliorer la qualité des eaux d'alimentation par un traitement adéquat.

Problème : faible transfert thermique

Quand les purgeurs fonctionnent d'une façon satisfaisante alors le transfert thermique au niveau des équipements est anormalement bas , ce problème peut provenir :

A.D'un ou plusieurs appareils qui sont court-circuits : l'installation d'un purgeur au niveau de chaque appareil peut remédier à cette situation .

B.Des purgeurs qui sont de capacité insuffisante : il faut les remplacer par des purgeurs correctement dimensionnés .

C.Si le problème de désaération se pose : l'installation d'un purgeur d'air auxiliaire est nécessaire.

B- Autres problèmes

Si le purgeur fonctionne correctement quand il décharge directement à l'atmosphère mais n'évacue pas correctement quand il est relié au système du retour des condensats , le problème peut provenir de :

A.La contre pression du circuit des condensats peut réduire la capacité du purgeur :

- 1.la tuyauterie des condensats est sous dimensionnée (purgeur chaud)
- 2.les autres purgeurs crachent de la vapeur vive (purgeur chaud)
- 3.l'orifice de mise à la pression atmosphérique de la bêche de retour des condensats est bouché,
- 4.le bouchage dans le circuit de retour des condensats (purgeur froid)

Faux problèmes

On conclut fréquemment hâtivement, sur la base d'une simple inspection visuelle à une fuite de vapeur vive lors de chaque purge Il faut rappeler que lorsqu'un purgeur travaille avec une forte pression différentielle, le pourcentage de revaporisation est important Il ne faut pas confondre cette revaporisation à la décharge avec une fuite de vapeur.

8°) L'ENTRETIEN DES PURGEURS :

Une approche simple consiste à recommander que les purgeurs doivent être examinés et entretenus d'une façon régulière. Il existe des purgeurs qui sont conçus pour faciliter éventuellement leur réparation

On peut citer par exemple, le cas des purgeurs à tension de vapeur. En cas de défaillance, la cartouche de ces purgeurs peut être facilement remplacée sans sacrifier le totalité du purgeur. De même, le disque des purgeurs thermodynamiques ainsi que certains éléments des purgeurs à cloche inversée, peut être remplacé.

La vérification fréquente et régulière des performances des purgeurs est vivement recommandée. La fréquence qui dépend des conditions d'opération de l'usine et de la taille des purgeurs peut varier de deux à quatre fois par mois.

Si le fonctionnement d'un petit purgeur est douteux, il est préférable de le remplacer, la vapeur économisée couvrira les frais de cette opération en une période généralement inférieure à une année. Pour les gros purgeurs, il faut considérer l'alternative de remplacement des éléments défectueux.

C—Récupération des Condensats

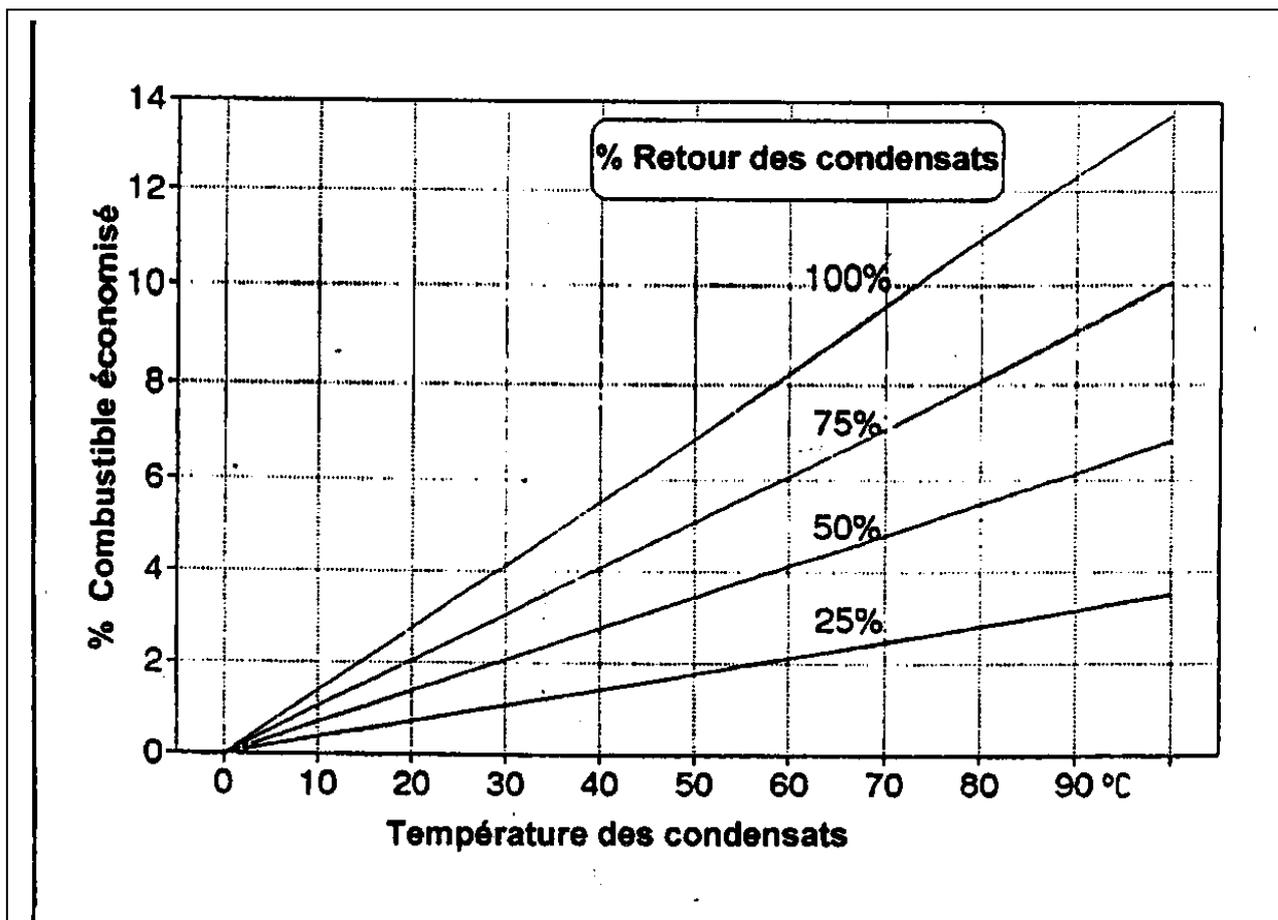
1) Economie de l'énergie :

les condensats de la vapeur sont de l'eau très pure à des températures pouvant être hautes ou modérées. Il est recommandé de retourner le maximum possible de condensats et de les réutiliser comme eau alimentaire de la chaudière.

Tenant compte des critères de rentabilité économique, la récupération des condensats doit être maximale sous réserve qu'il n'y a aucun risque de contamination.

En procédant ainsi on peut économiser de l'énergie, de l'eau et les produits chimiques utilisés pour le traitement des eaux. L'économie en combustible résultant du recyclage des condensats peut être estimée à partir de la fig 1.

Si par exemple, pour des condensats évacués à 90 °C, la température de l'eau d'alimentation peut être élevée par l'augmentation du taux de retour de ces condensats de 25% à 100%, l'économie en combustible, réalisée au niveau de la chaudière sera de l'ordre de $12,5 - 3,5 = 9\%$ (voir fig 1). De plus une économie supplémentaire résultera de la baisse des pertes au niveau des purgeurs. Quand le risque de contamination de l'eau d'alimentation est présent, un rejet automatique des condensats peut être fait sur la base



de la mesure de la conductivité électrique. L'appareil de mesure doit être relié à un système de régulation fonctionnant de façon telle que seules les eaux contaminées soient rejetées.

Sans un arrangement spécial, l'eau d'alimentation est rarement utilisable à une température supérieure à 82°C. Pour des températures plus élevées, les problèmes de cavitation, au niveau des pompes d'alimentation peuvent se poser. Il est cependant possible d'augmenter la température d'eau d'alimentation au dessus de ce niveau par l'installation d'un économiseur en aval de la pompe.

2) Agencement général du réseau de retour des condensats :

Dans un système conçu correctement, le retour des condensats ne devrait pas imposer, en aval des purgeurs, une contre-pression qui affectera leur fonctionnement.

Il faut donc prévoir une canalisation disposée de façon à ce que les condensats circulent sous l'effet de la gravité dans une disposition idéale, la pente de la tuyauterie doit être suffisante pour vaincre, lors de l'écoulement de la charge maximale des condensats, les forces de frottement exercées par les parois de la tuyauterie. L'absence d'une contre-pression en aval des purgeurs, va leur permettre d'évacuer les condensats même sous les conditions extrêmes de basse pression au démarrage.

Un système de retour des condensats bien conçu doit pouvoir évacuer également l'air purgé du réseau de la vapeur. Il est inutile d'avoir des purgeurs de vapeur avec une bonne capacité d'évacuation de l'air si par ailleurs cet air doit circuler difficilement dans une tuyauterie de retour des condensats engorgée d'eau. Une tuyauterie inclinée et partiellement engorgée de condensats offrira un espace libre pour la circulation et l'évacuation faciles de l'air.

Il est cependant rare de pouvoir transporter les condensats tout le long du circuit par gravité.

La procédure habituelle consiste à canaliser les condensats à un point de collecte à partir duquel ils seront pompés pour être envoyés dans la chaufferie.

Un tel arrangement a deux avantages :

- les purgeurs ne souffriront pas des effets de la contre-pression en aval.
- La bêche de récupération munie d'un office de mise à la pression atmosphérique peut servir d'indicateur de l'état des purgeurs déchargeant dans cette bêche.

3) Dimensionnement de la tuyauterie :

Le dimensionnement précis de la tuyauterie des condensats est difficile sous les conditions normales, les condensats chauds vont subir une dépression quand ils traversent les purgeurs, cette dépression s'accompagne d'une revaporisation partielle de ces condensats. La tuyauterie doit donc être prévue pour le transport simultané des condensats et de la vapeur qui en résulte. Bien que le débit massique de cette vapeur soit relativement réduit, son débit volumique est cependant élevé. De plus les vitesses d'écoulement de la vapeur sont beaucoup plus élevées que celles des condensats. Il est évident que le calcul d'un tel écoulement diphasique complexe doit être fait pour différentes conditions de température et de pression afin d'aboutir à une conception parfaite de la tuyauterie. Un compromis simple devra être défini pour couvrir toutes les situations.

Au démarrage de l'usine, la tuyauterie est froide. La vapeur se condense rapidement et le réseau doit assurer le transport de deux à trois fois le débit normal des condensats.

A mesure que le réseau de vapeur s'échauffe, le débit des condensats diminue pour se stabiliser à une valeur normale. D'autre part, l'élévation de la température des condensats va s'accompagner de la revaporisation partielle de ces condensats à la sortie des purgeurs. L'expérience a montré que si la tuyauterie est dimensionnée pour assurer le transport des condensats formés lors du démarrage, cette tuyauterie sera adéquate pour le transport des condensats et de la vapeur de revaporisation formés sous les conditions normales de marche.

Pour le dimensionnement du réseau, le débit des condensats du démarrage doit être pris égal au moins au double de leur débit de marche normale. Cette règle simplifiée est valable pour des pressions de la vapeur allant jusqu'à 10 bars dans le cas de hautes pressions, afin de faire face à l'augmentation du débit volumique de la vapeur de revaporisation.

Les capacités des conduites de transport de condensats de diamètre inférieur à 100mm, sont données la table 1.

Table 1

**Débit (kg/h) et pertes (p_a et mbar /m)
Des condensats circulant dans une tuyauterie en acier**

Pertes de Par m. de		Diamètre de tuyauterie								
		15mm	20mm	25mm1	32mm1%	40mm1''%	50mm 2	65mm2%	80mm3	100mm4
28	0.28	90	209	180	365	13.20	2554	5194	9079	16511
29	0.29	92	214	400	370	1340	2590	5271	9198	16765
30	0.3	93	215	400	390	1361	2631	5480	9314	17000
33	0.33	97	228	414	930	1420	2744	5579	9677	17738
39	0.39	107	248	469	1028	1565	3025	5142	9528	19514
40	0.4	108	253	478	1040	1583	3062	5214	9639	19738
43	0.43	113	263	494	1079	1646	3180	5454	10024	20457
45	0.45	118	270	508	1107	1687	3261	5618	10297	21002
47	0.47	119	277	521	1134	1728	3338	5777	10523	21500
50	0.50	123	286	538	1172	1787	3447	5949	10859	22154
53	0.53	127	296	557	1211	1846	3565	7235	11249	22907
55	0.55	130	302	569	1228	1887	3638	7380	11478	23360
57	0.57	133	308	580	1261	1923	3710	7525	11703	23814
59	0.59	135	314	591	1283	1959	3783	7866	11884	24268
61	0.61	138	320	502	1311	1996	3851	7906	12111	24721
64	0.64	141	327	515	1338	2041	3933	7970	12383	25220
67	0.67	146	337	534	1379	2100	4051	9210	12746	25991
69	0.69	148	343	545	1402	2136	4119	9342	12973	26400
71	0.71	150	348	555	1424	2168	4182	9473	13154	26808
73	0.73	152	354	565	1447	2200	4246	9600	13336	27216
76	0.76	155	359	675	1465	2236	4305	9723	13563	27579
77	0.77	157	265	585	1488	2268	4368	9850	13744	27978
79	0.79	158	366	589	1497	2282	4390	9900	12812	28132
80	0.80	160	370	595	1510	2200	4427	9972	13925	28350

82	0.82	162	375	704	1529	2331	4491	9072	14407	28758
88	0.88	168	391	733	1590	2427	4936	9453	14651	298758
90	0.9	170	395	740	1606	2449	4717	2548	14787	30142
98	0.98	179	414	777	1696	2567	4944	10025	15513	31615
100	0.1	190	418	785	1701	2590	4990	10115	15649	31879
114	1.14	194	450	845	1832	2790	5268	10841	16828	34247
118	1.18	198	457	857	1860	2830	5443	11022	17055	34748
120	1.20	199	462	867	1880	2860	5502	11113	17252	35120
131	1.31	209	484	907	1969	2994	5761	11657	18053	36742
137	1.37	215	497	931	2018	3071	5*906	11948	18507	37667
140	1.4	216	502	939	2037	3103	5965	12066	18688	38012
147	1.47	224	516	765	2096	3189	5128	12383	19187	29055
157	1.57	231	534	1002	2163	2298	5337	12814	19822	40361
160	1.6	234	541	1011	2195	3334	5409	12973	20049	40797
163	1.63	237	545	1025	2218	3370	5477	13109	20276	41222
176	1.76	246	570	1066	2309	3511	4740	13508	21092	47938
180	1.8	249	576	1075	2331	3547	5808	13744	21319	43364
196	1.96	261	403	1129	2440	3710	7130	14379	22317	45360
200	2.0	265	511	1143	2472	3760	7221	1460	22589	45931
212	2.12	273	529	1179	2549	3874	7434	15014	23270	47265
215	2.15	275	534	1188	2567	3905	7493	15132	23451	47637
220	2.2	278	541	1200	2595	3942	7570	15277	23678	48104
229	2.29	284	555	1225	2649	428	7729	15604	24177	49125
235	2.35	288	584	1243	2689	4088	7843	15840	24522	49832
240	2.4	292	572	1256	2719	4129	7927	15017	24780	50363
245	2.45	295	579	1270	2749	4173	9010	15193	25039	50894
255	2.55	301	594	1297	2806	4760	9116	16520	25556	51928
260	2.6	304	701	1311	2834	4304	9260	16683	25814	52445
261	2.61	305	703	1315	2544	4318	9287	16738	25900	52618
274	2.74	313	721	1348	2917	4331	9501	17177	26554	54069
277	2.77	315	727	1356	2935	4459	9555	17782	26717	54432
290	2.9	317	730	1383	2948	4479	9593	17357	26839	54536
294	2.94	325	749	1402	3025	4595	9813	17781	27533	55793
300	3.0	328	757	1414	3055	4641	4900	17956	27803	56428
310	3.1	335	771	1438	3112	4728	9063	18280	28305	57607
314	3.14	3369	775	1448	3129	4752	9074	18380	28459	57879
320	3.2	340	784	1462	3163	4825	9204	18579	28767	58424
327	3.27	344	792	1479	3198	4853	9298	18779	29076	58968
333	3.33	348	801	1495	3230	4904	9408	18979	29366	59512
340	3.4	351	809	1511	3263	4955	9518	19178	29656	50057
343	3.43	353	813	1520	3279	4980	9571	19278	29801	50329
353	3.53	358	825	1541	3328	5054	9708	19559	30237	51238
359	3.59	362	834	1558	3361	5103	9798	19732	30527	52143
360	3.6	363	1559	3365	5109	5109	9809	19754	30564	52211
372	3.72	369	850	1585	3423	5201	9879	20094	31108	53232
378	3.78	371	854	1592	3458	5225	10024	20185	31253	53504
380	3.8	373	459	1601	3457	5254	10081	20299	31423	53544
392	3.92	379	473	1928	3515	5339	10251	20639	31933	54865

400	4.0	383	483	1646	3554	5398	10334	20846	32274	55545
406	4.06	368	493	1665	3592	5457	10432	21092	32759	56407
412	4.12	400	496	1672	1609	5415	10418	21174	32759	56407

Exemple :

On suppose que le débit massique des condensats produits lors de la marche normale de l'usine est estimé à 750kg/h. Le dimensionnement doit donc se faire sur la base d'un débit de condensats à transporter de : $750 \times 2 = 1500 \text{ kg/h}$.

La pression totale dans les conduites et la longueur du réseau sont aussi des paramètres importants à considérer. En se référant à la table 1, l'écoulement d'un débit d'eau de 1500kg/h dans une conduite de 25mm de diamètre entraînera une perte de charge due au frottement de 3,5 mbars par mètre de conduite.

Si la distance séparant le purgeur et la bache de récupération n'excède pas 3m, la pression en aval du purgeur peut être non significative. Si par contre le trajet à parcourir par les condensats dépasse 500m, la chute de pression s'élèvera à $500 \times 3.50 = 1750 \text{ mbars}$, compte tenu des autres résistances à l'écoulement des condensats (coudes, brides,..), la perte de charge totale sera de l'ordre de 2 bars. Dans ces conditions la contre pression en aval du purgeur serait importante.

Une telle contre pression pourrait être acceptable ou non selon la pression de la vapeur en amont des purgeurs. En pratique, il est déconseillé d'imposer une pression aval élevée pour éviter une différence de pression importante entre les réseaux de vapeur et les condensats.

Cette différence est amplifiée lors du démarrage ou la pression de vapeur est minimale et la contre pression du réseau condensants est maximale.

Des contre pressions élevées ne peuvent être tolérées en aval des équipements dont la température est contrôlée par un type de régulation modulante. D'autre part, les conduites du réseau des condensats ne doivent pas être surdimensionnées sous peine d'augmenter excessivement le coût de l'installation. La solution consiste donc à installer un purgeur de grande capacité qui sera capable de refouler suffisamment de condensats même contre une pression élevée.

Pour des valeurs de contre pression modérées surtout pour une pression de vapeur élevée ou pour de longues distances de transport, il est raisonnable de considérer une perte de charge de 0.8 mbar par mètre de conduite pour le dimensionnement du réseau de condensats.

4) l'élévation des condensats :

Bien qu'il soit préférable de faire circuler les condensats sous l'effet de la pesanteur, il existe des situations où leur élévation est inévitable. Même si le purgeur ne joue pas le rôle d'une pompe, la pression régnant à l'orifice d'évacuation peut permettre la circulation en pente des condensats. En effet, chaque 0,11 bar de pression à la sortie purgeur permet aux condensats une élévation approximative de 1 mètre.

Il ne faut pas perdre de vue que la pression à la sortie du purgeur est très inférieure à la pression de la vapeur. L'installation d'un système de contrôle de température sur un équipement, permet de limiter la quantité et le niveau thermique (basse température) de la vapeur d'alimentation selon la quantité de chaleur utile à fournir.

De ce fait, l'utilisation d'une vapeur à basse pression et parfois même nulle est fréquente pour certains types d'échangeurs de chaleur. Même en l'absence de contrôle de température, la condensation rapide lors du démarrage peut générer de très faibles pressions au niveau de la sortie du purgeur. Dans ces conditions, le transport des condensants à un point se trouvant à un niveau élevé va inévitablement créer des coups de bélier dont les conséquences sont néfastes pour les installations. La sélection des purgeurs doit prendre en compte ce facteur

important. Il est à noter à ce sujet que les purgeurs à cloche inversée constituent un bon choix pour les échangeurs thermiques alors que les purgeurs à flotteur peuvent être mieux adaptés à d'autres cas d'utilisation.

Il est évident que le contre-pression réduira la différence de pression à travers le purgeur et donc diminuera sa capacité. Ce facteur doit être pris en considération lors du choix du purgeur.

5) L'engorgement des conduites de retour des condensats :

Si le réseau de récupération des condensats est correctement dimensionné, le transport de ces condensats des purgeurs à la bache de récupération, se fait facilement.

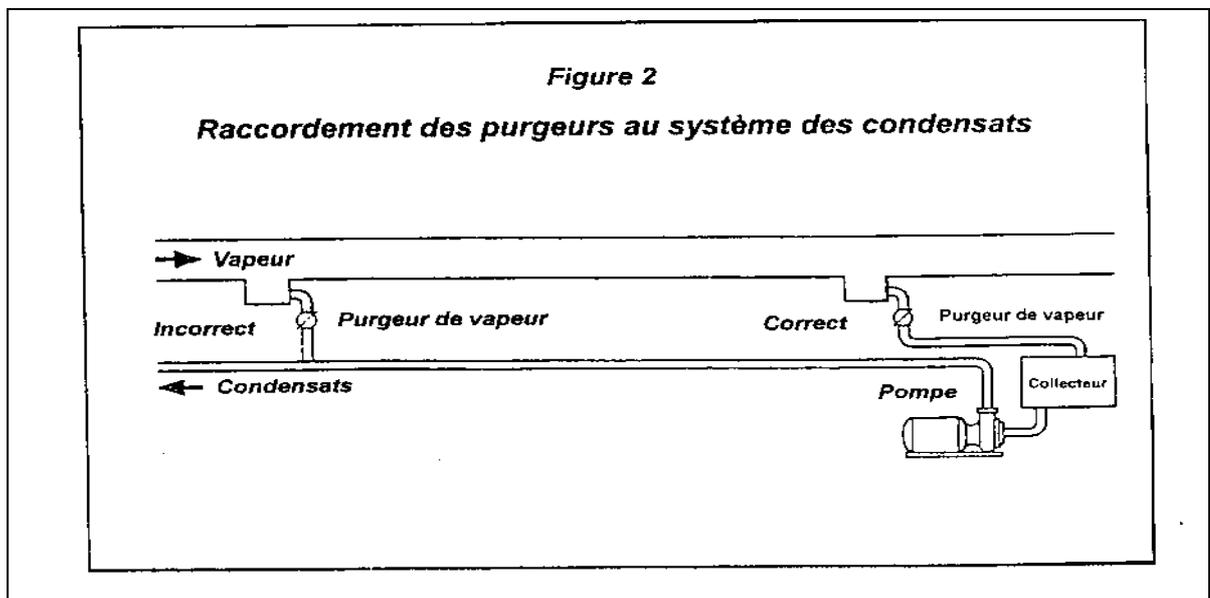
Par contre, si les condensats sont directement versés dans une conduite engorgée d'eau, des problèmes se posent.

Ces problèmes se posent surtout au niveau des conduites principales. En effet, il est fréquent de déverser les condensats d'une nouvelle extension du réseau dans la conduite principale la plus proche. Ces conduites n'étant pas prévues pour les décharges supplémentaires se trouvent souvent engorgées d'eau.

Les condensats à haute pression traversant le purgeur vont être partiellement ravaporisés. La vapeur de détente ainsi produite doit pouvoir circuler dans une conduite de condensats déjà remplie d'eau à basse pression. L'entrée forcée de la vapeur en contact avec les condensats froids se traduira par la formation de bulles de vapeur dont l'éclatement crée un vide dans la conduite, et donc des coups de bélier néfastes pour les installations du réseau.

La meilleure solution n'est pas pratique, il faut pallier au problème en installant un purgeur qui retient les condensats jusqu'à ce qu'ils soient refroidis. Du fait qu'il existe un risque d'engorgement de la conduite ou de l'appareil à drainer, il est recommandé de prévoir un pot de purge adéquat relié à une conduite de refroidissement de 2 à 3 m. Une solution alternative serait l'installation d'un purgeur à flotteur qui évacue en continu. Etant à faible débit, les condensats pourront être évacués sans problème dans une conduite même engorgée.

Figure 2
Raccordement des purgeurs au système des condensats

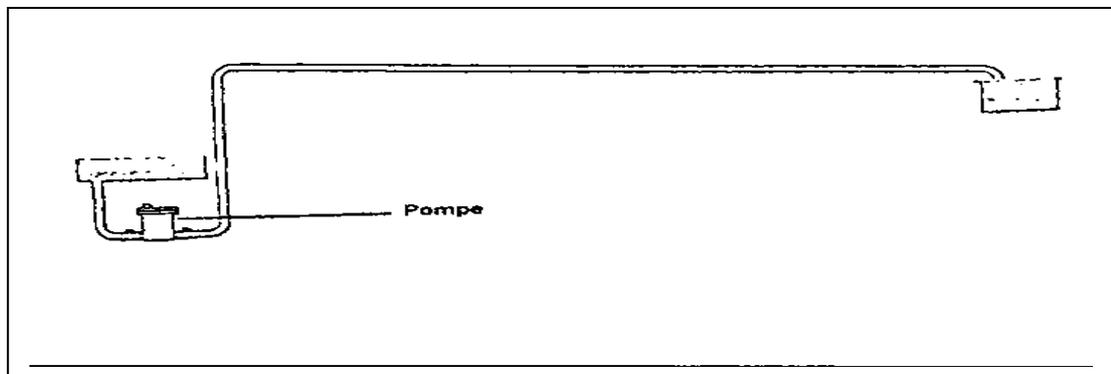


6)Transport des condensats

Si les conduites transportant les condensats sont longues, il est conseillé de réduire au maximum les pertes de charge. Sur la figure 3, ceci est réalisé par une élévation verticale suivie d'une descente inclinée de la conduite jusqu'à la bêche de récupération.

Quand les condensats sont collectés dans une bêche de récupération, il est souvent nécessaire d'assurer leur transport à un niveau supérieur tel que la bêche d'alimentation par utilisation d'une pompe. Les pompes centrifuges et les pompes à flotteurs sont fréquemment utilisées pour assurer une telle tâche.

Figure 3
méthode adéquate pour déverser les condensats dans un réservoir situé à un niveau supérieur



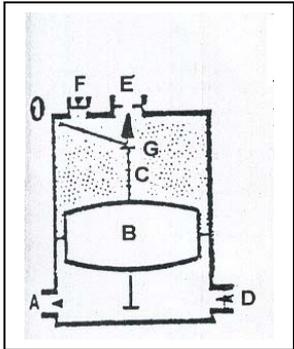
Des problèmes peuvent cependant se poser lorsque la pompe centrifuge est utilisée pour refouler les condensats chauds. Etant à une température élevée, ces condensats peuvent subir une ravaporisation partielle, la présence de cette vapeur, non seulement réduit l'efficacité de la pompe, mais pose le problème de la cavitation. En effet l'éclatement des bulles de vapeur sur les aubes peut entraîner des vibrations et l'érosion d'éléments de la pompe. La pompe et la tuyauterie doivent être conçues de façon à supporter de basses pressions d'aspiration.

Certains problèmes posés par l'utilisation des pompes centrifuges peuvent être évités par l'utilisation d'une pompe à flotteur dont le fonctionnement et l'installation sont illustrés respectivement sur les figures 4 et 5.

I Figure 4

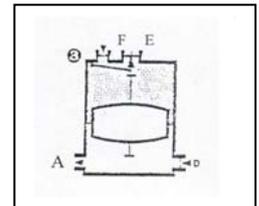
Fonctionnement de la pompe à flotteur utilisant la vapeur comme fluide moteur

Fonctionnement

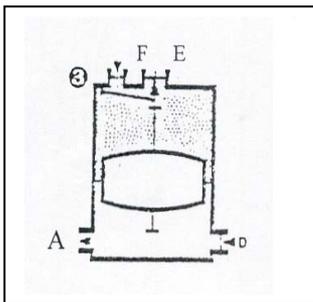


- 1- Les condensats entrent dans la pompe par gravité à travers la soupape A et remplissent le corps de la pompe. Le flotteur B se déplace vers le haut le long de la tige de la soupape C.

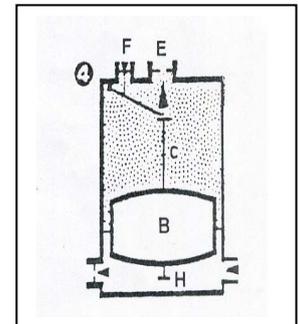
Due à la contre pression des condensats , la soupape D demeure fermée. La soupape de sortie E reste ouverte alors que la soupape d'admission F est fermée. Le flotteur B continue sa montée jusqu'à ce qu'il presse l'anneau G résultant en l'ouverture de la soupape F et la fermeture de la soupape E.



- 2- le fluide de la pompe pressurisé entre à travers F et ferme entièrement E . La pression transmise à travers le liquide assure la fermeture de la soupape A. La pression continue à augmenter dans la pompe jusqu'à ce qu'elle dépasse la contre pression des condensats.



- 3- Les condensats pressurisés ouvrent la soupape D et le refoulement commence.

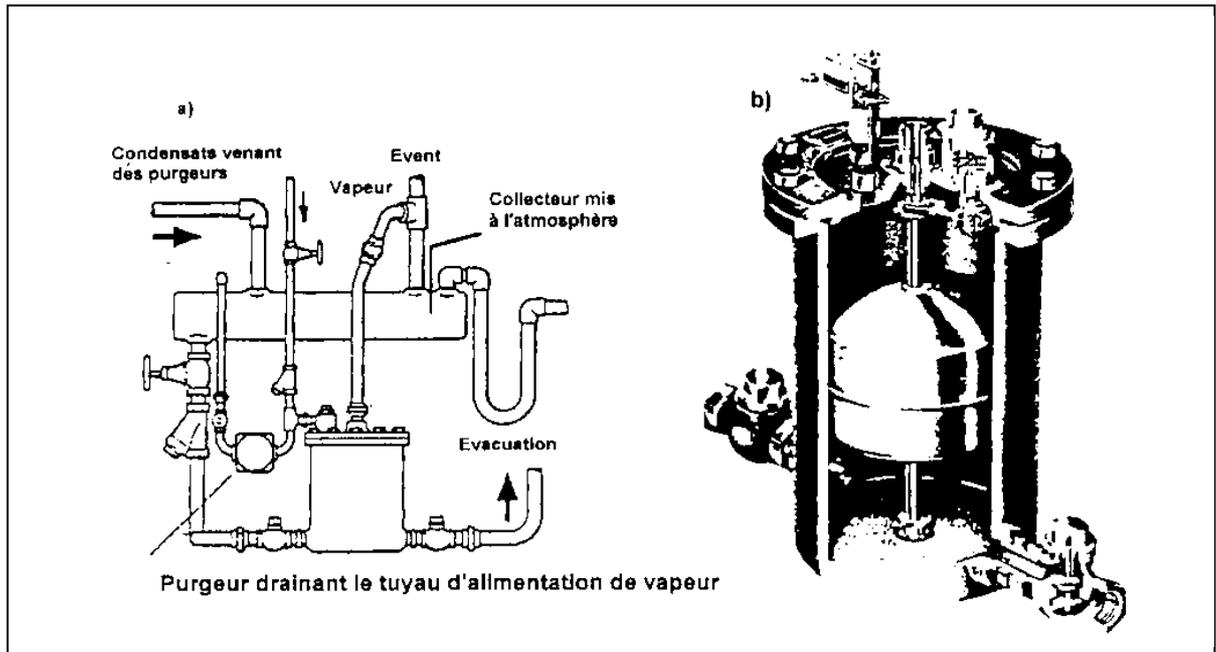


- 4- Le flotteur B entame sa descente avec le niveau d'eau. Quand presque la totalité des condensats est refoulée, le tige de la valve C descend sous l'action du poids du flotteur .La soupape E s'ouvre libérant ainsi le fluide de la pompe et simultanément la soupape F se ferme. La dépression au niveau du corps de la pompe provoque la fermeture de la soupape de refoulement (D) et l'ouverture de la soupape d'admission (A).

Au cours de la course d'admission des condensats de la pompe(étapes 1 et 2 de la fig 4) la présence du fluide de pompe , au dessus du flotteur B, maintient une pression constante dans l'enceinte de cette pompe. Lors du refoulement (étapes 3 et 4 de la fig. 4) la soupape D s'ouvre sous l'effet de la pression et les condensats sont ainsi déchargés. Dans la pratique cette pompe joue le rôle d'un réservoir et les condensats sont évacués en continu. Le fluide utilisé pour pressuriser l'enceinte de la pompe est généralement de la vapeur ou de l'air

comprimé. Cependant pour ce dernier, les fuites éventuelles d'air dans le système de retour des condensats peuvent aggraver le problème de la corrosion.

Figure 5
Installation typique d'une pompe à flotteur



Si cette pompe est correctement installée elle peut fonctionner pendant longtemps sans poser de problèmes.

Ces pompes ont à leur actif de manipuler des condensats à la température d'ébullition sans cavitation.

Etant dépourvues d'un moteur, elles ne sont pas affectées par l'humidité et continuent à fonctionner même si elles sont complètement submergées d'eau.

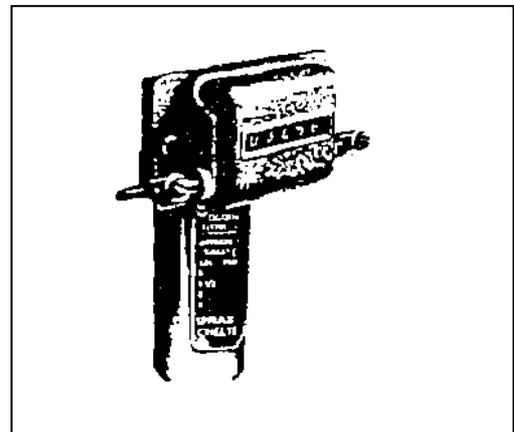
Connaissant la quantité de condensats refoulée à chaque course et la fréquence des courses, il est facile de calculer le débit des condensats déchargés.

En installant un compteur de courses, la pompe peut être utilisée comme un débitmètre mesurant la charge des condensats produite par un secteur de l'usine ou par l'usine entière.

Un type de compteur est montré sur la figure 6.

Il est nécessaire de rappeler que l'opération des systèmes de pompage est en général intermittente. Le diamètre des conduites doit être choisi en conséquence.

Dans le cas des pompes à flotteur, un cycle est représenté par les deux courses d'aspiration et de refoulement.



Généralement la période d'admission dure deux fois plus que celle de refoulement. La conduite de refoulement doit être donc prévue pour véhiculer deux à trois fois la charge normale des condensats.

Pour les pompes électriques, une attention particulière doit être accordée aux fréquences d'arrêt et de démarrage.

Le choix de la capacité d'une telle pompe qui fonctionne en continu à pleine charge, doit minimiser les arrêts et les démarrages, à faible charge. Pour ce cas, les conduites de refoulement doivent être dimensionnées sur la base d'une charge d'une fois et demie la charge normale des condensats. Comme dans le cas des pompes à flotteur, le calcul des pertes de charge à travers la tuyauterie de retour des condensats, doit se faire en prenant en considération le débit de ces condensats.

7°) Corrosion

la corrosion peut endommager sérieusement le réseau des condensats. A long terme , le problème de corrosion du système de retour des condensats est inévitable.

Cependant, la mise en place d'un certain nombre de mesures de protection permettra d'atténuer son effet.

La corrosion est principalement causée par le gaz carbonique dissout dans l'eau d'alimentation . Ce gaz qui peut être formé à partir du bicarbonate de sodium, lors d'un adoucissement zéolite de l'eau , sera entraîné dans le réseau de distribution par la vapeur. Au cours de la condensation le CO₂ reste dans la vapeur en équilibre avec les condensats .

L'absorption du CO₂ dans l'eau étant favorisée par une diminution de température, le gaz carbonique va se dissoudre dans les condensats au cours de leur refroidissement. Au terme d'une réaction chimique ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \longrightarrow \text{H}_2\text{CO}_3$) le CO₂ se transforme en acide carbonique corrosif.

la concentration du CO₂ dans les condensats augmente avec le refroidissements et peut baisser le pH jusqu'à une valeur de 4. le pouvoir corrosif de l'acide formé est accentué par la présence de l'oxygène. Cet acide peut attaquer les conduites en fer et en cuivre.

Une liste de mesures de nature à minimiser l'effet de la corrosion est dressée ci-dessous :

- Maximiser le retour des condensats.
- Maintenir les condensats retournés à la température la plus élevée possible.
- Eviter l'utilisation des purgeurs thermostatique qui refroidissent les condensats
- Utiliser des évents de désaération.
- Maintenir une désaération adéquate des échangeurs thermiques.
- Faire un traitement adéquat de l'eau d'alimentation.

D- La Vapeur de Détente

1) Introduction:

Le problème a pour origine les condensats à haute température. Si on considère un serpentín ou la vapeur se condense à 7 bars, les condensats obtenus seront donc à une température de 170.5 °C.

Si le serpentín est équipé d'un purgeur à flotteur, ces condensats seront évacués à la même température.

Dans le cas d'utilisation d'un purgeur thermostatique, les condensats subiront un sous-arrondissement, mais leur température restera supérieure à 100°C.

Quand leur pression chute dans la tuyauterie ou dans la bache de récupération, la température des condensats doit diminuer pour s'ajuster à la nouvelle pression. L'excès de chaleur dû à cette chute de température, servira à une revalorisation partielle des condensats. Cette vapeur de détente se condensera à son tour une fois évacuée pour former les nuages familiers de vapeur blanche.

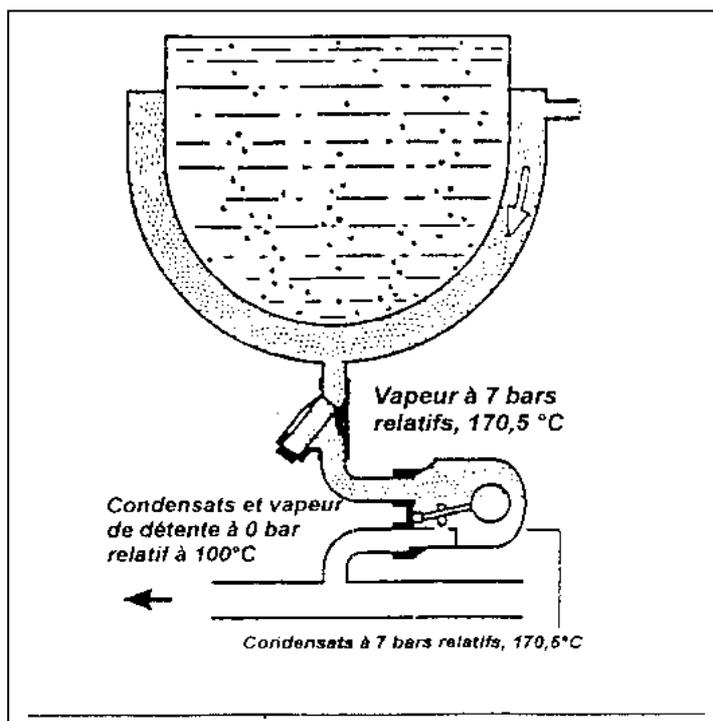
Une bonne conception du réseau des condensats tiendrait compte du problème de la vapeur de détente et assurerait sa récupération et son recyclage.

Cette vapeur de détente est aussi utile que celle produite dans la chaudière, son utilisation permettra d'une part, de réduire la demande en vapeur et d'autre part, d'économiser l'eau d'alimentation

2) Estimation de la quantité de la vapeur de détente:

Pour pouvoir exploiter la vapeur de détente, il faut d'abord la quantifier. La détermination de la quantité de condensats revaporisés peut se faire en utilisant le 1^{er} principe de la thermodynamique ou en exploitant directement les tables de vapeur.

Figure 1
Vapeur de détente générée à partir de condensats à haute pression



La méthode de calcul sera illustrée par détermination de la fraction des condensats revaporisés au niveau du purgeur du système de chauffage d'une cuve à double paroi (voir figure 1).

Exemple I :

Les condensats arrivant au purgeur à une pression relative de 7 bars, auront une enthalpie de 721.40kJ / Kg.

A une pression relative de 0 bar (100°C) l'enthalpie maximale de l'eau saturée est de 419.0 KJ/Kg. La différence est égale à 302.40 KJ/kg.

Cet excès de chaleur sera absorbé par une revaporisation partielle des condensats. La chaleur latente de vaporisation à la pression atmosphérique est de 2257 kJ /kg

La quantité de vapeur de détente formée à la pression atmosphérique est donnée par :

$$\frac{302,4 \text{ KJ}}{2257 \text{ KJ /Kg}} \quad \times 1 \text{ Kg} = 0.134$$

si la cuve consomme 1000Kg / h, la quantité de vapeur de détente formée en une heure est de :

$$1000 \times 0.134 = 134 \text{ Kg}$$

Si les condensats purgés sont sous refroidis (cas du purgeur thermostatique) , une partie de la chaleur sensible sera donc cédée avant la détente. La de vapeur de détente formée sera donc réduite.

Ce cas est illustré par l'exemple qui suit.

Exemple II :

Dans cet exemple, le purgeur thermostatique utilisé évacue les condensats à une température inférieure de 15 °C à la température de saturation de la vapeur . Les condensats qui sont à une température de 170.50 – 50 = 155.5 °C auront une enthalpie de 656 KJ/KG (équivalente à celle de l'eau saturée) .L'excès d'énergie qui sera dissipée lors de la détente est de :

$$656 - 419 = 237 \text{ KJ Kg.}$$

Pour un débit de condensats de 1000 Kg / h, la qté de vapeur de détente produite est :

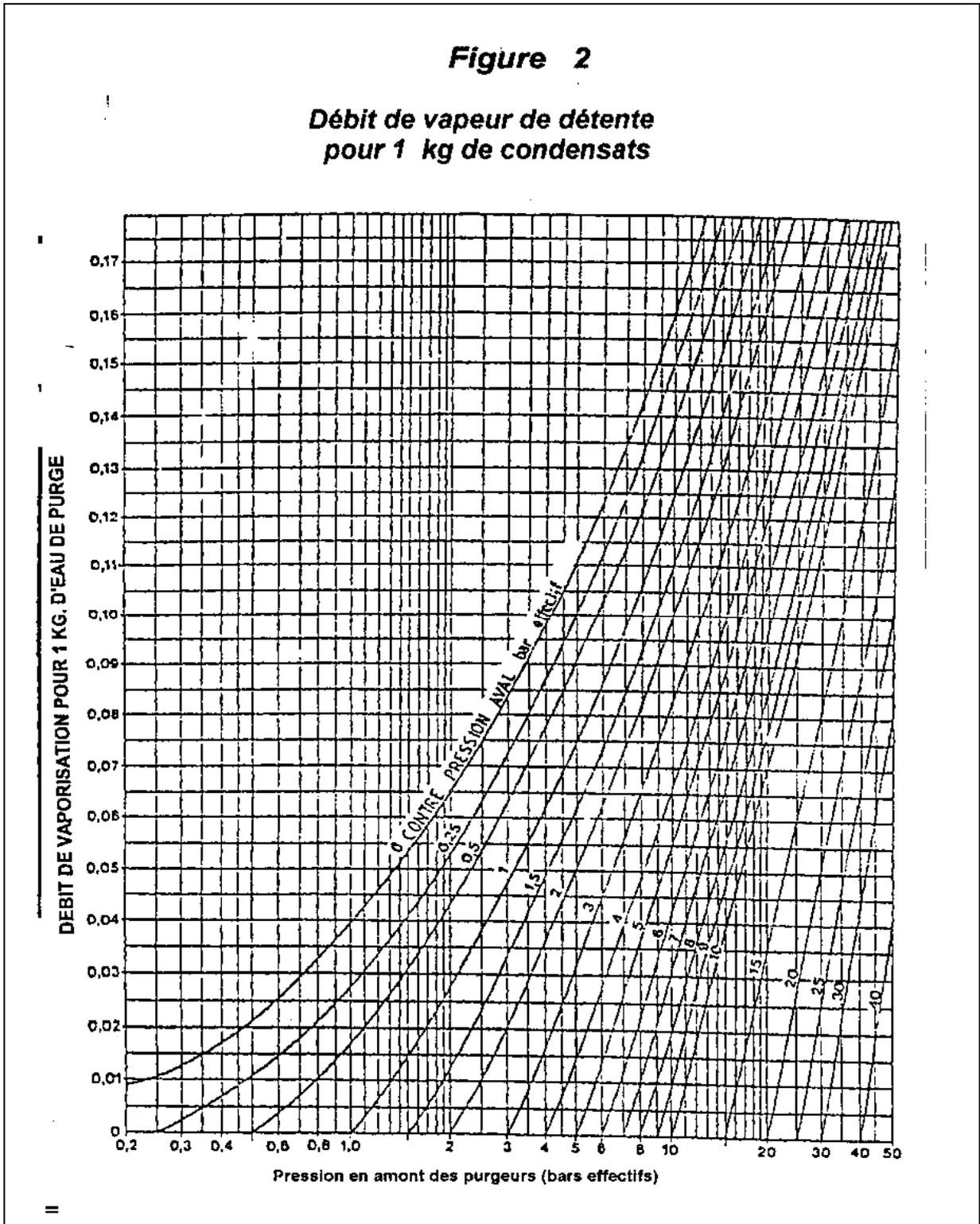
$$\frac{1000 \text{Kg} \times 237 \text{kJ}}{2257 \text{ KJ /Kg}} = 105 \text{kg/h de vapeur}$$

Ces deux exemples illustrant la méthode de calcul de la quantité de vapeur détente formée selon la température des condensats purgés. Cette vapeur de détente sera donc formée chaque fois qu'il y a une chute de pression des condensats. On peut également déterminer la quantité vaporisée en utilisant directement les abaques de la figure 2. Ces abaques supposent que les condensats sont purgés à la température de saturation correspondant à la pression du réseau.

Dans le cas de sous- refroidissement des condensats, il est recommandé d'utiliser la première méthode.

3) conception des ballons séparateurs (vases de revaporisation):

la vapeur de détente se forme généralement au niveau de l'orifice de sortie des purgeurs.



Il est donc essentiel que le système du retour des condensats soit capable de transporter à la fois les condensats et la vapeur de détente. Comme il a été décrit précédemment, un système de récupération des condensats mal dimensionné peut nuire au purgeur et au réseau de vapeur par l'effet de la contre-pression. Une fois que les condensats et la vapeur sont récupérés, il faut séparer la vapeur pour une utilisation à basse pression. Le ballon de séparation est installé verticalement et est alimenté par le haut. Il est dimensionné pour assurer une chute considérable de la vitesse des condensats et de la vapeur de détente. De part sa conception, le ballon permet l'accumulation des condensats vers le fond où ils seront drainés vers l'extérieur, alors que la vapeur relativement légère se dirigera vers le haut. Pour permettre l'évacuation de la vapeur sèche pour une utilisation à basse pression, le ballon doit être situé à une hauteur adéquate.

Le drainage rapide des condensats étant essentiel pour un séparation efficace, il faut d'utiliser un purgeur à flotteur.

Le dimensionnement des ballons de séparation comme le montre la figure 3 sera illustré à travers l'exemple suivant :

Une usine utilisant de la vapeur à une pression relative de 11 bars produit 4000 kg / h de condensats .

La vapeur de détente est à récupérer à une pression relative de 0,5 bar. La quantité de vapeur de détente peut être déterminée en se servant des tables ou en exploitant le graphe de la figure 2. Il est facile de vérifier qu'une détente de 11 à 0,5 bars de 1 kg de condensant produit 0.15 kg de vapeur , L'usine produit donc 600 kg/ h de condensats revaporisés. Sur le figure3, on constate que l'horizontale issue de 4000 kg/h de condensat, coupe la verticale issue de 600 kg /h de vapeur de revaporisation dans l'air propre au ballon N° 12. Les dimensions d'un tel ballon nécessaire à cette application sont présentées sur la figure 4.

La ballon de la figure 4 peut séparer un mélange de condensats et de vapeur dont le débit total peut aller jusqu'à 9000 kg /h. Les ballons destinés pour séparer de grands débits doivent être conçus en respectant certaines règles de base à savoir :

-Une vitesse raisonnable de vapeur doit être maintenue à l'intérieur du ballon pour faciliter la séparation et éviter l'entraînement des condensats. Cette vitesse ne doit pas dépasser 3m/s.

Connaissant la quantité de vapeur et son volume spécifique à la pression de conception, on peut donc déterminer le diamètre du ballon séparateur.

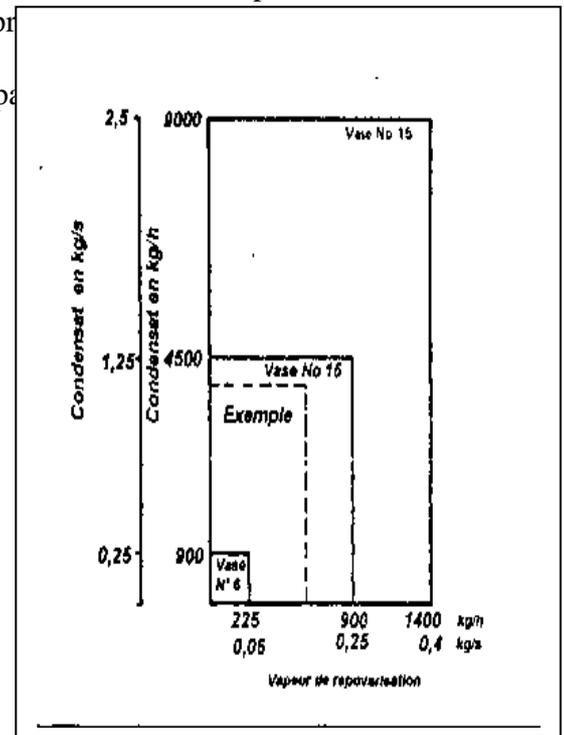
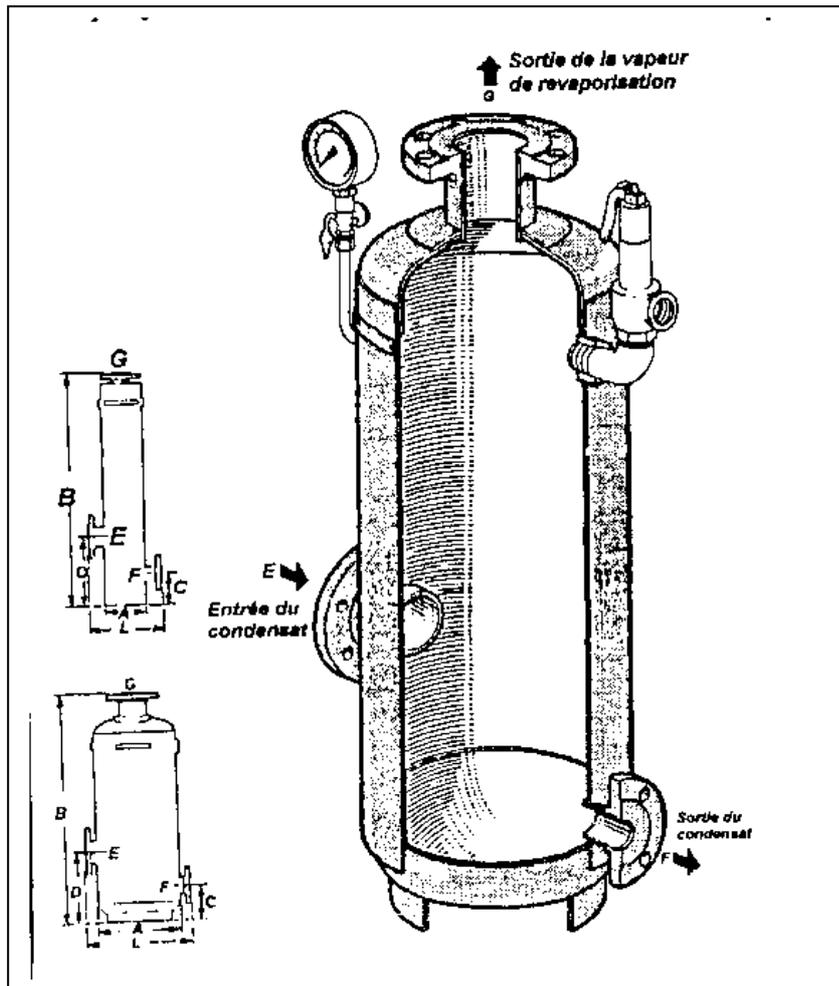


Figure 4
Spécifications typiques des ballons de séparations



-Il est aussi important de tenir compte de la quantité des condensats ne produit qu' une petite quantité de vapeur de détente.

Dimensionner le ballon sur la base de la vitesse seule, conduire à des sous estimations du diamètre qui favoriseraient la création de la turbulence à l'intérieur de l'enceinte et qui rendraient la séparation difficile. La table 1 donne le diamètre minimum du ballon séparateur en fonction de la charge.

Les valeurs de ses tables sont approximatives, elles doivent être confrontés aux diamètre basés sur la vitesse.

L'utilisation d'un ballon surdimensionné ne posant pas de problèmes, il est recommandé donc de choisir le plus grand des deux diamètres calculés.

Table 1
dimensionnement d'un ballon de détente

Diamètre (A)		charge maximale des condensats	
Diamètre		kg / h	
mm			
380		9070	
460		12700	
500		15880	
600		20400	
760		34400	
920		49900	

Hauteur		Diamètre de l'orifice de sortie des condensats (F)*	
Diamètre (A)	Hauteur recommandée (B)	Charge kg/h	Diamètre mm
mm	mm		
380	1100		
460	1200		
500	1400	54430	100
600	1400	31300	80
760	1400	20400	65
920	1500	13610	50

*les lettres sont relatives à la codification de la figure .4

-la hauteur du ballon ainsi que le diamètre de l'orifice de sortie des condensats sont également donnés dans la table 1. L'orifice de sortie de la vapeur doit être dimensionné sur la base d'une vitesse ne dépassant pas 15 m/s. L'orifice d'admission des condensats est fixé par le diamètre de la tuyauterie des condensats . Pour une meilleure séparation, il est recommandé de surdimensionner légèrement le ballon pour assurer de faibles vitesses et éviter la turbulence à l'intérieur de l'enceinte.

-la figure 4 ci-dessus montre un ballon de séparation typique. On peut noter sur le schéma que l'orifice d'admission des condensats se situe à 1/3 de la hauteur du ballon à partir de la base Cette disposition empêchera, dans le cas d'une montée des condensats, toute obstruction de l'entrée, de même elle assurera suffisamment d'espace à la vapeur ce qui évitera, par conséquent, l'entraînement des condensats.

4) Conception du système de récupération de la vapeur de détente:

Pour réussir la récupération des condensats revaporisés, trois conditions doivent, être respectées:

a) il est essentiel de disposer des condensats à une pression raisonnable. De même il faut que le purgeur soit capable de supporter la contre pression en aval (pression des condensats augmentée de la pression opérationnelle du système de récupération de la vapeur de détente).

b) il faut que l'utilisation de la vapeur à basse pression récupérée soit possible.

c) il faut que le site d'utilisation soit proche de la source de production de cette vapeur. En effet, le transport d'une telle vapeur à basse pression nécessite des conduites avec de gros diamètre.

En plus du coût élevé de la tuyauterie, les pertes de chaleur par radiation seront importantes. Ces deux inconvénients peuvent annuler l'économie résultant de la récupération de la vapeur de détente.

Les conditions précédents étant respectées, l'étape suivante de la conception du système de récupération consiste à définir le système de contrôle. Si la production de vapeur de détente dépend de la demande en vapeur vive (offre/ demande de chaleur synchronisée), le système le plus simple consiste à alimenter directement le poste d'utilisation, sans appoint de vapeur vive (haute pression). Le figure 5 illustre l'arrangement d'un tel système où la vapeur de détente des condensats haute pression, est utilisée pour préchauffer l'air dans le premier compartiment de chauffage. La taille de la surface d'échange et sa position dans la batterie doivent être étudiées de façon à assurer une condensation rapide de la vapeur de détente. Cette disposition de conception simple, offre l'avantage de limiter les contre pressions en aval des purgeurs, qui peuvent être importantes surtout pendant la période de démarrage. Les inconvénients d'un tel système proviennent de la sous-exploitation de la surface d'échange lorsque l'offre en vapeur récupérée est faible et de la difficulté d'évacuation des condensats du ballon de séparation due au faible gradient de pression.

Figure 5
Utilisation de la vapeur de détente pour le chauffage

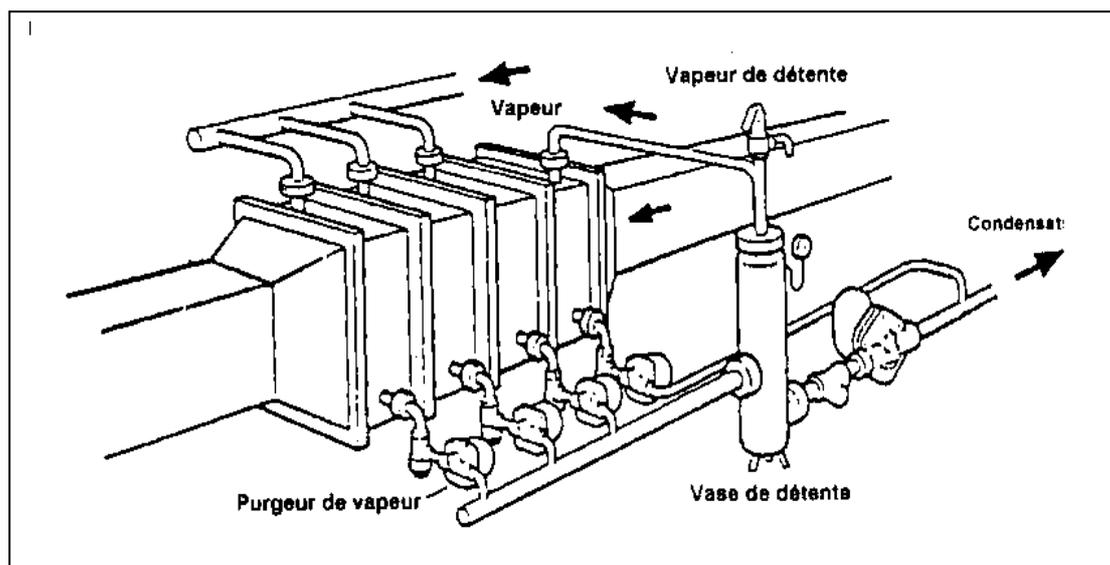
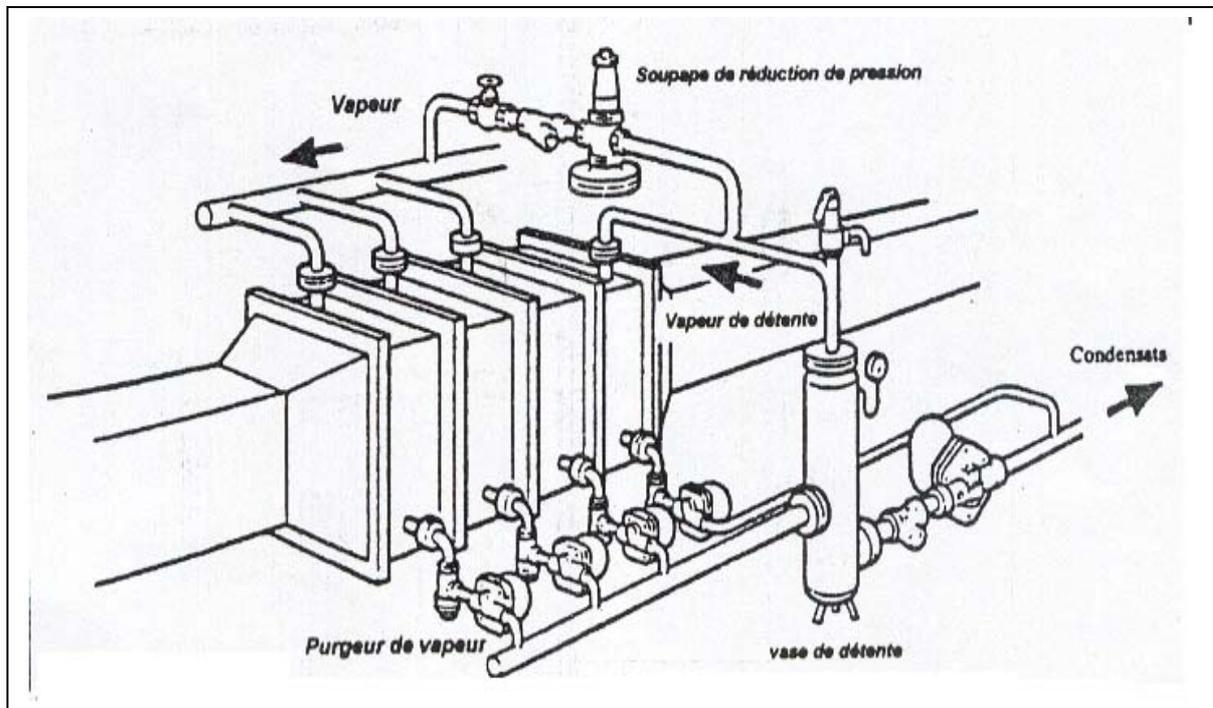


Figure 6
Utilisation de la vapeur de détente pour la préchauffage avec appoint de vapeur vive



La figure 8 montre un arrangement similaire au précédent avec une vanne d'appoint. Cette vanne assure un apport de vapeur vive pour compenser un éventuel déficit de la vapeur de détente, ce qui permet une exploitation permanente de la première batterie de chauffe. Elle permet également une évacuation facile des condensats du ballon de séparation en assurant un gradient raisonnable de pression à travers le purgeur de ce ballon. Le seul problème que pose un tel système, c'est que les purgeurs à haute pression doivent démarrer avec une faible pression en aval. Il est cependant possible de pallier à ce problème en n'ouvrant la vanne d'appoint qu'après la montée en pression de la batterie de chauffe.

5) Quelques applications typiques:

les installations où l'offre et la demande sont synchronisées, constituent des systèmes d'utilisation idéale de vapeur de détente. Deux types de tels systèmes ont été discutés précédemment (figures, 5 et 6)

Une installation similaire peut être conçue pour le chauffage à la vapeur de grands espaces. Dans une telle conception, 10 à 15 % des échangeurs sont isolés et alimentés par la vapeur de détente des condensats des autres unités de chauffage. Le chauffage du local étant en tout ou rien, l'offre et la demande en vapeur sont là aussi synchronisées.

La figure 7, illustre le cas où la vapeur de détente provenant des condensats de l'usine est utilisée pour le chauffage des locaux. Cette installation n'est utilisée que pendant la saison de chauffage. En été le chauffage des locaux n'étant pas nécessaire et la vapeur de détente est rejetée à l'atmosphère. Cette situation illustre le cas où l'offre et les besoins en vapeur ne sont pas synchronisés. Bien que l'utilisation de cette installation soit limitée à la raison de chauffage, il est possible que les économies réalisées pendant les saisons froides justifient l'investissement initial.

Une autre application intéressante qui concerne le « package calorifier unit » est représentée sur la figure 8, ce système est composé de deux unités d'échange interconnectées. La partie supérieure est un simple échangeur où la vapeur est utilisée pour chauffer les locaux ou pour produire de l'eau chaude. Les condensats et la vapeur détente sortant du purgeur de cet échangeur, sont canalisés vers l'unité inférieure où ils seront séparés. Alors que la vapeur est envoyée dans l'unité supérieure pour une réutilisation, les condensats sont sous-refroidis dans l'unité inférieure. Les deux échangeurs thermiques sont disposés en série sur le circuit secondaire de sorte que l'eau de retour récupère la chaleur utile de la vapeur de détente et des condensats du 2^{ème} échangeur. Cette disposition réduit la demande de vapeur vive. Dans ce cas aussi l'offre et la demande sont synchronisées. Cependant le ballon de séparation a été remplacé par un échangeur tubulaire modifié pour le préchauffage.

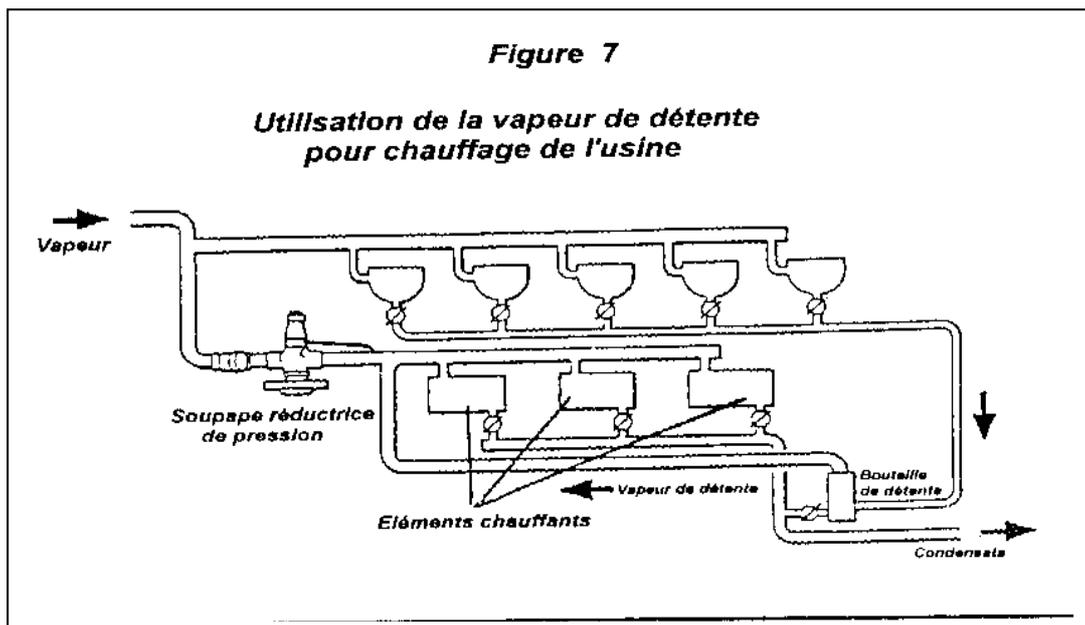
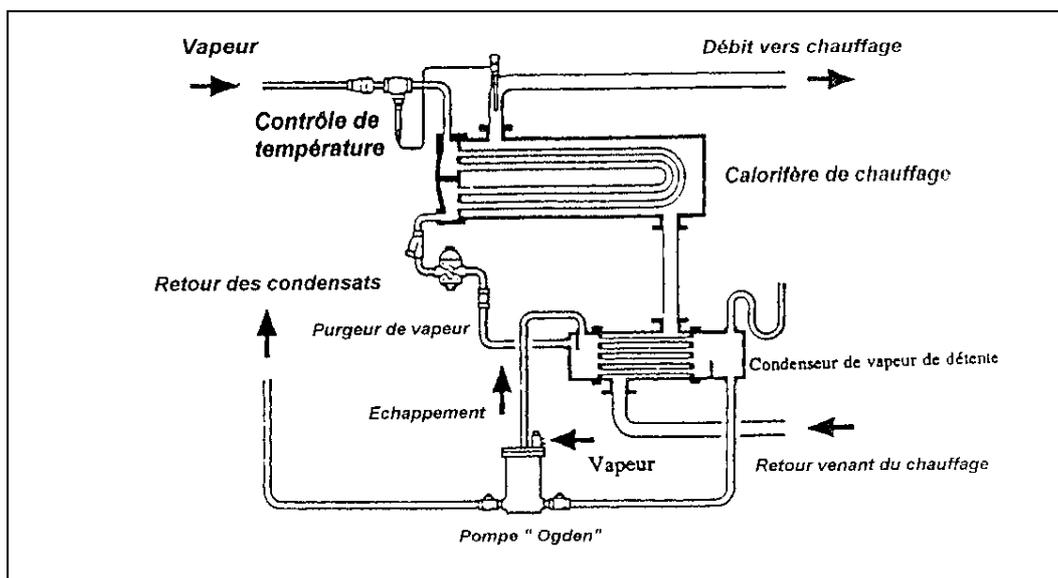


figure 8
Utilisation de la vapeur de détente pour la chauffage



E – Dimensionnement du Réseau Vapeur

1°) CHOIX DE LA PRESSION:

La pression de la vapeur utilisée dépend essentiellement du niveau de température requis par les différents postes d'utilisation de la vapeur.

La vapeur à basse pression apparaît comme un meilleur fluide caloporteur du fait de sa chaleur latente supérieure à celle de la vapeur à haute pression. Cependant, sa basse température et son volume spécifique élevé constituent des obstacles majeurs à son utilisation. En effet, la vapeur à basse pression nécessitera pour sa distribution et son utilisation une tuyauterie de plus grand diamètre et des surfaces d'échange plus grandes. Le choix de la pression dans un système de vapeur doit donc se faire en minimisant l'investissement des installations tout en assurant une distribution et une utilisation efficaces de la vapeur.

2°) DIMENSIONNEMENT DE LA TUYAUTERIE:

Le dimensionnement de la tuyauterie du système de distribution est lié au niveau thermique (température ou pression) et à la quantité de chaleur à échanger (charge du réseau). Bien qu'il soit nécessaire parfois de dimensionner la tuyauterie en absence d'une estimation précise de la charge, il est déconseillé de surdimensionner le système de distribution. En effet, le surdimensionnement entraînera:

- Un supplément d'investissement pour installer, isoler et supporter une tuyauterie plus large.
- Des pertes de chaleur accrues dues à l'augmentation de la surface latérale. Ceci entraînera une condensation plus importante de la vapeur d'où la nécessité de prévoir un réseau de condensats plus large.

Les problèmes liés au sous-dimensionnement sont plus évidents. Un réseau sous-dimensionné ne pourra pas assurer la distribution de toute la vapeur nécessaire au bon fonctionnement de l'usine ce qui entraînera une baisse de la production. Ce déficit de vapeur se manifeste par une baisse de pression du réseau et une augmentation de la vitesse de circulation dans la tuyauterie. Des vitesses élevées de la vapeur favorisent l'érosion des parois et sont à l'origine des coups de bélier.

Deux méthodes sont utilisées pour le calcul des dimensions de la tuyauterie de distribution de vapeur:

- dimensionnement basé sur la vitesse;
- dimensionnement basé sur la perte de charge.

Si on fixe la vitesse, les calculs seront basés sur le volume spécifique de la vapeur transportée et la section de la tuyauterie. L'expérience pratique a montré que la vitesse d'une vapeur sèche et saturée est de l'ordre de 25 à 35m/s. Sous peine de provoquer des problèmes de vibration et d'érosion, ces limites ne doivent pas être dépassées, particulièrement si la vapeur est humide.

Les débits de vapeur circulant dans une tuyauterie de diamètre donné sont présentés dans la table 1 pour différentes vitesses d'écoulement. Cette table peut être exploitée pour dimensionner de courtes canalisations en basant sur les vitesses citées ci dessus. Cependant, pour de longues canalisations où les pertes de charge peuvent être considérables, une valeur de 15m/s sera prise comme vitesse de référence pour le dimensionnement du réseau de distribution.

Cette méthode simple et commode n'est pas en mesure d'assurer une pression donnée en amont des appareils utilisateurs de la vapeur .

Table 1
Débit de vapeur selon la pression et la vitesse dans les tuyauteries

Table 1												
Débit de vapeur selon la pression et la vitesse dans les tuyauteries												
Pression bar	Vitesse m/s	15 mm	20 mm	25 mm	32 mm	40 mm	Kg/h 50 mm	65 mm	80 mm	100 mm	125 mm	150 mm
0.4	15	7	14	24	37	52	99	145	213	394	648	917
	25	10	25	40	62	92	162	165	384	675	972	1457
	40	17	35	64	102	142	265	403	576	1037	1670	2303
0.7	15	7	16	25	40	59	109	166	250	431	680	1006
	20	12	25	45	72	100	182	287	430	716	1145	1557
	40	18	37	58	106	167	298	428	630	1108	1712	2417
1.0	15	8	17	29	43	65	112	182	260	470	694	1020
	25	12	26	48	72	100	193	300	445	730	1160	1660
	40	19	39	71	112	172	311	465	640	1150	1800	2500
2.0	15	12	25	45	70	100	182	280	410	715	1125	1580
	25	19	43	70	112	162	295	428	656	1215	1755	2520
	40	30	54	115	178	275	475	745	1010	1895	2925	4175
3.0	15	16	37	60	92	127	245	385	585	925	1505	2040
	25	26	56	100	152	225	425	632	910	1580	2480	3440
	40	41	87	157	250	357	595	1025	1460	2540	4050	5940
4.0	15	19	42	70	108	156	291	432	635	1156	1685	2460
	25	30	63	115	180	270	450	742	1080	1980	2925	4225
	40	49	116	197	295	456	796	1247	1825	3120	4940	7050
5.0	15	22	49	37	128	187	352	526	770	1295	2105	2835
	25	36	81	135	211	308	548	885	1265	2110	3540	5150
	40	59	131	225	338	495	855	1350	1890	3510	5400	7870
6.0	15	25	59	105	152	225	425	632	925	1555	2525	3400
	25	43	97	162	253	370	658	1065	1520	2530	4250	6175
	40	71	157	270	405	595	1025	1620	2270	4210	4675	9445
7.0	15	29	63	110	165	260	445	705	952	1815	2765	3990
	25	49	114	190	288	450	785	1205	1750	3025	4815	6900
	40	76	117	203	455	690	1210	1865	2520	4585	7560	10880
8.0	15	32	70	126	190	285	475	800	1125	1990	3025	4540
	25	45	122	205	320	465	810	1260	1870	3240	5220	7120
	40	84	192	327	510	730	1370	2065	3120	5135	8395	12470
10.0	15	41	95	155	250	372	626	1012	1465	2495	3995	5860
	25	66	145	257	405	562	990	1530	2205	3825	6295	8995
	40	104	216	408	615	910	1635	2545	3600	6230	9880	14390
14.0	15	50	121	205	310	465	810	1270	1870	3220	5215	7390
	25	85	195	331	520	740	1375	2080	3120	5200	8500	12560
	40	126	305	555	825	1210	2195	3425	4735	8510	13050	1830

Lorsque la pression d'utilisation est imposée ou lorsque la tuyauterie est longue, il est préférable de dimensionner la tuyauterie sur la base des pertes de charge. La pression finale étant fixée, le calcul de la conduite est basé sur celui du facteur F de perte de charge:

$$F = \frac{FP_1 - FP_2}{L}$$

Où:

FP1: facteur basé sur la pression initiale

FP2: facteur basé sur la pression finale

L: longueur totale corrigée des conduites tenant compte des vannes, des coudes,...

Les facteurs FP₁ et FP₂ peuvent être déterminés à partir de la table 2. Le facteur de perte de charge étant calculé, la table 3 peut être utilisée pour déterminer le débit de vapeur circulant dans la tuyauterie pour différents diamètres de conduite. Les valeurs de vitesses données également sur cette table, peuvent être utilisées pour vérification.

3°) Exemples de calcul:

3.1. 1^{er} exemple:

Données :

- Pression à l'entrée de la tuyauterie : 7 bars
- Pression à la sortie de la tuyauterie : 6,4 bars
- Longueur équivalente de la tuyauterie : 263 m (comprenant les coudes, brides,.....)
- Diamètre de la conduite : 65 mm

On se propose de calculer la vitesse d'écoulement de la vapeur.

Sur la table 2, on peut lire les facteurs de pression FP1 et FP2 correspondant respectivement à 7 bars et 6,4 bars :

$$FP_1 = 56,38 \quad \text{et} \quad FP_2 = 48,48$$

$$\text{Donc } F = \frac{FP_1 - FP_2}{L} = \frac{56,38 - 48,48}{263}$$

$$F = 0,030$$

Sur la table 3, on peut lire les valeurs de x et y associées à une tuyauterie de 65 mm de :

$$X = 919,4 \text{ Kg / h de vapeur}$$

$$Y = 80,6 \text{ m / s}$$

Y est un facteur de vitesse basé sur un volume spécifique de 1 m³ / Kg. Ce facteur doit être converti en vitesse réelle en utilisant la formule :

$$Y = \frac{\text{Vitesse réelle} \times 1}{\text{Volume spécifique actuel}}$$

A une pression donnée, le volume spécifique peut être lu sur les table de la vapeur.
 Dans ce cas, pour une pression de 7 bars, le volume spécifique de la vapeur est égal à 0,240 m³ / Kg. La vitesse réelle de la vapeur est donc :

$$\text{Vitesse réelle} = 0,240 * 80,64 = 19,35 \text{ m / s}$$

Table 2
Facteur de correction de la pression
Pour le dimensionnement de la tuyauterie

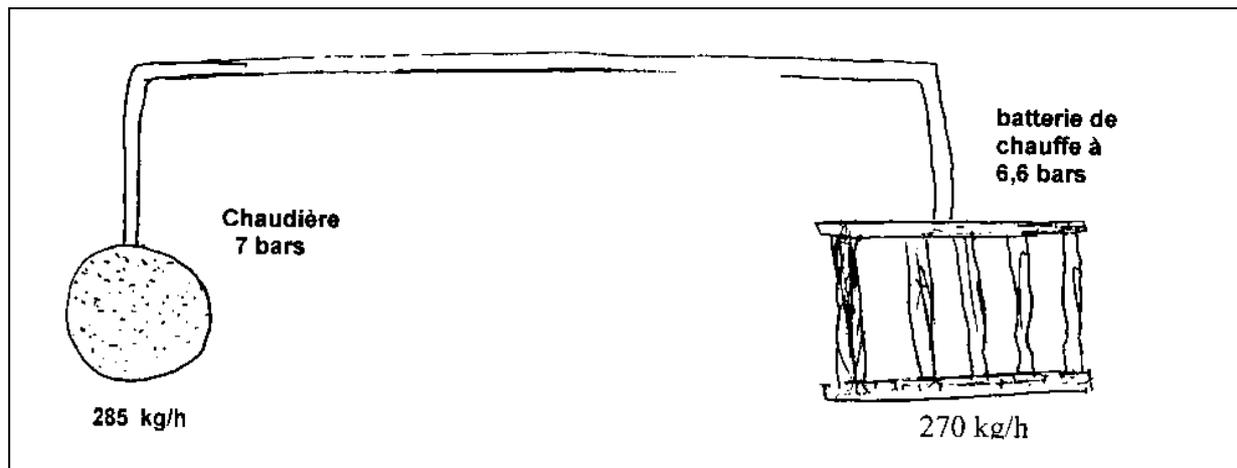
Table 2
Facteur de correction de la pression
pour le dimensionnement de la tuyauterie

Pression bar relatif	Volume m ³ /Kg	Facteur correction	Pression bar relatif	Volume m ³ /Kg	Facteur correction	Pression bar relatif	Volume m ³ /Kg	Facteur correction
005	28192	00301	2.15	0.576	9309	7.70	0222	66.31
010	14.674	00115	2.20	0.568	9597	7.80	0219	67.79
015	10022	00253	2.25	0.560	9.888	7.90	0217	69.29020
020	7.649	00442	2.30	0552	10.18	8.00	0.215	70.80
025	6.204	00681	2.35	0544	1.048	8.10	0212	72.33
0.30	5.229	0.0970	2.40	0.536	10.79	8.20	0.210	73.88
0.35	4.530	0.1308	2.45	0.529	11.10	8.30	0.208	75.44
0.40	3.993	0.1694	2.50	0.522	11.41	8.40	0.206	77.02
0.45	3.580	0.2128	2.55	0.515	11.72	8.50	0.204	78.61
0.50	3.240	0.2610	2.60	0.509	12.05	8.60	0.202	80.22
0.55	2.964	0.3140	2.65	0.502	12.37	8.70	0.200	81.84
0.60	2.732	0.3716	2.70	0.496	12.70	8.80	0.198	83.49
0.65	2.535	0.4340	2.75	0.489	13.03	8.90	0.196	85.14
0.70	2.365	0.5010	2.80	0.483	13.37	9.00	0.194	86.81
0.75	2.217	0.5727	2.85	0.477	13.71	9.10	0.192	88.50
0.80	2.087	0.6489	2.90	0.471	14.06	9.20	0.191	90.20
0.85	1.972	0.7298	2.95	0.466	14.41	9.30	0.189	91.92
0.90	1.859	0.8153	3.00	0.461	14.76	9.40	0.187	93.66
0.95	1.777	0.9053	3.10	0.451	15.48	9.50	0.185	95.41
1.013	1.073	1.025	3.20	0.440	16.22	9.60	0.184	97.16
0	1.873	1.025	3.40	0.422	17.75	9.80	0.11	100.75
0.05	1.801	1.126	3.50	0.413	18.54	9.90	0.179	102.75
0.10	1.533	1.230	3.60	0.405	19.34	10.00	0.177	104.40
0.15	1.471	1.339	3.70	0.398	20.16	10.28	0.174	108.10
0.20	1.414	1.453	3.80	0.389	21.00	10.40	0.172	11.87
0.25	1.361	1.572	3.90	0.381	21.85	10.60	0.169	115.70
0.30	1.212	1.694	4.00	0.374	22.72	10.80	0.166	119.59
0.35	1.268	1.822	4.10	0.367	23.61	11.00	0.163	123.54
0.40	1.225	1.953	4.20	0.361	24.51	11.20	0.161	127.56
0.45	1.186	2.090	4.30	0.355	25.43	11.40	0.158	131.64
0.50	1.149	2.230	4.40	0.348	25.36	11.60	0.156	135.64
0.55	1.115	2.375	4.50	0.342	27.32	11.80	0.153	139.98
0.60	1.083	2.525	4.60	0.336	28.28	12.00	0.151	144.25
0.65	1.051	2.679	4.70	0.330	29.27	12.20	0.194	148.57
0.70	1.024	2.837	4.80	0.325	30.27	12.40	0.147	152.96
0.75	0.997	2.999	4.90	0.320	31.29	12.60	0.145	157.41

Module n° :	RESEAU VAPEUR						Séquences n° :		
0.80	0.971	3.166	5.00	0.215	32.32	12.63	0.143	161.92	
0.85	0.946	3.336	5.10	0.310	33.37	13.00	0.141	166.50	
0.90	0.923	3.514	5.20	0.305	34.44	13.20	0.139	171.13	
0.95	0.901	3.694	5.30	0.301	35.52	13.40	0.135	175.83	
1.00	0.881	3.878	5.40	0.296	36.62	13.60	0.133	180.58	
1.05	0.860	4.067	5.50	0.292	37.73	13.80	0.132	185.40	
1.10	0.841	4.260	5.60	0.288	38.86	14.00	0.130	190.29	
1.15	0.823	4.458	5.70	0.284	40.01	14.20	0.128	195.23	
1.20	0.805	4.660	5.80	0.280	41.17	14.40	0.127	200.23	
1.25	0.788	4.866	5.90	0.276	42.35	14.60	0.125	205.30	
1.30	0.773	5.076	6.00	0.272	43.54	14.80	0.124	210.42	
1.35	0.757	5.291	6.10	0.269	44.76	15.00	0.122	215.61	
1.40	0.743	5.510	6.20	0.265	45.98	15.20	0.121	220.86	
1.45	0.726	5.734	6.30	0.261	47.23	15.40	0.119	226.17	
1.50	0.714	5.961	6.40	0.258	48.48	15.60	0.118	231.54	
1.55	0.701	6.193	6.50	0.255	49.76	15.80	0.117	236.97	
1.60	0.689	6.429	6.60	0.252	51.05	16.00	0.115	242.46	
1.65	0.677	6.670	6.70	0.249	52.36	16.20	0.114	248.01	
1.70	0.665	6.915	6.80	0.246	53.68	16.40	0.113	253.62	
1.75	0.654	7.164	6.90	0.243	55.02	16.60	0.111	256.30	
1.80	0.643	7.417	7.00	0.240	56.36	16.80	0.110	265.03	
1.85	0.632	7.675	7.10	0.237	57.75	17.00	0.109	270.83	
1.90	0.622	7.937	7.20	0.235	59.13	17.20	0.106	276.69	
1.95	0.612	8.208	7.30	0.232	6.54	17.40	0.107	282.60	
2.00	0.603	8.473	7.40	0.229	61.96	17.60	0.106	288.58	
2.05	0.594	8.748	7.50	0.227	63.39	17.80	0.105	294.62	
2.10	0.585	9.026	7.60	0.224	64.84	18.00	0.104	300.72	

Débits et facteurs de pertes de charge

D	Dim. Tube																
	16 mm 5/8"	20 mm 3/4"	25 mm 1"	32 mm 1 1/8"	40 mm 1 1/2"	50 mm 2"	65 mm 2 1/2"	80 mm 3"	100 mm 4"	125 mm 5"	150 mm 6"	175 mm 7"	200 mm 8"	225 mm 9"	250 mm 10"	300 mm 12"	
0.0016						30.40	55.41	90.72	180.1	360.4	540.7	810.9	1081.1	1361.3	1641.5	2161.7	2701.9
0.0020					16.18	34.32	52.71	103.0	205.6	407.0	608.4	809.8	1011.2	1212.6	1414.0	1815.4	2216.8
0.0025				10.84	17.02	26.16	39.21	71.2	142.9	285.7	428.5	571.3	714.1	856.9	1102.5	1348.1	1593.7
0.0030				7.14	4.36	5.40	6.06	8.52	8.56	8.87	11.26	12.51	14.40	14.85	15.92	18.04	18.04
0.0035				11.85	19.31	41.83	75.85	124.1	271.2	481.9	804.5	1209	1733	2380	3172	5149	5149
0.0040				4.13	4.73	5.92	6.67	7.80	9.29	10.79	12.21	13.65	14.87	16.26	17.28	19.2	19.2
0.0045		2.21	7.94	14.96	22.25	56.74	97.64	150.5	332.2	604.6	975.7	1476	2118	2913	3844	5267	5267
0.0050		3.54	4.40	5.03	5.72	7.18	8.13	9.24	11.42	13.26	15.00	16.68	18.18	19.87	21.79	23.95	23.95
0.0055		4.04	4.95	5.16	5.57	57.09	103.6	170.8	373.1	674.7	1101	1663	2382	3281	4328	5051	5051
0.0060		4.46	5.56	5.76	6.14	62.38	113.6	188.7	409.8	739.9	1207	1822	2595	3567	4781	5741	5741
0.0065		4.73	5.44	5.63	5.94	65.82	118.8	198	430.6	779.9	1307	1946	2738	3747	4947	5947	5947
0.0070		4.87	5.57	5.76	6.07	67.21	121.2	203.2	445.9	804.4	1315	1977	2836	3906	5172	6367	6367
0.0075		4.77	5.58	5.77	6.08	67.21	121.2	203.2	445.9	804.4	1315	1977	2836	3906	5172	6367	6367
0.0080		5.57	6.28	6.47	6.78	71.85	125.95	217.1	470.7	831.4	1480	2132	2916	4075	5361	6647	6647
0.0085		5.41	6.29	6.48	6.79	71.85	125.95	217.1	470.7	831.4	1480	2132	2916	4075	5361	6647	6647
0.0090		1.86	5.68	5.87	6.18	77.55	131.25	231.5	495.5	878.5	1576	2243	3038	4207	5473	6739	6739
0.0095		4.10	6.72	6.91	7.22	81.2	134.3	237.6	510.1	904.8	1601	2271	3067	4237	5503	6769	6769
0.0100		3.10	6.76	6.95	7.26	87.57	140.2	251.8	535.2	930.5	1626	2300	3104	4282	5548	6815	6815
0.0105		4.39	6.13	6.32	6.63	9.37	143.3	257.9	550.3	956.2	1651	2329	3148	4327	5593	6859	6859
0.0110		7.39	7.25	7.44	7.75	98.84	149.3	272.1	575.4	1012	1726	2406	3201	4349	5615	6881	6881
0.0115		5.06	7.26	7.45	7.76	103.26	153.8	278.2	590.7	1038	1751	2435	3230	4378	5644	6910	6910
0.0120		7.93	7.79	7.98	8.29	107.68	158.3	284.3	606.0	1064	1776	2464	3259	4407	5673	6939	6939
0.0125		5.15	7.36	7.55	7.86	112.10	162.8	290.4	621.3	1090	1801	2493	3288	4436	5702	6968	6968
0.0130		2.64	8.56	8.75	9.06	116.52	167.3	296.5	636.6	1116	1826	2522	3317	4465	5731	6997	6997
0.0135		5.84	8.46	8.65	8.96	118.72	169.3	298.5	638.6	1118	1828	2524	3319	4467	5733	6999	6999
0.0140		3.16	9.46	9.65	9.96	123.14	173.8	304.6	651.9	1142	1851	2545	3340	4488	5754	7020	7020
0.0145		6.41	9.29	9.48	9.79	125.14	175.8	306.6	653.9	1144	1853	2547	3342	4490	5756	7022	7022
0.0150		2.44	10.34	10.53	10.84	129.56	180.3	312.7	665.2	1167	1874	2566	3361	4519	5775	7041	7041
0.0155		7.90	10.13	10.32	10.63	133.98	184.8	318.8	676.5	1191	1897	2587	3382	4540	5796	7062	7062
0.0160		4.17	12.50	12.69	12.99	138.40	189.3	324.9	687.8	1215	1920	2608	3403	4561	5817	7083	7083
0.0165		8.73	12.25	12.44	12.74	142.82	193.8	331.0	699.1	1239	1943	2629	3424	4582	5838	7104	7104
0.0170		4.71	14.12	14.31	14.61	147.24	198.3	337.1	710.4	1263	1966	2650	3445	4603	5859	7125	7125
0.0175		8.16	13.77	13.96	14.26	151.66	202.8	343.2	721.7	1287	1989	2671	3466	4630	5880	7146	7146
0.0180		5.75	15.65	15.84	16.14	156.08	207.3	349.3	733.0	1311	2012	2692	3487	4651	5901	7167	7167
0.0185		10.99	15.37	15.56	15.86	160.50	211.8	355.4	744.3	1335	2035	2713	3508	4672	5922	7188	7188
0.0190		6.08	18.24	18.43	18.73	164.92	216.3	361.5	755.6	1359	2058	2734	3529	4693	5943	7209	7209
0.0195		12.72	17.97	18.16	18.46	169.34	220.8	367.6	766.9	1383	2081	2755	3550	4714	5964	7230	7230
0.0200		8.88	20.27	20.46	20.76	173.76	225.3	373.7	778.2	1407	2104	2776	3571	4735	5985	7251	7251
0.0205		14.36	20.02	20.21	20.51	178.18	229.8	379.8	789.5	1431	2127	2797	3592	4756	6006	7272	7272
0.0210		7.35	22.20	22.39	22.69	182.60	234.3	385.9	800.8	1455	2150	2818	3613	4777	6027	7293	7293
0.0215		15.36	21.75	21.94	22.24	187.02	238.8	392.0	812.1	1479	2173	2839	3634	4798	6048	7314	7314
0.0220		8.27	25.00	25.19	25.49	191.44	243.3	398.1	823.4	1503	2196	2860	3655	4819	6069	7335	7335
0.0225		17.31	24.45	24.64	24.94	195.86	247.8	404.2	834.7	1527	2219	2881	3676	4840	6090	7356	7356
0.0230		8.56	26.39	26.58	26.88	196.28	249.8	406.2	836.4	1529	2221	2883	3678	4842	6092	7358	7358
0.0235		17.82	26.27	26.46	26.76	200.70	254.3	412.3	847.7	1553	2244	2904	3699	4863	6113	7379	7379
0.0240		9.46	28.20	28.39	28.69	205.12	258.8	418.4	859.0	1577	2267	2925	3720	4884	6134	7400	7400
0.0245		15.36	27.75	27.94	28.24	209.54	263.3	424.5	870.3	1601	2290	2946	3741	4905	6155	7421	7421
0.0250		8.27	30.00	30.19	30.49	213.96	267.8	430.6	881.6	1625	2313	2967	3762	4926	6176	7442	7442
0.0255		17.31	29.45	29.64	29.94	218.38	272.3	436.7	892.9	1649	2336	2988	3783	4947	6197	7463	7463
0.0260		9.46	32.34	32.53	32.83	222.80	276.8	442.8	904.2	1673	2359	3009	3804	4968	6218	7484	7484
0.0265		15.36	31.89	32.08	32.38	227.22	281.3	448.9	915.5	1697	2382	3030	3825	4989	6239	7505	7505
0.0270		8.27	34.73	34.92	35.22	231.64	285.8	455.0	926.8	1721	2405	3051	3846	5010	6260	7526	7526
0.0275		17.31	34.18	34.37	34.67	236.06	290.3	461.1	938.1	1745	2428	3072	3867	5031	6281	7547	7547
0.0280		9.46	36.76	36.95	37.25	240.48	294.8	467.2	949.4	1769	2451	3093	3888	5052	6302	7568	7568
0.0285		15.36	36.31	36.50	36.80	244.90	299.3	473.3	960.7	1793	2474	3114	3909	5073	6323	7589	7589
0.0290		8.27	39.60	39.79	40.09	249.32	303.8	479.4	972.0	1817	2497	3135	3930	5094	6344	7610	7610
0.0295		17.31	39.05	39.24	39.54	253.74	308.3	485.5	983.3	1841	2520	3156	3951	5115	6365	7631	7631
0.0300		9.46	41.94	42.13	42.43	258.16	312.8	491.6	994.6	1865	2543	3177	3972	5136	6386	7652	7652
0.0305		15.36	41.49	41.68	41.98	262.58	317.3	497.7	1005.9	1889	2566	3198	3993	5157	6407	7673	7673
0.0310		8.27	44.38	44.57	44.87	267.00	321.8	504.0	1017.2	1913	2589	3219	4014	5178	6428	7694	7694
0.0315		17.31	43.83	44.02	44.32	271.42	326.3	510.1	1028.5	1937	2612	3240	4035	5199	6449	7715	7715
0.0320		9.46	46.72	46.91	47.21	275.84	330.8	516.4	1040.0	1961	2635	3261	4056	5220	6470	7736	7736
0.0325		15.36	46.27	46.46	46.76	280.26	335.3	522.5	1051.3	1985	2658	3282	4077	5241	6491	7757	7757
0.0330		8.27	49.66	49.85	50.15	284.68	339.8	528.6	1062.6	2009	2681	3303	4098	5262	6512	7778	7778
0.0335		17.31	49.11	49.30	49.60	289.10	344.3	534.7	1073.9	2033	2704	3324	4119	5283	6533	7799	7799
0.0340		9.46	52.00	52.19	52.49	293.52	348.8	540.8</									



On suppose que la distance séparant la chaudière et l'unité de chauffage est connue. Le calcul de la longueur équivalente de la tuyauterie, tenant compte de la résistance due au frottement au niveau des raccords et la perte de charge qui en résulte, nécessite la connaissance du diamètre des conduites. En absence de cette donnée, on procède par estimation.

Pour une conduite d'une longueur supérieure à 100 m, il faut majorer la longueur de 10% pour tenir compte des frottements au niveau des raccords. Cette majoration passe aux environs de 20% pour une longueur de 100 m. Les pertes par radiation doivent faire aussi l'objet d'une conversion en longueur de conduite droite.

L'unité de chauffage nécessite 270 Kg / h de vapeur. IL faut donc que la tuyauterie soit capable de véhiculer en plus de cette quantité de vapeur, les condensats formés par radiation. Etant donné que la conduite n'est pas encore connu, on ne peut que procéder par calculs approximatifs.

La majoration de la longueur correspondant aux pertes par radiation est estimée à 1% pour chaque 30 mètres ou 3 à 4% pour 100 mètres de longueur.

A partir de la table 2 :

FP₁ (à 7 bars)	= 56,38
FP₂ (à 6,6 bars)	= 51,05
L	= 165 m
d'où F	= 0,0323

Les valeurs de la table 3 qui cadrent la valeur de F sont 0,030 et 0,040. Comme il est conseillé de choisir le facteur le plus bas, le facteur de 0,030 est choisi. Il n'est pas recommandé de faire l'interpolation linéaire des données de la table 3. Les courbes correspondant à cette table n'étant pas des droites, l'interpolation linéaire est donc incorrecte.

A partir de la table 2, on peut déduire qu'une conduite de diamètre 40 mm peut transporter 229,90 Kg / h de vapeur, alors que ce débit atteint 501 Kg / h pour une conduite de 50 mm de diamètre. Pour pouvoir satisfaire les besoins de l'unité de chauffage, il faut donc utiliser une conduite de 50mm de diamètre.

Vérifions la vitesse d'après la figure précédente, un débit de 285 Kg / h de vapeur circule dans la conduite. En utilisant la table 3, on peut voir que cette quantité est transportée avec un facteur de vitesse approximatif de 40.

La vapeur à 7 bars a un volume spécifique de $V = 0,240 \text{ m}^3 / \text{Kg}$, la vitesse réelle est donc :

$$\mathbf{Vit_{rel} = 40 * 0,240 = 9,6 \text{ m / s}}$$

On peut noter que cette vitesse est relativement faible par rapport aux vitesses maximales tolérées. Mais l'objectif principal étant de réduire les pertes de charges, cette vitesse constitue un compromis acceptable.

On peut faire le calcul inverse pour voir quelle serait la pression finale si on admet une vitesse de circulation de la vapeur de 21 m / s.

On sait que :

$$\mathbf{Y = \frac{21 * 1}{0,240} = 87,50}$$

En se référant à la table 3, on peut voir que pour avoir un facteur de vitesse de 87,50 et un débit de 285 Kg/ h, la conduite doit avoir un diamètre de 40 mm correspondant à un facteur F de 0,08.

$$\frac{\mathbf{FP_1 - FP_2}}{\mathbf{L}} = \frac{\mathbf{56,38 - FP_2}}{\mathbf{185}} = \mathbf{0,80}$$

d'où $\mathbf{FP_2 = 43,18}$

Sur la table 2, on peut voir que la pression correspondant à ce facteur FP2 est inférieure à 6 bars.

On peut donc conclure que si une conduite de 40mm est utilisée à la place de celle qui a un diamètre de 50mm, la pression au niveau de l'unité de chauffage sera inférieure à la pression de consigne.

4) Dilatation :

La dilatation de la tuyauterie peut devenir problématique, notamment lors de la période de montée en température. La table 1 montre l'effet de la température sur une conduite en acier dont la température initiale est de 16° C

Table 1 Dilatation des tuyauteries en Fonction de la température	
Température finale	dilatation par 30 mm
66°C	19 mm
93°C	29 mm
121°C	41 mm
149°C	50 mm
177°C	61 mm
204°C	74 mm
232°C	84 mm
260°C	97 mm

Les longueurs tuyauteries peuvent donc subir une dilatation importante provoquant des contraintes non négligeables. Il est donc nécessaire de prévoir lors de l'installation du réseau, l'utilisation des raccords et des enclaves fixes pour pallier à ce problème.

Les raccords de dilatation peuvent inclure :

- Une boucle fermée (fig. 1) : cette boucle doit être installée dans une position horizontale et disposée de façon telle que la conduite de circulation en amont soit placée en haut.
- Une boucle ouverte (fig. 2) : cette boucle est installée de préférence horizontalement.
- Des joints glissants (fig. 3) : l'installation de ces joints non-encombrants nécessite un guidage et un ancrage rigides de la tuyauterie. Un mauvais guidage peut entraîner une déformation de la tuyauterie. Ce -type de raccord nécessite un entretien régulier.
- Des raccords à soufflets (fig. 4) : ces raccords non encombrants sont installés sur les tuyauteries rigidement ancrées.

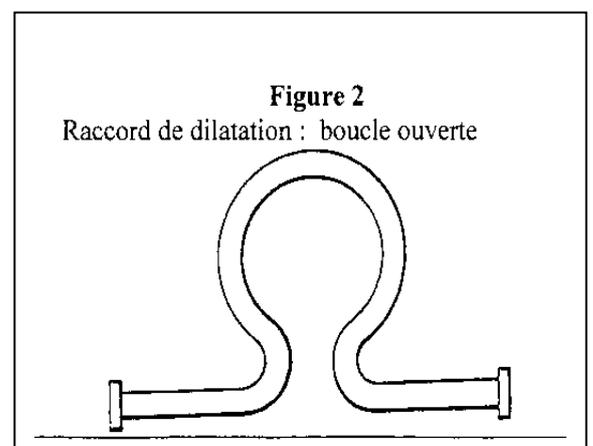
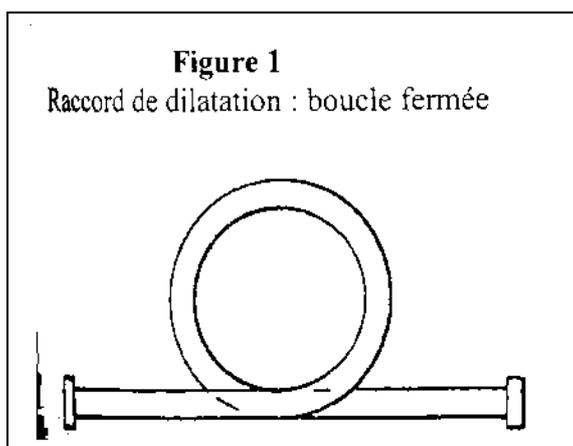


Figure 3

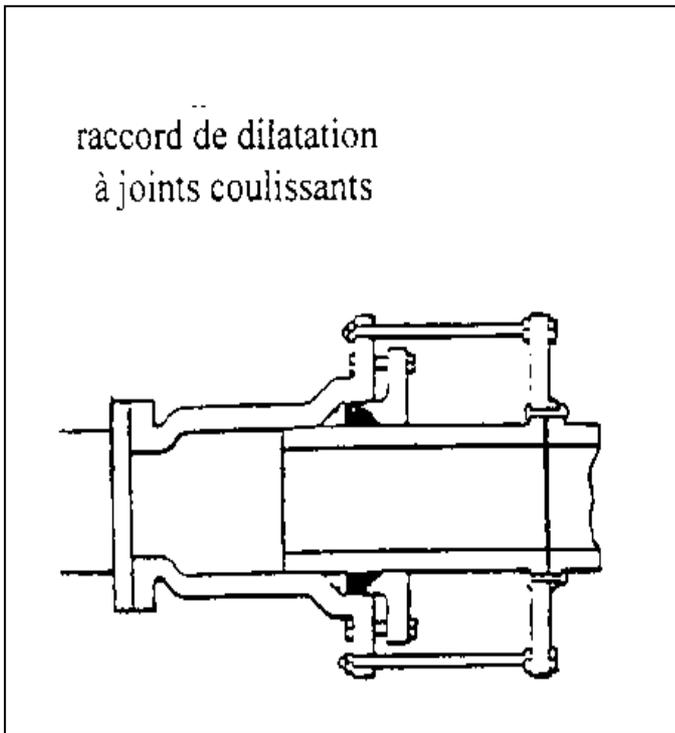
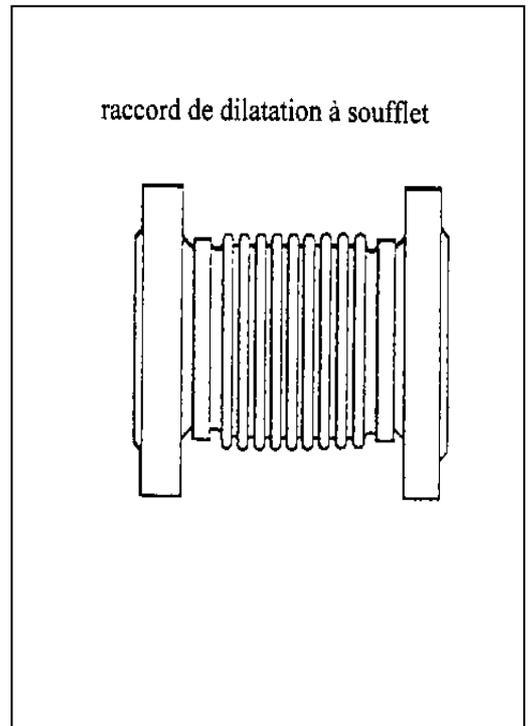


Figure4



Module : réseau vapeur
Guide des travaux pratiques

I.TP1 intitulé du TP : détente de la vapeur**I.1. Objectif (s) visé(s) :**

- Production de la vapeur à une pression P_1
- Réglage d'un poste de détente de vapeur jusqu'à une pression P_2 ($P_2 < P_1$)

I.2. Durée du TP:

12 heures

I.3. Matériel (Équipement et matière d'œuvre) par équipe :**a) Equipement :**

- Chaudière
- Brûleur

b) Matière d'œuvre :

- Combustible Gazoile

I.4. Description du TP :

- Le stagiaire doit :
- Démarrage d'une chaudière à vapeur
 - Faire le réglage d'un poste de détente selon les directives du formateur

I.5. Déroulement du TP

Ces travaux pratiques doivent être faits par 10 stagiaires.

II.TP2 intitulé du TP : *Exploitation des purgeurs de vapeur***II.1. Objectif (s) visé(s) :**

- *Production de la vapeur par une chaudière*
- *Comparaison entre les différents purgeurs*

II.2. Durée du TP:

12 heures

II.3. Matériel (Équipement et matière d'œuvre) par équipe :**c) *Équipement :***

- *Chaudière*
- *4 purgeurs d'un réseau de vapeur*

d) *Matière d'œuvre :*

- *Combustible Gazoil*

II.4. Description du TP :

- Le stagiaire doit :
- *Mettre en route le brûleur*
 - *Démarrer la chaudière*
 - *Alimenter le réseau de vapeur*
 - *Comparer entre les 4 purgeurs*

II.5. Déroulement du TP

Ces travaux pratiques doivent être faits par 10 stagiaires.

Liste des références bibliographiques

Ouvrage	auteur	Edition
L'efficacité énergétique dans les systèmes de distribution de la vapeur	Projet GEM	
La vapeur et la purge des condensats	GM Lorrain-Duffez Jean-pierre-Daugréau Bernard	
Les cahiers techniques Spirax-sarco : -La distribution de la vapeur -la récupération des condensats - la récupération de la vapeur de révaporisation.		