



Formation

Efficacité énergétique dans l'industrie

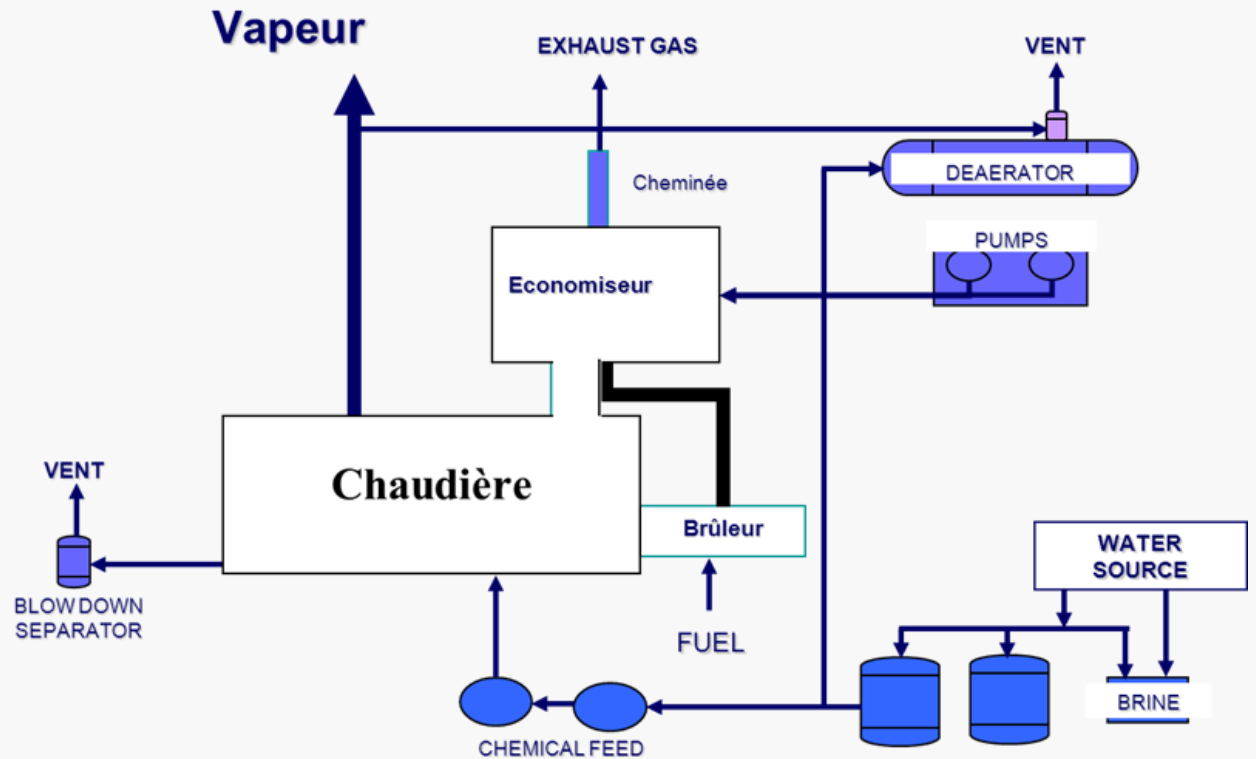
du 21 au 25 Février 2017

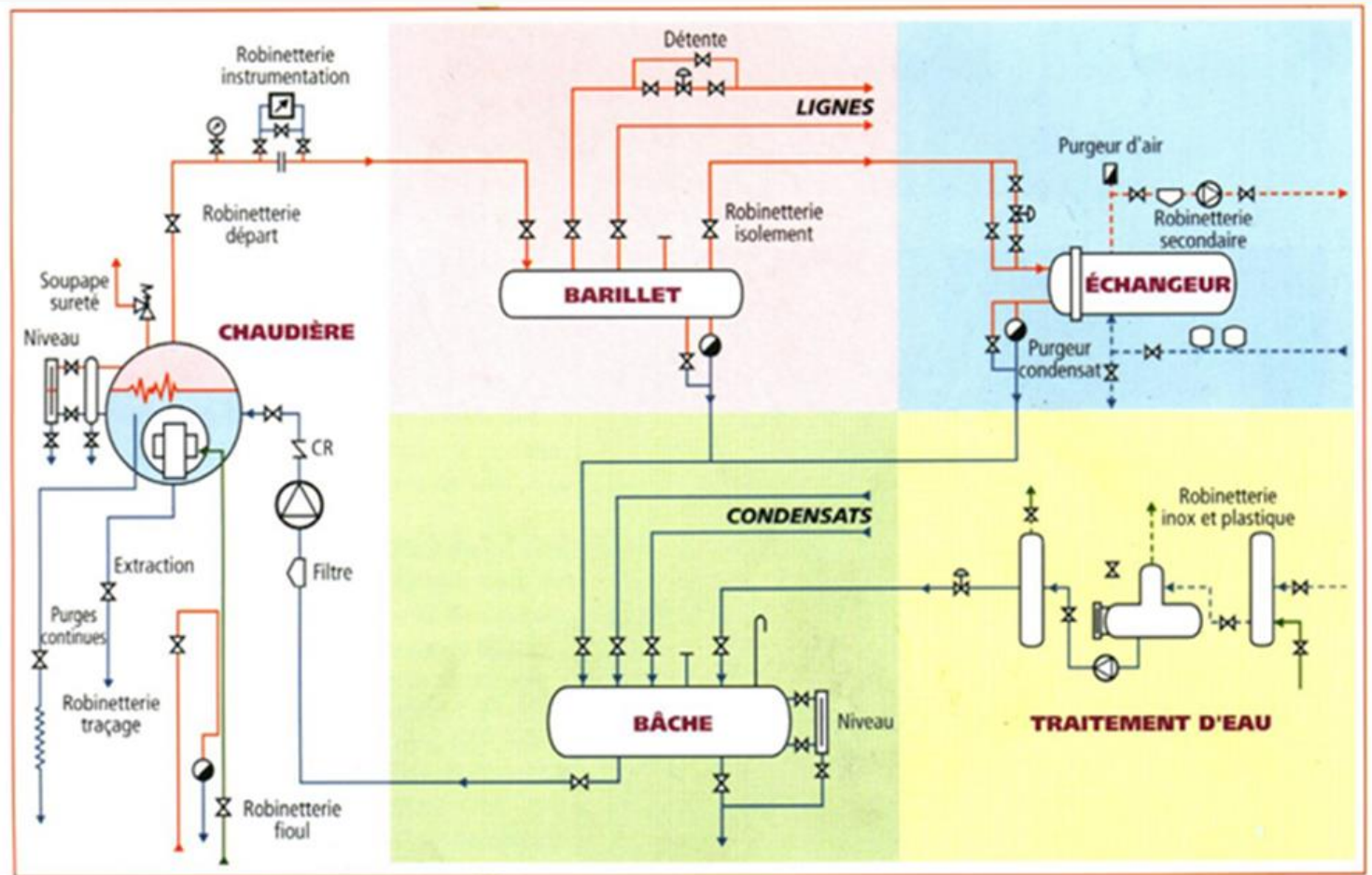
Aspects liés à la conception d'un réseau
vapeur

Introduction

La pérennité de la boucle vapeur, très sensible à la corrosion et à l'entartrage dépend:

- Du traitement de l'eau
- De la production .



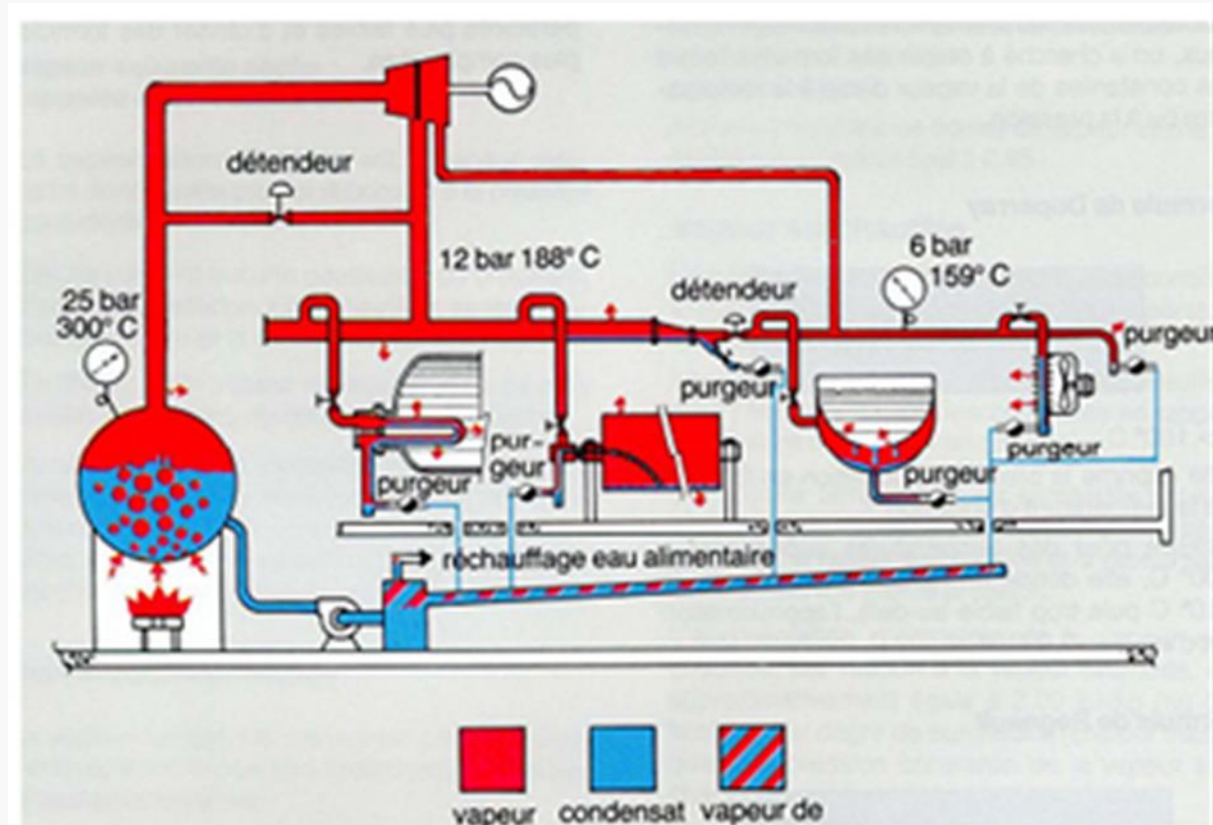


❑ La vapeur : distribuée via un réseau de distribution.

❑ La conception du réseau :

➤ bonne qualité de vapeur sèche.

➤ Bonne rendement



D'où

- **Nécessité de purger le système de distribution et le système d'utilisation (coup de bélier, réhumidification vapeur....)**
 - **Nécessité d'éliminer l'air et le CO₂ (Nuisance transfert thermique, corrosion)**
-

VAPEUR HUMIDE

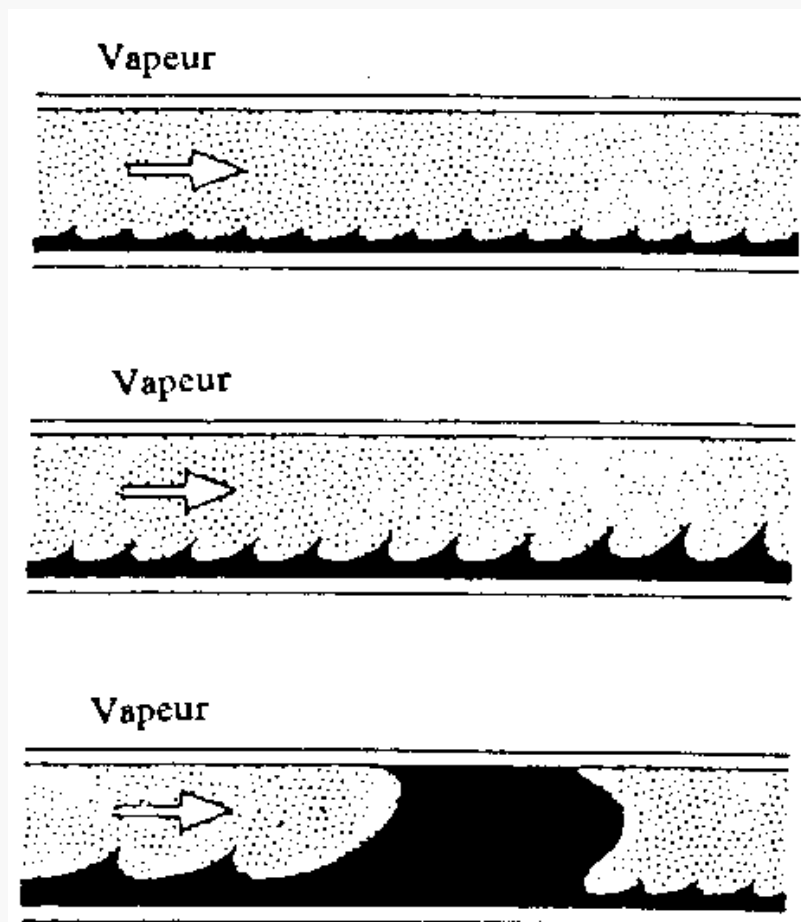
❑ Origines:

- Mauvaise purge
- Mauvaise isolation
- Conditions d'opérations de la chaudière

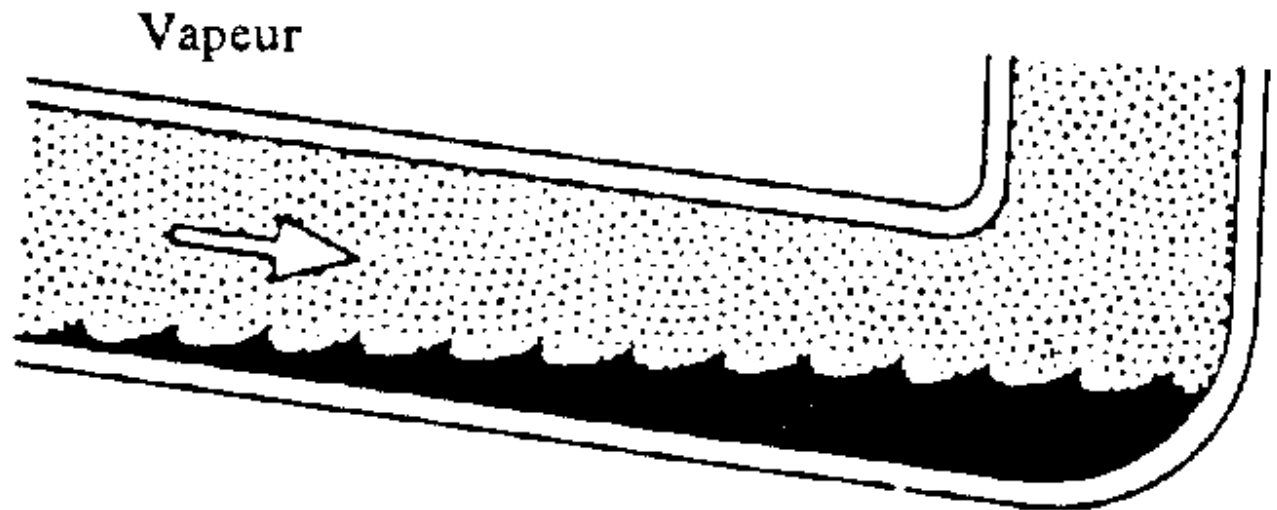
❑ Nuisibilité:

- Bouchons d'eau
 - Réduction de l'espace de passage de la vapeur
 - Affaiblissement de la structure du réseau
 - Transmission de la chaleur
-

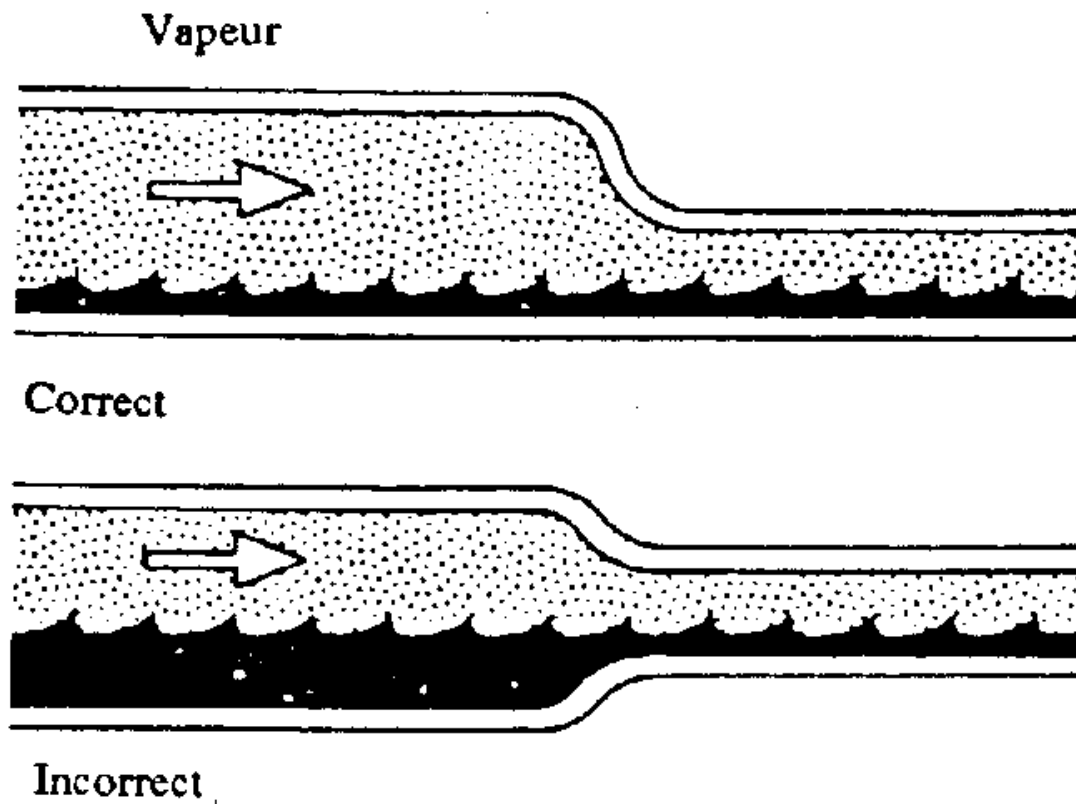
ACCUMULATION DES CONDENSATS DANS LA TUYAUTERIE DE LA VAPEUR



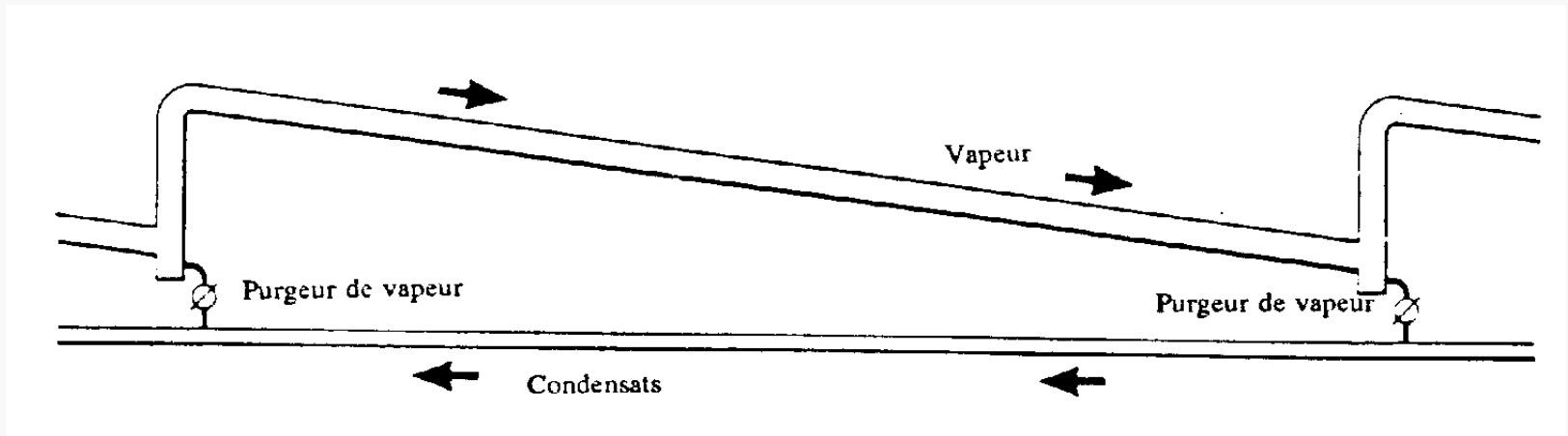
**REDUCTION DE L'ESPACE DE PASSAGE DE LA
VAPEUR PAR L'ACCUMULATION DES CONDENSATS**



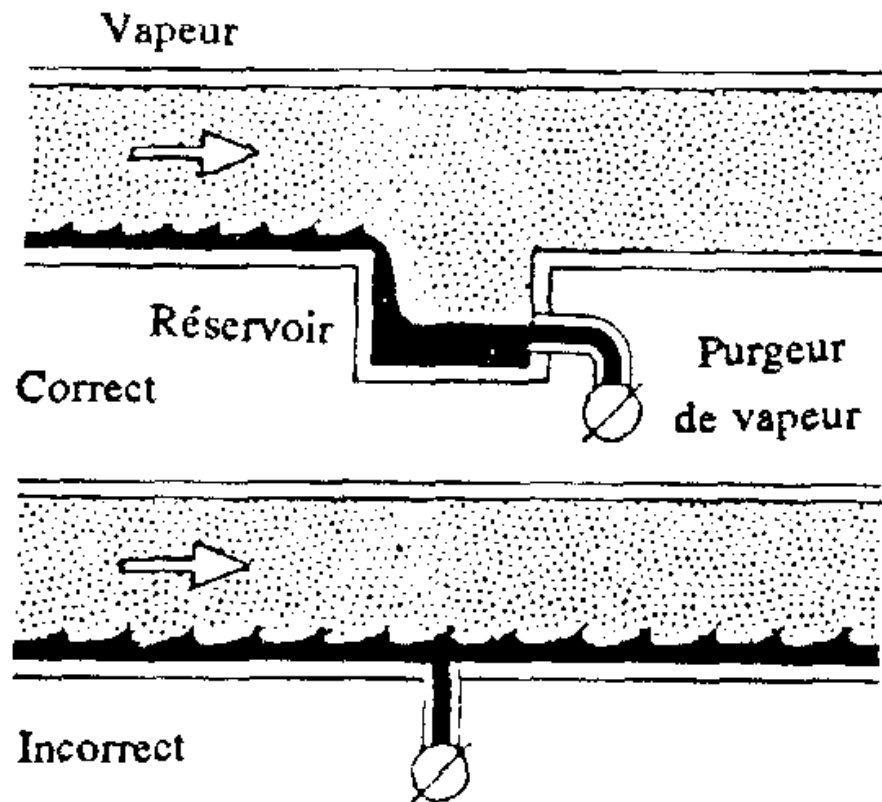
RETRECISSEMENT ADEQUAT DE LA TUYAUTERIE



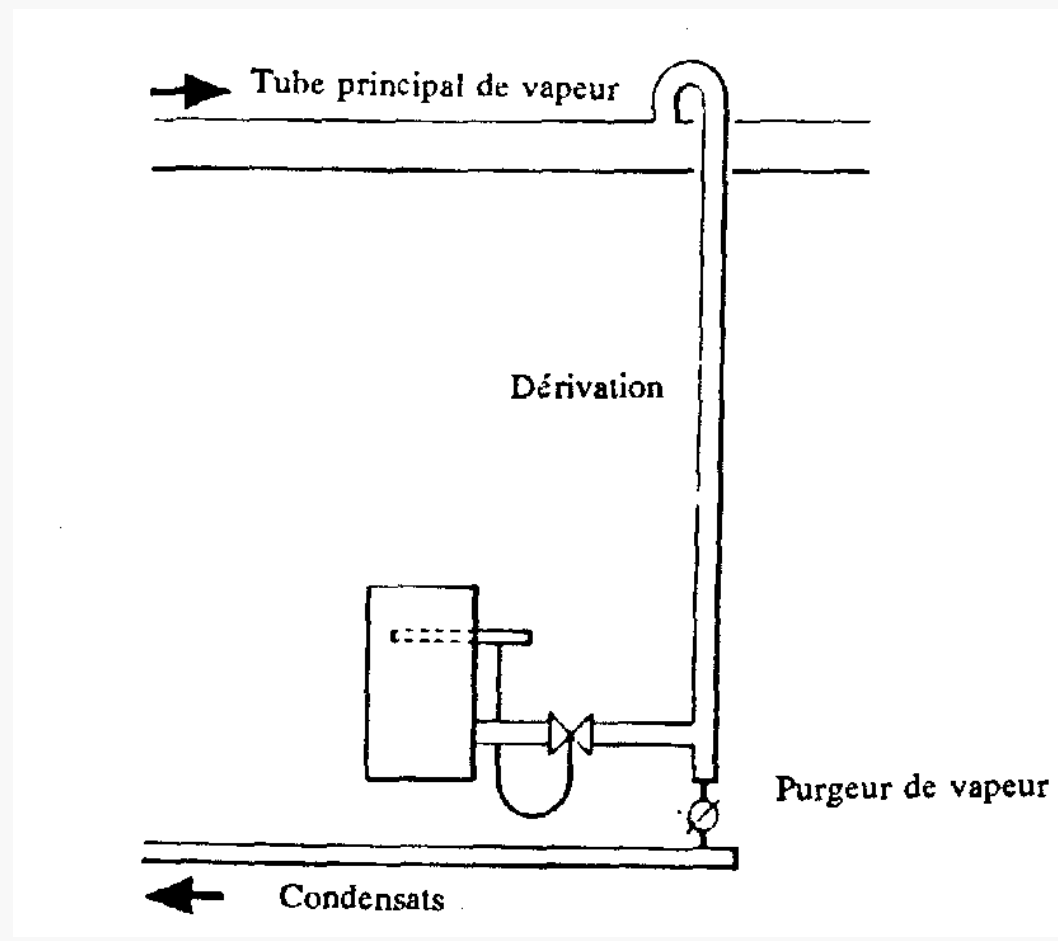
INSTALLATION ADEQUATE DES PURGEURS SUR UNE LONGUE TUYAUTERIE



DRAINAGE CONVENABLE DE LA TUYAUTERIE DE LA VAPEUR



EMPLACEMENT CORRECT D'UN POINT DE PURGE EN AMONT D'UN POSTE D'UTILISATION



L'AIR DANS LE RESEAU VAPEUR

➤ Les origines de l'air:

- Infiltration d'air pendant les arrêts
- O₂ et CO₂ dissous dans l'eau alimentaire
- Libération du CO₂ par les procédés de traitement d'eau

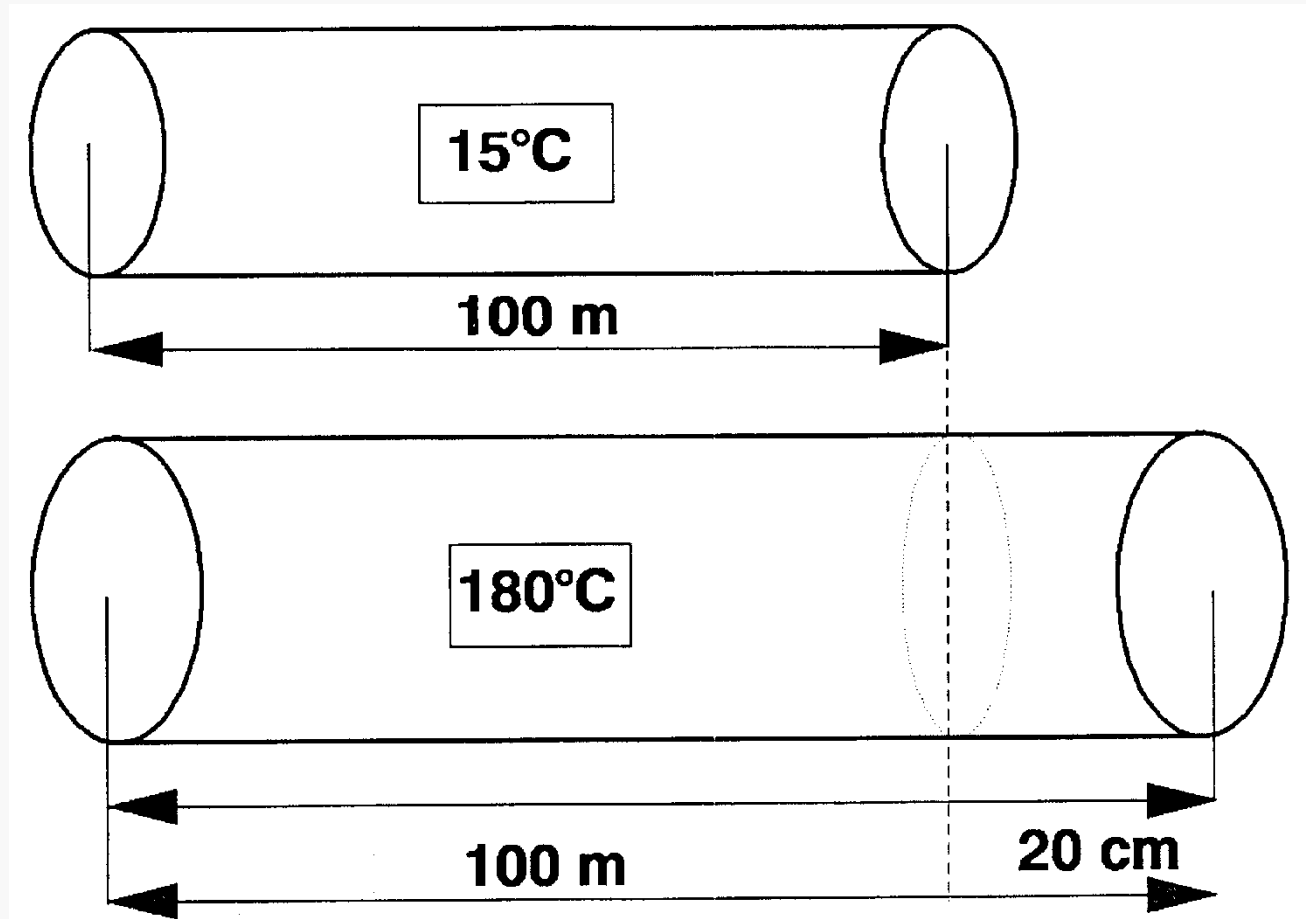
➤ Nuisibilité de l'air:

- Ralentissement de la distribution de la vapeur
 - Zones froides dans le corps de chauffe
 - Déformations et fatigue de la tuyauterie
 - Corrosion
 - Effet néfaste sur la transmission de la chaleur
-

EVACUATION DE L'AIR

- ✓ Désaération manuelle
 - ✓ Désaération automatique
 - ✓ Purgeurs d'air
 - ✓ Installation des purgeurs pour:
 - Augmenter la vitesse de désaération
 - Évacuer l'air des grands espaces
 - Enlever le risque de formation de pochettes froides
-

DILATATION DES TUYAUTERIES



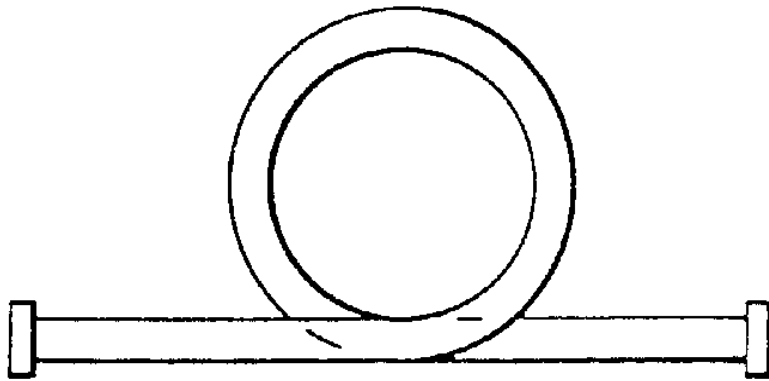
DILATATION DES TUYAUTERIES EN FONCTION DE LA TEMPERATURE

Température finale	Dilatation par 30m
66°C	19mm
93°C	29mm
121°C	41mm
149°C	50mm
177°C	61mm
204°C	74mm
232°C	84mm
260°C	97mm

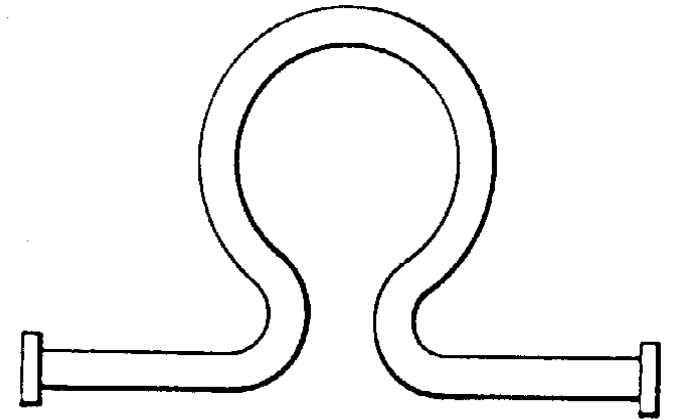
CLASSIFICATION DES DIFFERENTS TYPES DE COMPENSATION

- ✓ Le compensateur à boucle
 - ✓ Le lyre de dilatation (ou boucle ouverte)
 - ✓ Le joint coulissant
 - ✓ Le tube plissé ou à raccord de dilatation à soufflet
-

RACCORD DE DILATATION

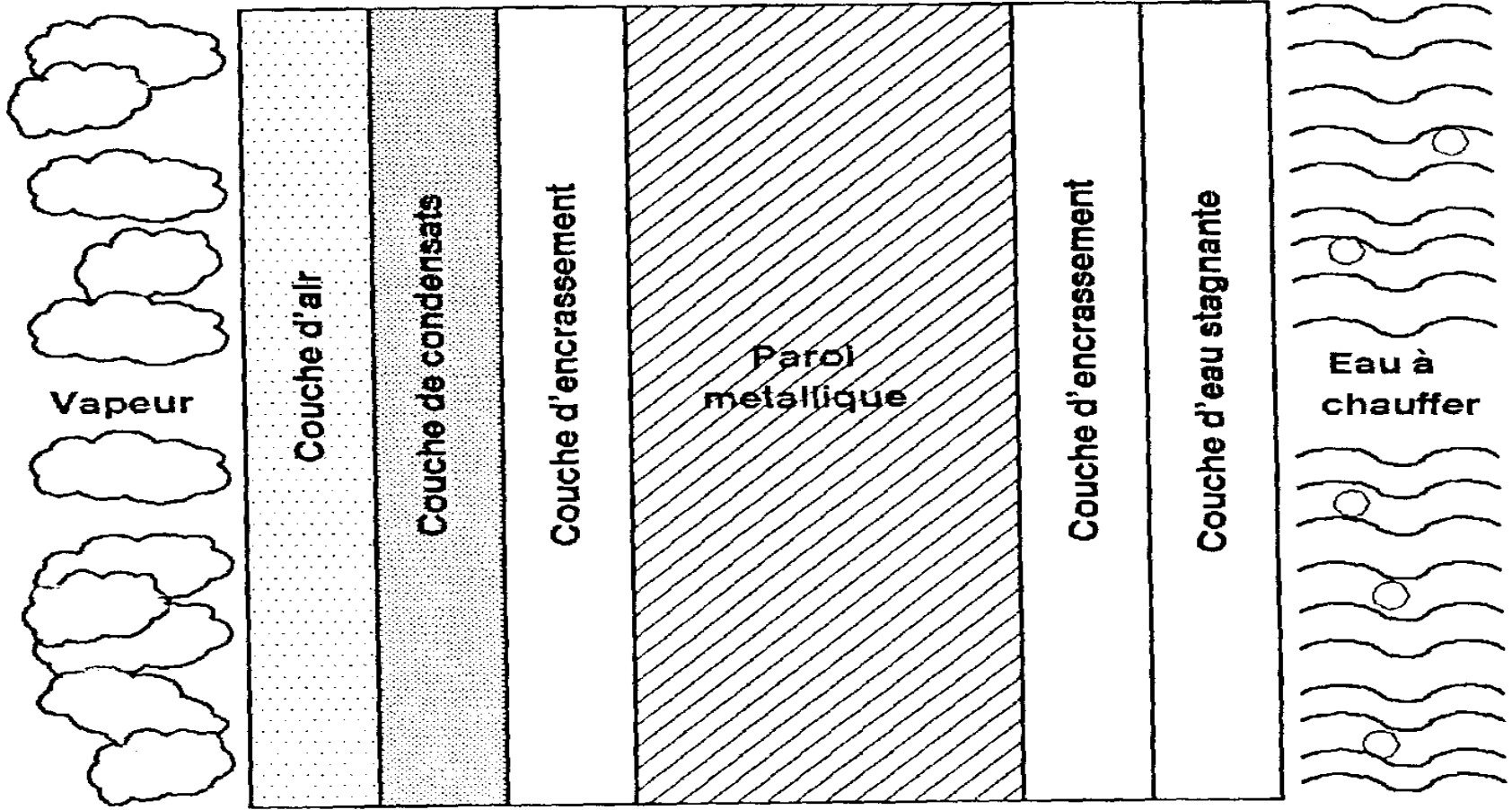


Boucle fermée

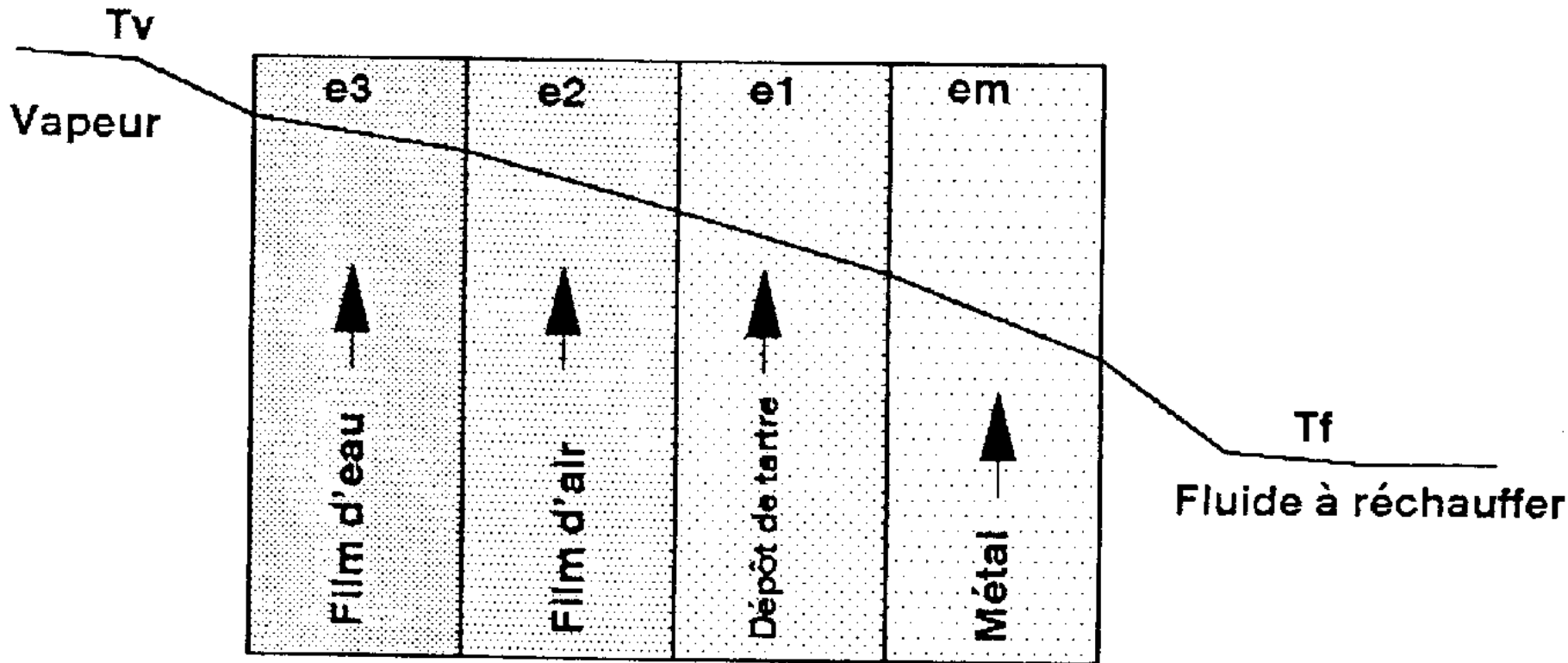


Boucle ouverte

COUCHES D'AIR, D'EAU ET D'ENCRASSEMENT PRESENTANT DIFFERENTES RESISTANCE AU TRANSFERT DE CHALEUR



ECHANGE DE CHALEUR ENTRE LA VAPEUR ET L'EAU, DISTRIBUTION DES TEMPERATURES



Atelier de Formation

3^{ème} partie : Types de purgeurs

[Retour au menu](#)

PURGEURS DE CONDENSATS

- Pourquoi
 - Rôle d'un purgeur
 - Types et caractéristiques des purgeurs
 - Principes de fonctionnement
 - Sélection des purgeurs
 - Diagnostic des purgeurs
-

ROLE D'UN PURGEUR DE CONDENSAT

- ✓ Évacuer immédiatement des condensats
 - ✓ Évacuer l'air et les autres incondensables
 - ✓ Éviter les pertes de vapeur
-

TYPES DE PURGEURS

☞ Thermostatiques

☞ Mécaniques

☞ Thermodynamiques

PURGEURS THERMOSTATIQUES

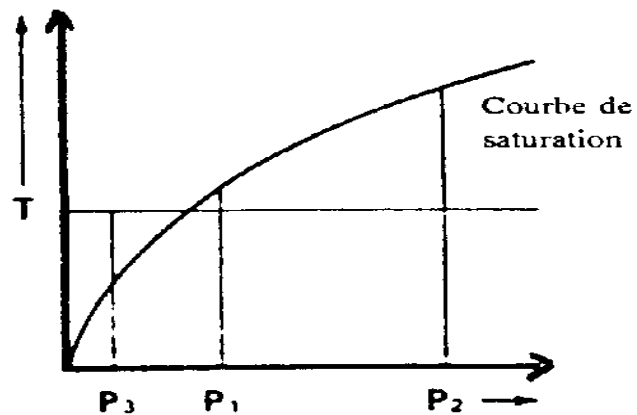
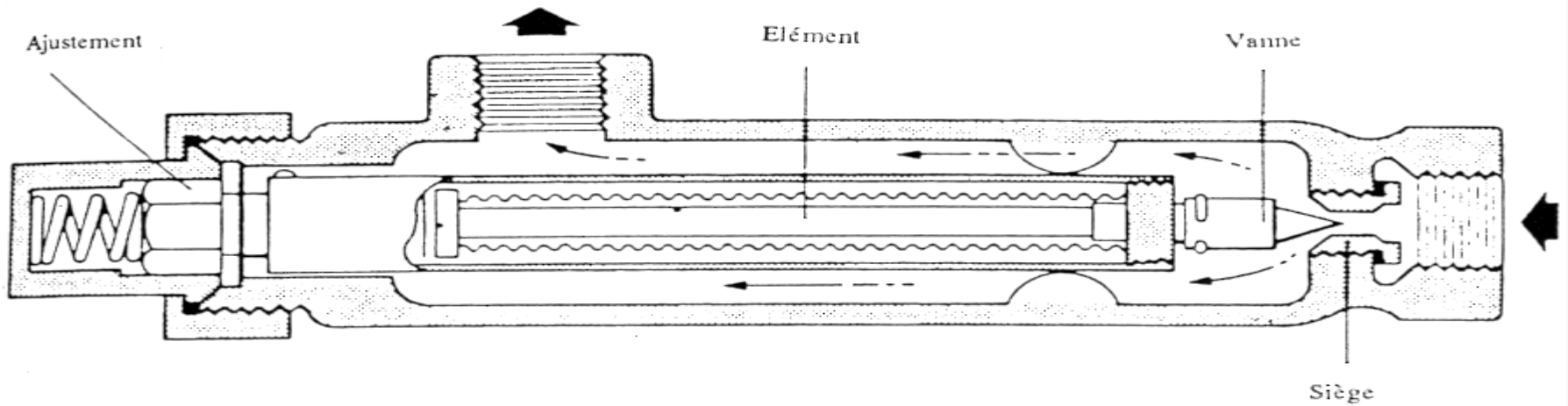
- ✓ Purgeur à dilatation de liquide
- ✓ Purgeur à tension de vapeur
- ✓ Purgeur bimétallique

*Différence de température entre la
vapeur (saturée) et les condensats
sous-refroidis*

PURGEUR THERMOSTATIQUE A DILATATION DE LIQUIDE

- ✓ Élément rempli de liquide à coefficient de dilatation élevé
 - ✓ L'expansion et la contraction engendrent des mouvements de fermeture et d'ouverture d'un clapet
 - ✓ Le mécanisme consiste à maintenir la valve ouverte à une température particulière
-

PURGEUR THERMOSTATIQUE A DILATATION DE LIQUIDE ET SA COURBE DE REPONSE

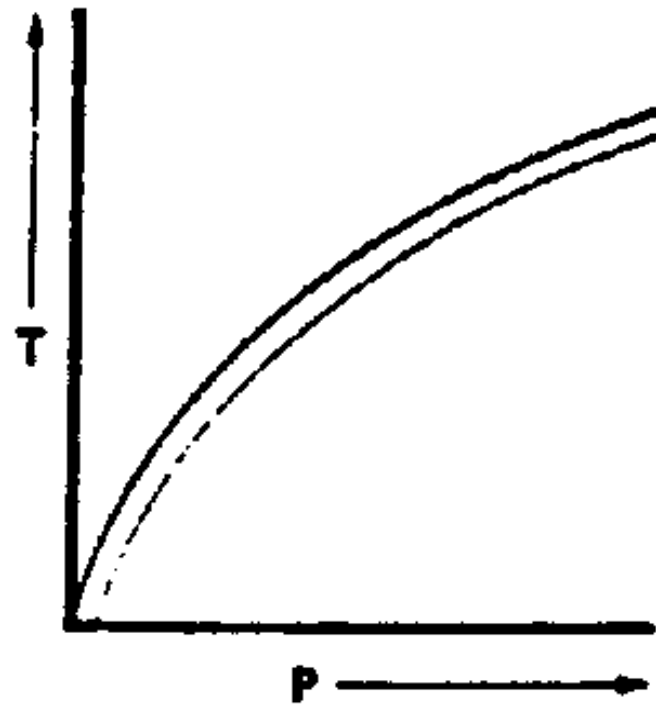
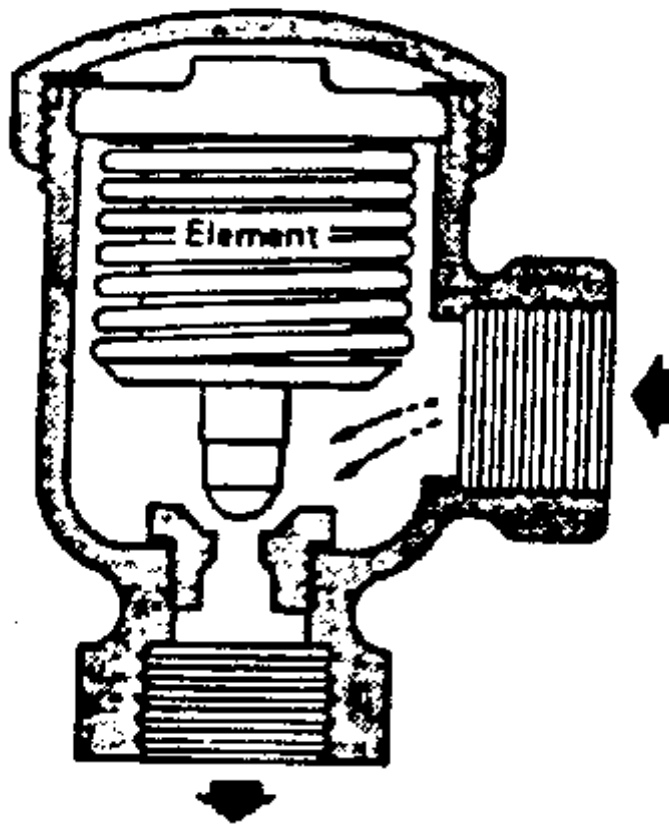


PURGEUR THERMOSTATIQUE A TENSION DE VAPEUR

- Élément rempli de liquide dont le point d'ébullition est inférieur à celui de l'eau
- Le liquide à base d'alcool s'évapore à la pression de la vapeur, le soufflet se dilate et ferme le clapet
- Les condensats se refroidissent, le liquide se condense; le soufflet se contracte et ouvre le clapet
- Ajustement automatique pour des variations de pression de vapeur

$$(\Delta P_{\text{vapeur}} - \Delta P_{\text{soufflet}})$$

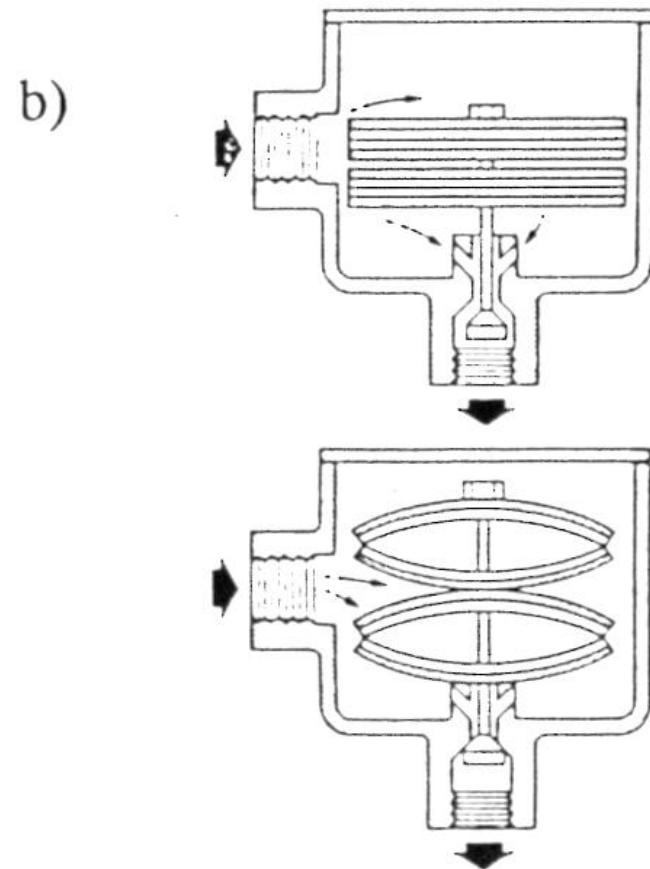
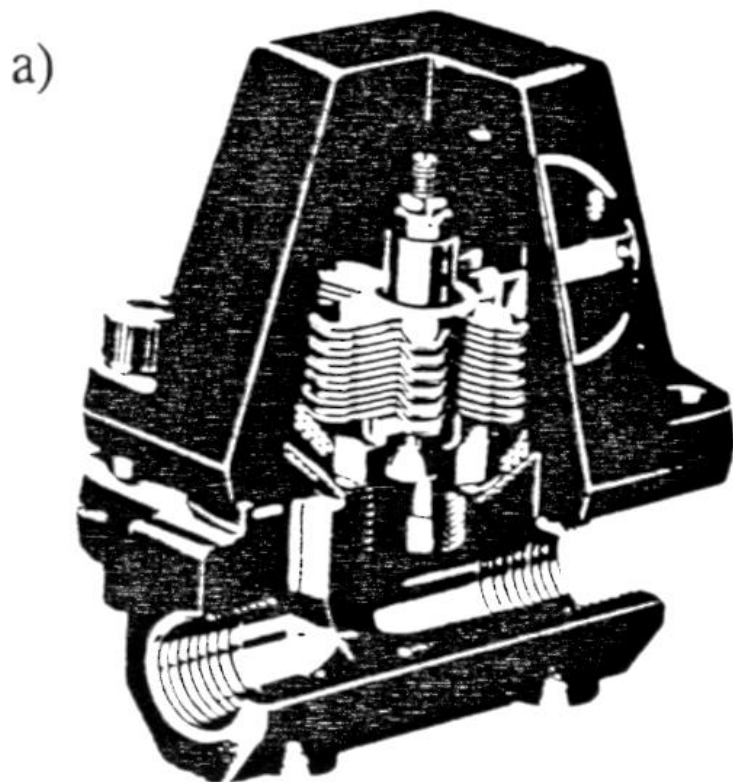
PURGEUR THERMOSTATIQUE A TENSION DE VAPEUR ET SA COURBE DE REPONSE



PURGEUR THERMOSTATIQUE BIMETALLIQUE

- Dispositif constitué de lames à différents métaux, qui se déforment sous l'effet de la température
 - Les lames se déforment sous l'effet de la chaleur de la vapeur et ferment le clapet
 - Le sous refroidissement des condensats agit sur les lames qui se contractent et ouvrent le clapet
 - Pour des pressions variables; plusieurs lames bimétalliques doivent être utilisées pour fermer suivant la courbe de saturation de la vapeur
-

PURGEUR THERMOSTATIQUE BIMETALLIQUE



PURGEURS MECANIQUES

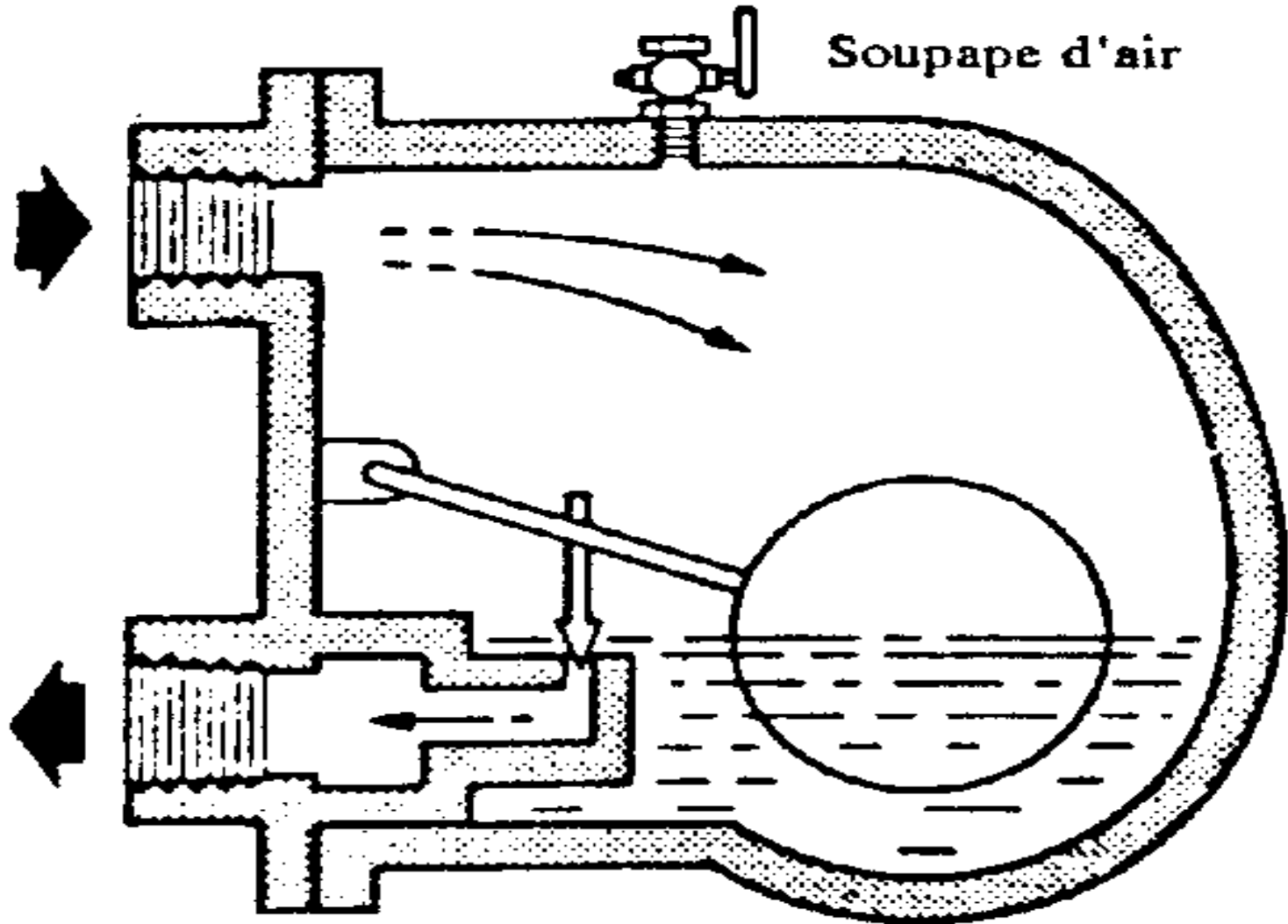
- ✓ Purgeur à flotteur fermé
- ✓ Purgeur à flotteur inversé ouvert

La différence de densité entre la vapeur, les condensats et le niveau des condensats dans le purgeur sont à l'origine du principe de fonctionnement

PURGEURS MECANIQUE A FLOTTEUR FERME

- Flotteur sphérique fermé actionne le clapet en fonction du niveau d'eau dans le purgeur
 - Le débit de l'évacuation est automatiquement régulé avec celui des condensats qui arrivent
 - L'air est évacué à l'aide d'un évent thermostatique incorporé dans le corps du purgeur
-

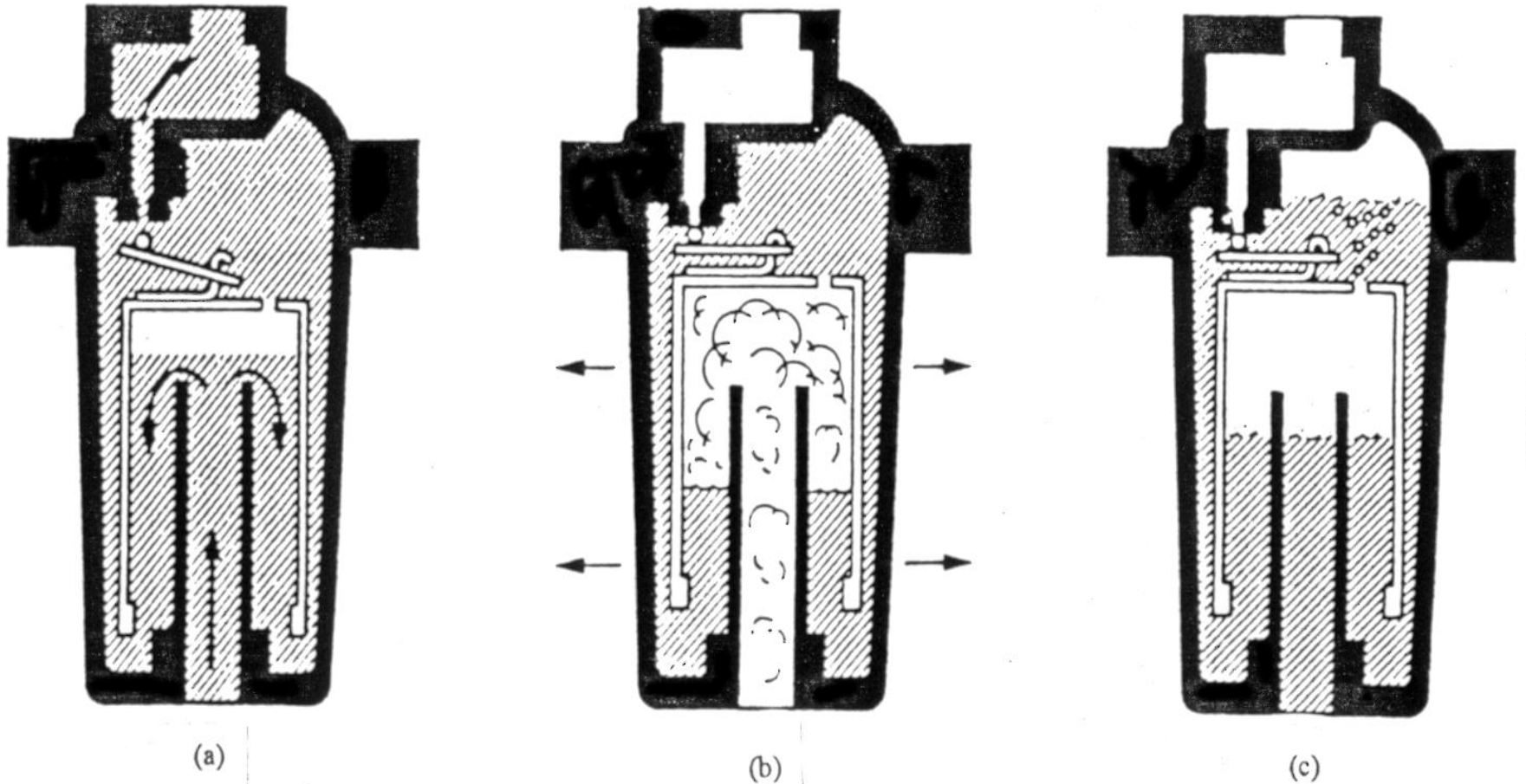
PURGEUR MECANIQUE A FLOTTEUR FERME



PURGEUR MECANIQUE A FLOTTEUR INVERSE OUVERT

- Flotteur inversé ouvert actionne le clapet en fonction du niveau des condensats dans le flotteur
 - Cycle de fonctionnement intermittent
-

FONCTIONNEMENT DU PURGEUR A FLOTTEUR INVERSE OUVERT



PURGEURS THERMODYNAMIQUES

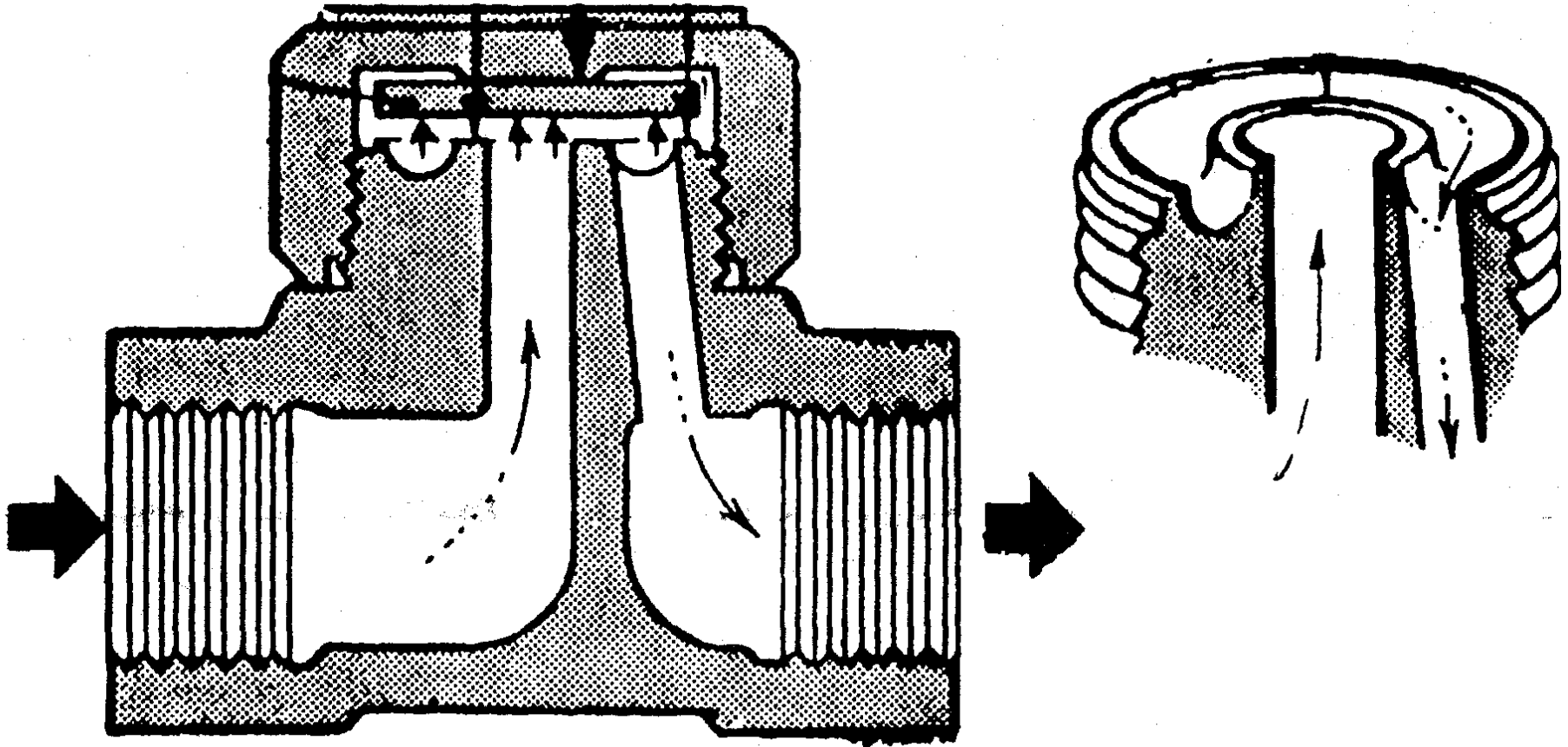
- ✓ Purgeur à disque
- ✓ Purgeur à impulsion
- ✓ Purgeur à chicane ou à tuyère

Le principe de fonctionnement se base sur la cinétique de la vapeur et l'auto-évaporation des condensats

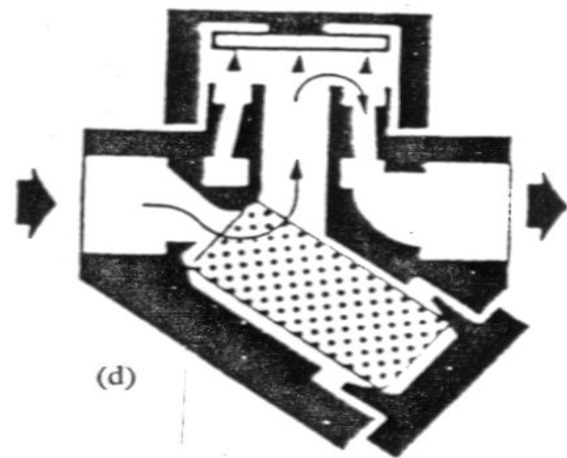
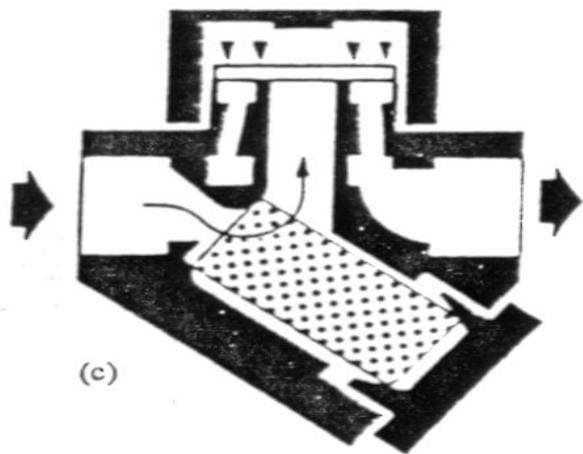
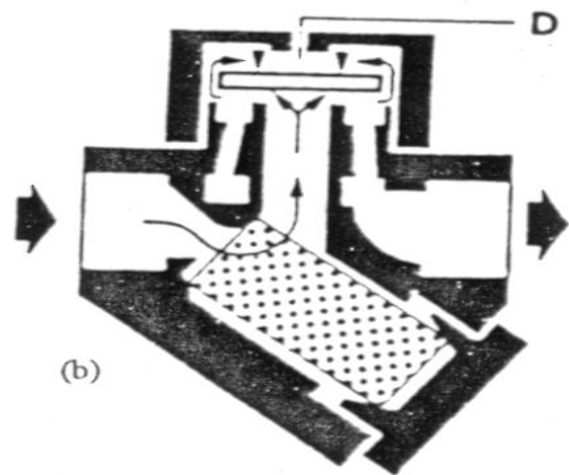
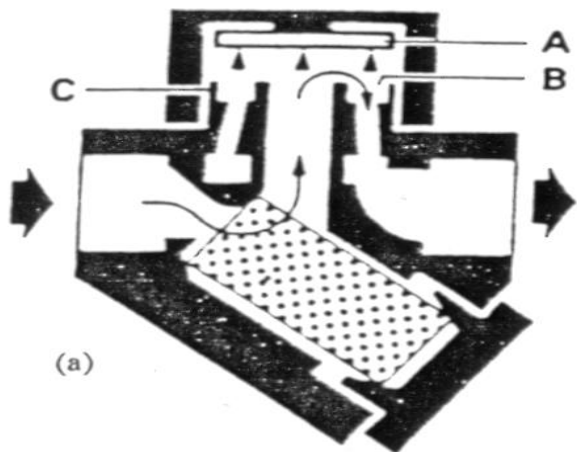
PURGEUR THERMODYNAMIQUE A DISQUE

- Le débit des condensats est régulé par le mouvement du disque en fonction du passage des condensats
 - Le disque se positionne (fermé ou ouvert) en fonction de la variation de la pression de part et d'autre
-

PURGEUR THERMODYNAMIQUE A DISQUE



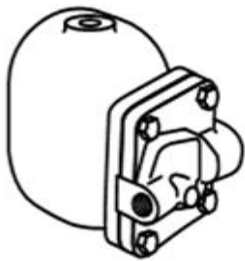
FONCTIONNEMENT D'UN PURGEUR THERMODYNAMIQUE



Atelier de Formation

3^{ème} partie (suite): Sélection des purgeurs

[Retour au menu](#)



Purgeur à flotteur fermé

Un flotteur au moyen d'un levier ferme ou ouvre le clapet suivant la montée du niveau du condensat. L'ouverture du clapet sera donc proportionnelle au débit du condensat et n'est pas affectée par des changements de température ou de pression. Il évacue l'air librement au moyen d'un élément thermostatique incorporé qui se contracte en ouvrant l'orifice de sortie approprié et, en présence de vapeur, se dilate en le fermant. L'évacuation se fait sans interférence avec d'autres organes de régulation s'ils existent.

Avantages

Evacuation de l'air immédiate et constante. A débit très faible ou très important le fonctionnement reste satisfaisant. Il n'est pas affecté par de larges fluctuations de la pression. L'exécution avec purgeur d'air bimétallique en permet l'usage avec la vapeur surchauffée.

Inconvénients

Le flotteur peut être endommagé par les coups de bélier et vibrations. Sensible au gel, à moins d'appliquer un dispositif automatique de vidange.



Purgeur à flotteur inversé ouvert

Le purgeur à flotteur inversé ouvert se compose essentiellement d'une enceinte constituée par le corps et le couvercle dans laquelle se déplace un flotteur dont les mouvements entraînent l'ouverture et la fermeture d'un clapet par l'intermédiaire d'un mécanisme à levier. La vapeur arrivant sous le flotteur ouvert le remplit et chasse l'eau qu'il contenait. Le poids relatif du flotteur diminue, il se soulève fermant ainsi le clapet ; à l'arrivée du condensat, la vapeur, n'étant plus renouvelée sous le flotteur, se condense. Le niveau d'eau à l'intérieur du flotteur monte, le poids du flotteur augmente, il tombe au fond du purgeur en ouvrant le clapet, permettant ainsi l'évacuation du condensat.

Avantages

L'usage est possible avec la vapeur surchauffée en prenant quelques précautions de montage. Bonne tenue aux coups de bélier. Filtre incorporé dans la plupart des modèles. Constitution très robuste, mécanisme simple, peu sujet à problème.

Inconvénients

La purge d'air n'est faite qu'en faible quantité et lentement. Sensibilité au gel. Si les conditions sont telles que le joint d'eau puisse se revaporiser, ces purgeurs peuvent donner lieu à une fuite de vapeur, mais par une installation correcte on peut éviter cet inconvénient.



Purgeur thermodynamique

Il comporte un corps, un chapeau, un disque libre et deux sièges annulaires. En exerçant une pression dans l'orifice d'entrée l'air et l'eau soulèvent le disque et s'échappent librement par l'orifice de sortie. Dès que la vapeur succède, par sa grande vitesse d'écoulement, elle crée une dépression sous la face inférieure du disque et venant frapper la périphérie du corps, élève la pression dans la chambre supérieure. La pression dans la chambre qui s'exerce sur toute la face supérieure du disque détermine une force qui excède l'action de la pression à l'entrée et de la contre-pression dans l'espace annulaire sous le disque. Lorsque la pression dans la chambre décroît par la condensation, la poussée à l'orifice d'entrée soulève à nouveau le disque et le cycle recommence.

Avantages

Compact, simple, léger, robuste, pas de réglage. Fonctionne dans toutes les positions. Insensible aux coups de bélier, à la vapeur surchauffée, aux vibrations et résistant aux condensats corrosifs. Corps insensible au gel, faible encombrement.

Inconvénients

La contre-pression admissible à la sortie est limitée à 80% de la pression amont pour les types standards, et à 50% de la pression amont avec les modèles pour haute pression.



Purgeur thermostatique à pression équilibrée

L'élément thermostatique est constitué d'un soufflet métallique partiellement rempli d'un mélange alcoolisé qui développe une tension de vapeur grandissante et supérieure à la pression de vapeur régnante autour de l'élément. Cette pression interne dilate l'élément en fermant le passage du siège et la vapeur ne peut s'échapper. Le condensat en se refroidissant abaisse la température de l'élément qui se contracte, laisse passer le condensat mais dès que sa température approche celle de la vapeur, le purgeur se referme immédiatement. La purge d'air s'effectue automatiquement à la mise en service et par la suite, l'air en se refroidissant dans le purgeur en détermine l'ouverture et est évacué.

Avantages

Aucun réglage. Léger et peu encombrant. Insensible au gel. Evacue l'air librement même au moment du plus grand afflux de condensat. Fonctionne dans toutes les positions.

Inconvénients

L'élément thermostatique craint les coups de bélier importants. Sa constitution le rend parfois sensible aux condensats corrosifs. Ne peut pas être soumis à la vapeur surchauffée.



Purgeur thermostatique bimétallique

Un élément bimétallique (lame faite de deux métaux à coefficients de dilatation différents) actionne le clapet qui est positionné en aval du siège : l'effort développé par l'élément bimétallique doit agir contre la pression existante dans le purgeur pour effectuer la fermeture. Si l'élément est environné de vapeur ou condensat à haute température, la déflexion de l'élément cause la fermeture du clapet. Dès que le condensat se refroidit, le clapet s'ouvre aidé par la poussée de la pression.

Avantages

Robuste, de faible encombrement en regard de ses possibilités d'évacuation, peut être utilisé en vapeur surchauffée. Résiste aux coups de bélier, aux condensats corrosifs et au gel. Evacue l'air librement.

Inconvénients

Ne convient pas dans les cas où le condensat doit être évacué à sa température de formation. L'élément bimétallique, par son inertie, n'apporte pas de réponse immédiate à des variations rapides de température ou de pression.

**GUIDE DE SELECTION DES PURGEURS DE VAPEUR
TABLE 8**

APPLICATION	PREMIER CHOIX	DEUXIÈME CHOIX
Serpentins de chauffage à air Basse et moyenne pression Haute pression	À flotteur et thermostatique À flotteur et thermostatique
Chauffe-eau (instantanée)	À flotteur et thermostatique
Chauffe-eau (stockage)	À flotteur et thermostatique
Échangeurs de chaleur à calandre multitubulaire Petit — haute pression	Thermostatique Thermo-Matic Thermostatique à tension de vapeur	À flotteur et thermostatique
Gros — basse et moyenne pression Rebouilleurs	À flotteur et thermostatique À flotteur et thermostatique Thermostatique Thermo-Matic
Humidificateurs à vapeur	À flotteur et thermostatique	À flotteur inversé ouvert
Réceptacles à chemise de vapeur Haute pression	Thermostatique Thermo-Matic	À flotteur et thermostatique
Basse pression	Thermodynamique À flotteur et thermostatique Thermodynamique
Mamelon de purge de la conduite à vapeur	À flotteur et thermostatique
0- 15 PSIG	Thermodynamique	À flotteur et thermostatique
16-125 PSIG	Thermodynamique	À flotteur inversé ouvert
126-600 PSIG	Thermostatique à bilames	Thermodynamique
Haute pression — surchauffe	Thermostatique à tension de vapeur	Thermodynamique
Serpentins à vapeur (chauffage à air)	Thermostatique Thermo-Matic
Radiateurs à vapeur	Thermostatique à tension de vapeur	Thermodynamique
Séparateurs de vapeur	À flotteur et thermostatique
0- 15 PSIG	Thermodynamique	À flotteur et thermostatique
16-125 PSIG	Thermodynamique	À flotteur inversé ouvert
126-600 PSIG	Thermodynamique	À capsule thermostatique
Tube de réchauffage à vapeur	Thermodynamique
Serpentins de réservoir de stockage	Thermostatique à bilames	Thermodynamique
Serpentins de chauffage submergés	À capsule thermostatique	Thermodynamique
Haute pression	Thermostatique à bilames	Thermostatique Thermo-Matic
Basse et moyenne pression	Thermostatique Thermo-Matic	À flotteur inversé ouvert
Aérothermes	Thermodynamique	Thermostatique à tension de vapeur
Stérilisateurs	À flotteur et thermostatique	Thermostatique à tension de vapeur
Autoclaves	Thermodynamique	Thermostatique à tension de vapeur
Sécheurs	Thermodynamique	À flotteur inversé ouvert
Presses à plaques	Thermodynamique	À flotteur et thermostatique
	Thermodynamique	Thermostatique à tension de vapeur

NOTE: Des conditions de service anormales ou une possibilité de corrosion importante peuvent influencer le choix d'un purgeur de vapeur pour une application donnée.

SELECTION DES PURGEURS

PRINCIPAUX CRITERES

1. Évacuation des incondensables
 2. Évacuation des condensats
 3. Résistance mécanique
 4. Efficacité thermique
 5. Sensibilité aux impuretés
-

1. EVACUATION DES INCONDENSABLES

Au démarrage des installations :

- Purgeurs thermostatiques (+)
 - Purgeurs à flotteur inversé ouvert (-)
 - Purgeur à flotteur fermé avec un évent thermostatique (-)
-

2. EVACUATION DES CONDENSATS

- ✓ Immédiate : Purgeurs mécaniques
 - ✓ Rapide : Purgeurs thermodynamiques
 - ✓ Lente : Purgeurs thermostatiques
-

3. RESISTANCE MECANIQUE

Vibrations et coups de bélier dans les lignes de distribution de la vapeur et de retour des condensats :

- Convenables:
 - Thermodynamique à disque (+)
 - Thermostatique à bilame (+)
 - Mécanique à flotteur inversé ouvert (+)

 - Déconseillés:
 - Mécanique à flotteur fermé (-)
 - Thermostatique (à soufflet) (-)
-

4. EFFICACITE THERMIQUE

- ❑ Pertes de chaleur au niveau d'un purgeur
 - ✓ Surface
 - ✓ Durant l'ouverture et la fermeture
 - ✓ Défaillance

 - ❑ En général, les purgeurs défaillants restent ouverts à l'exception du purgeur mécanique
-

5. SENSIBILITE AUX IMPURETES

➤ Clapet et siège

- ✓ Eau alimentaire des chaudières
 - ✓ Station de traitement
 - ✓ Filtres
-

Comparaison des paramètres opérationnels des purgeurs

Caractéristiques		<i>Cloche inversée</i>	<i>à flotteur fermé</i>	<i>thermodyn. à disque</i>	<i>Thermostatique</i>
A.	Mode d'opération	intermittent	continu	intermittent	intermittent
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 du CO2 à température de la vapeur	oui	non	non	Non
G.	Capacité de désaération à basse pression	mauvais	excellent	NR	bon
H.	Capacité de désaération au démarrage	moyen	excellent	mauvais	excellent

Comparaison des paramètres opérationnels des purgeurs

Caractéristiques		<i>Cloche inversée</i>	<i>à flotteur fermé</i>	<i>thermodyn. à disque</i>	<i>Thermostatique</i>
I.	Résistance pression en aval	excellent	excellent	mauvais	excellent
J.	Résistance aux basses températures	bon	mauvais	bien	excellent
K.	Capacité de drainage du système	excellent	moyen	excellent	bon
L.	Performance à faible charge	excellent	excellent	mauvais	excellent
M.	Manipulation des pochettes de condensats	rapide	rapide	retardé	retardé
N.	Manipulation des impuretés	excellent	mauvais	mauvais	moyen
O.	Taille physique	gros	gros	petit	petit
P.	Manipulation de la vapeur flash	moyen	mauvais	mauvais	mauvais
Q.	Problèmes mécaniques	ouvert	fermé	ouvert	

Atelier de Formation

3^{ème} partie (suite): Diagnostic purgeur

[Retour au menu](#)

COMMENT TESTER UN PURGEUR

1. Visuelle
2. Thermique
3. Sonore
4. Mesure de débit de vapeur

Précaution:

L'alimentation en vapeur est incontestable (purgeur à l'aval d'une vanne de régulation)

TEST D'UN PURGEUR

Méthode visuelle

- Purgeur transparent!
 - Hublots: sûr, à l'amont, à l'aval du purgeur (coût, vapeur de revaporisation)
- Si l'occasion d'évacuer à l'atmosphère se présente:
 - Jet droit bien cylindrique de vapeur vive → FUIITE
 - Cycle, condensat et vapeur de revaporisation → NORMAL
 - Filet d'eau continu et vapeur de revaporisation → REGULE
 - Filet d'eau et purge continue des condensats → SOUS-REFROIDI
 - Ne laisse rien passer → BLOQUE FERME ou FILTRE ENCRASSE

Limitée en présence de contre-pression

TEST D'UN PURGEUR

Méthode thermique

- Permet d'identifier si le purgeur est bloqué fermé ou non (alimentation en vapeur, filtre propre, rien ne s'oppose à l'évacuation des condensats)
 - Applicable pour les purgeurs thermostatiques
 - Limitée
-

TEST D'UN PURGEUR

Méthode sonore

✓ Purgeurs intermittents:

Thermodynamique (+)

A flotteur inversé ouvert (+)
(thermostatique)

✓ Tournevis

✓ Stéthoscopie classique

Contrôle du fonctionnement (cycles), mais non des fuites de vapeur (+)

Bruit environnant (-)

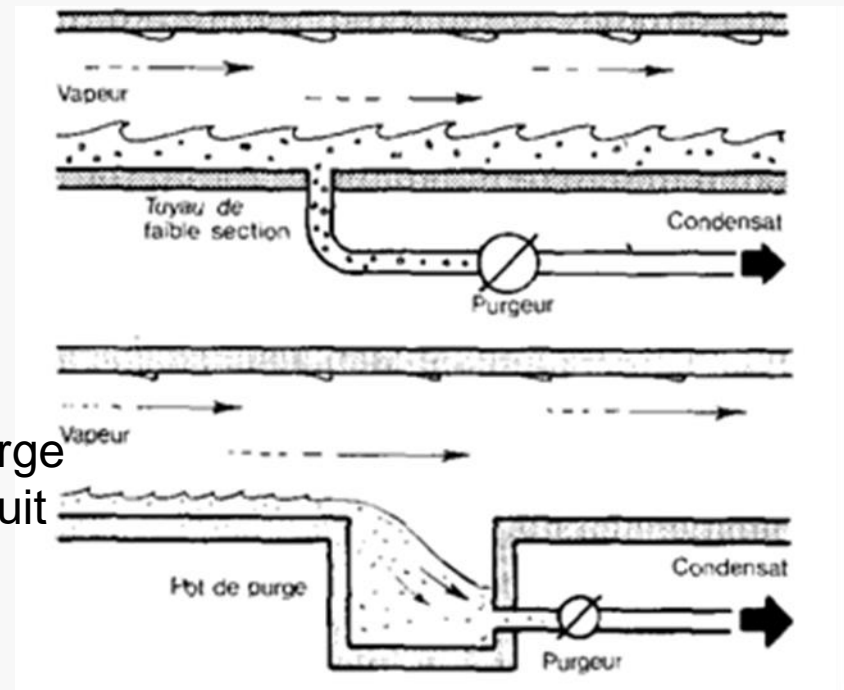
TEST D'UN PURGEUR

Résumé

	Temp.	Visuelle	Sonore	Banc d'essai
Bloqué ouvert	Non	Oui	Oui	Oui
Bloqué fermé	Oui	Oui	Oui	Oui
Fuite au début	Non	Oui	Oui	Oui
Fuite à la fin	Non	Non	Non	Oui
Retenue d'eau	Oui	Oui	Non	Oui
Quantité de vapeur perdue	Non	Non	Non	Oui
Commodité	Oui	Oui	Oui	Non

Dispositions à prendre en considération lors de l'installation

- Les pots de purge et les purgeurs doivent être installés plus bas que la tuyauterie
- Les purgeurs doivent être installés aux points bas des conduites de vapeur.
- Installer un purgeur par poste de purge ou par appareil afin d'éviter tout circuit préférentiel.



DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES (collecte de condensats)

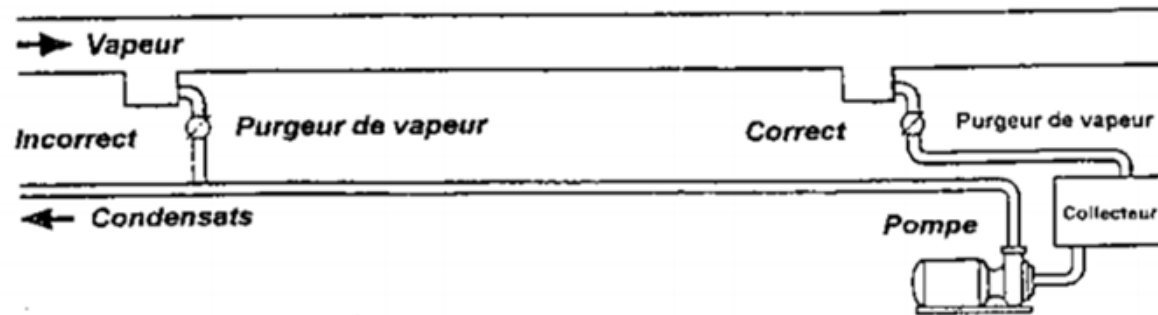
- Le système conçu : Pas de contre pression en aval des purgeurs.
 - Favoriser l'écoulement gravitaire des condensats, (Pente de *5mm/ml* vers la bêche de récupération).
 - Les tuyauteries doivent être dimensionnées pour évacuer la vapeur de ravaporisation, si elle n'est pas utilisée en sortie d'échangeur, à une vitesse de *20 à 25m/s*.
-

l'élévation des condensats

- Préférable de faire circuler les condensats sous l'effet de la pesanteur.
 - La pressions régnant à l'orifice d'évacuation peut permettre la circulation en pente des condensats.(chaque 0,11 bar de pression à la sortie purgeur permet aux condensats une élévation approximative de 1 mètre).
 - Si l'élévation est inévitable. Il faut lors de la sélection des purgeurs prendre en compte ce facteur important pour éviter les coups de bélier.
-

L'engorgement des conduites de retour des condensats

Raccordement des purgeurs au système des condensats

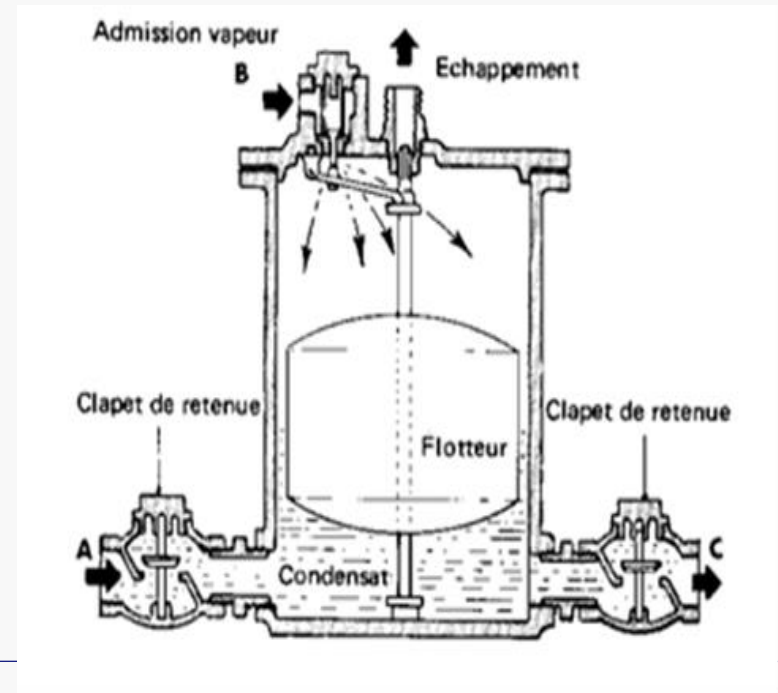


Transport des condensats

➤ Si les conduites sont longues,

(réduire au maximum les pertes de charge.)

Par élévation verticale suivie d'une descente inclinée de la conduite jusqu'à la bêche de récupération



Corrosion: Circuit retour condensats

- Le CO₂ va se dissoudre dans les condensats au cours de leur refroidissement (Favorisé par diminution de T) se transforme en acide carbonique corrosif. Le PH peut descendre à 4.
 - Le pouvoir corrosif de l'acide formé est accentué par la présence de l'oxygène.
-

Pour minimiser la corrosion il faut:

- 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 événements de désaération.
 - Maintenir une désaération adéquate des échangeurs thermiques.
 - Faire un traitement adéquat de l'eau d'alimentation.
-

LA DISTRIBUTION DE VAPEUR

Le dimensionnement des conduites de distribution vapeur s'effectue selon:

- La méthode basée sur la vitesse imposée.
- La méthode basée sur la perte de charge imposée.

Dans tous les cas, le calcul des pertes de charge est important pour pouvoir assurer pression et température aux postes d'utilisation

Circuit vapeur

Le dimensionnement des conduites est déterminé par deux facteurs :

- La pression initiale de vapeur dans la chaudière et la chute de pression admissible dans tout le système.(ne doit pas dépasser 20% de la pression maximale de chaudière).

 - La vitesse de la vapeur (30 à 60 m/s)
-

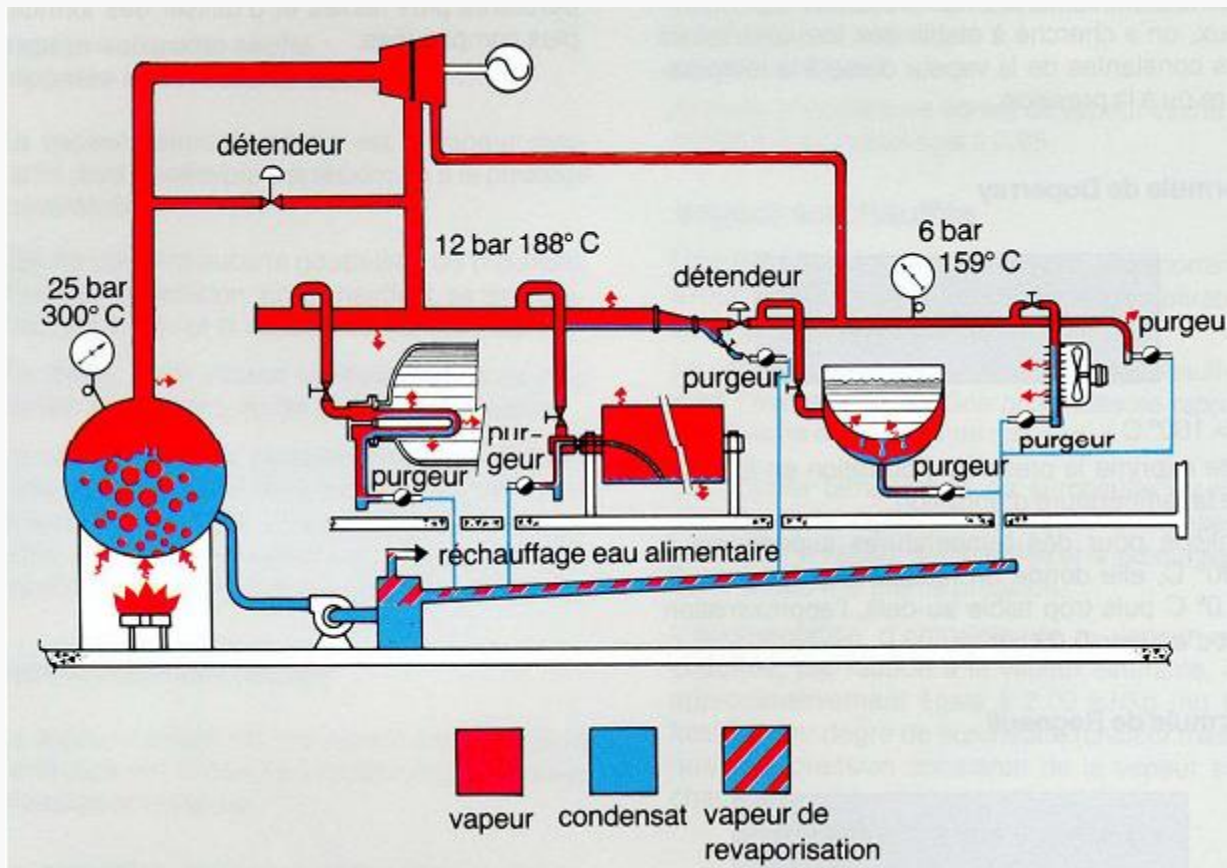
La méthode basée sur la vitesse

L'expérience pratique préconise :

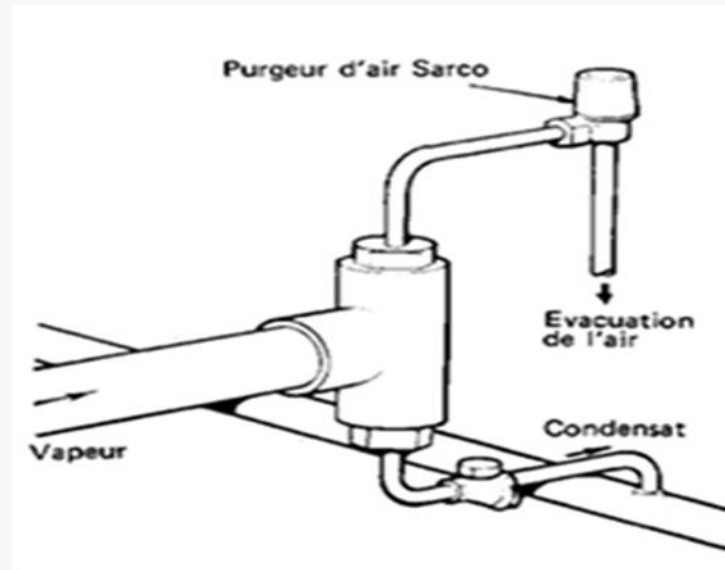
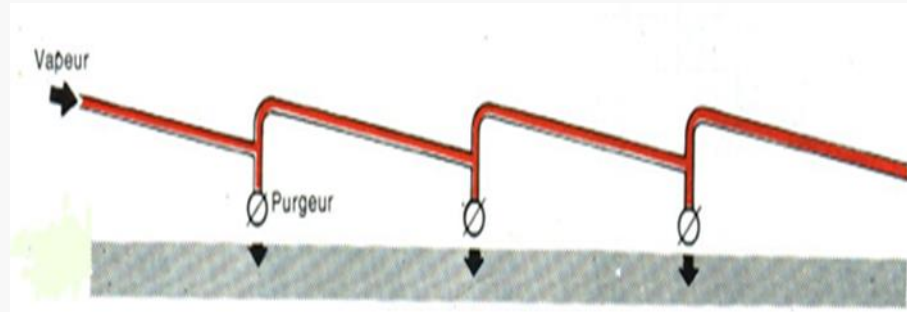
- Pour la vapeur sèche et saturée (25 à 35m/s). Sous peine de provoquer des problèmes de vibration et d'érosion, ces limites ne doivent pas être dépassées, particulièrement si la vapeur est humide (15 à 20m/s).
 - Pour la vapeur surchauffée : 40 à 60 m/s
 - Ces valeurs doivent être considérées comme maximales.
-

dispositions constructives (circuit vapeur)

- ❑ Il faut donc définir le chemin le plus court et le moins perturbé.
 - ❑ Les conduites de vapeur doivent être exécutés avec une pente descendante de pas moins que 125 mm pour chaque longueur de 30 mètres suivant la direction de l'écoulement de vapeur.
 - ❑ Les points de vidange doivent être fournis à des intervalles de 30-45 mètres le long de la principale
 - ❑ Des points de vidange doivent également être fournies aux points bas dans le secteur et où la principale vapeur augmente. Les emplacements idéaux sont le fond des joints de dilatation et avant les soupapes de réduction et d'arrêt.
-



Elimination des condensats et de l'air en ligne



- **Séparation des particules d'eau**

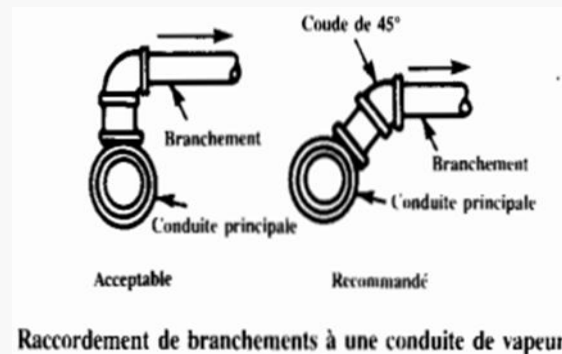
Les particules d'eau liquide entraînée par la vapeur lors de sa production, sont nuisibles à la plupart des équipements, que l'on protège par des séparateurs à défecteurs.

- **Détente de la vapeur**

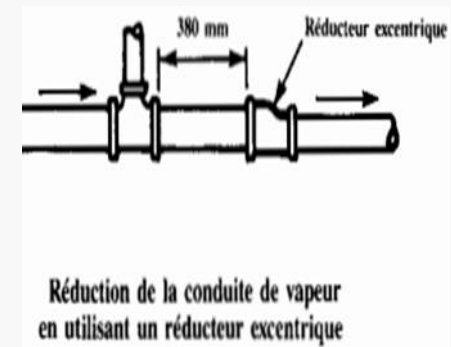
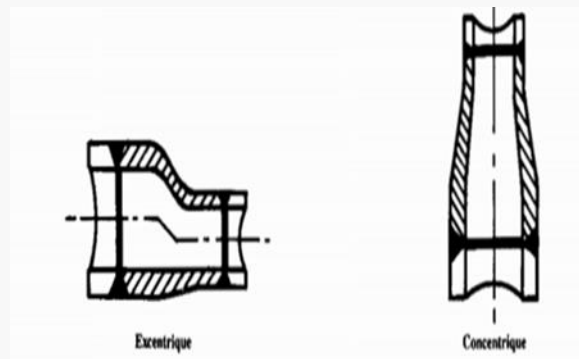
Le contrôle des pressions et températures à l'amont des échangeurs terminaux est effectué par des détendeurs régulateurs, qui d'ailleurs améliorent la qualité de la vapeur sèche puisqu'il s'y produit inévitablement une revaporisation, voire une surchauffe.

Raccordements de branchements

- ❑ Les raccords de branchements aux conduites principales de vapeur doivent être installés de préférence à 45° sur le dessus quoique les raccordements de 90° soient acceptables.



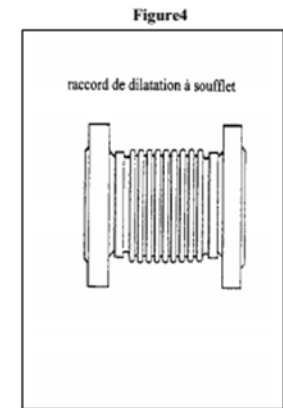
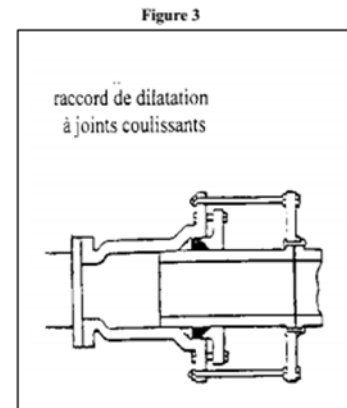
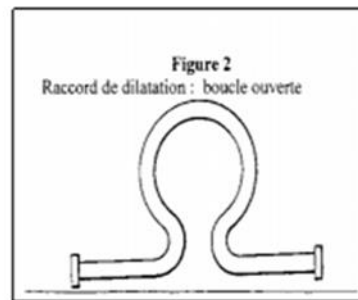
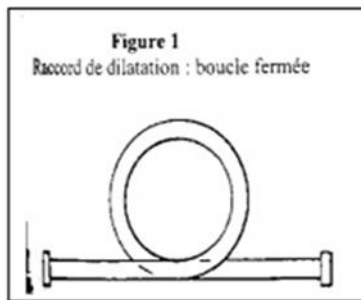
Réducteurs



Dilatation thermique

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



Pot de de purge

- Réinstallation à tous les points de vidange naturelle du système.
 - Lorsque la pente du tuyau est ascendante et que le débit de condensat est dans le sens contraire de L'écoulement de la vapeur, alors les pots de purge doivent être installes à tous les 45 m.
 - Installation à tous les points bas d'un système à vapeur et en tout point ou le condensat peut s'accumuler, comme à l'extrémité des conduites principales et au bas des tuyaux de montée
 - Installation, sur les conduites droites horizontales, tous les 90 m lorsque la pente du tuyau est descendante et dans le sens du débit.
 - Le pot de purge doit pouvoir emmagasiner suffisamment de condensat pour fournir une pression en colonne d'eau au niveau du purgeur.
-

Atelier de Formation

5^{ème} partie: Vapeur de détente

[Retour au menu](#)

CALCUL DE LA QUANTITE DE VAPEUR DE DETENTE

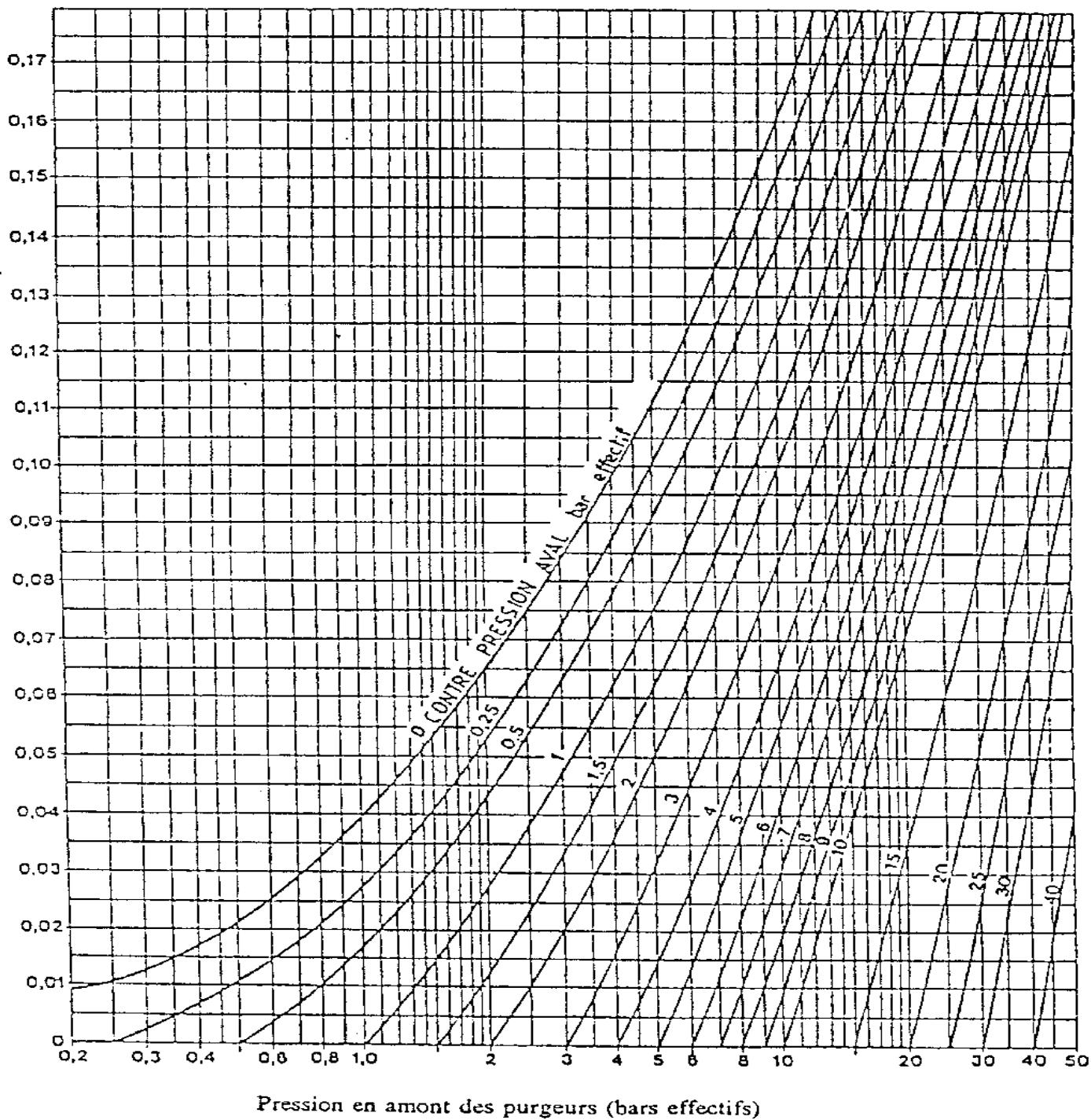
- ✓ Enthalpie du condensat à 7 bars rel. : **171,7 kCal/kg**
 - ✓ Enthalpie maximale de l'eau à P = 1 bars : **99,46 kCal/kg**
 - ✓ La différence est : **72,25 kCal/kg**
 - ✓ Cet excès sera absorbé par l'évaporation partielle des condensats
-

CALCUL DE LA QUANTITE DE VAPEUR DE DETENTE

- ✓ A P_{atm} , la chaleur latente est: **539,4** kCal/kg
 - ✓ Quantité de vapeur de détente est **72,25 / 539,4** soit **0,134** kg_{vap}/kg_{cond}
 - ✓ Si l'installation consomme 1000 kg/h de vapeur, la quantité de vapeur de détente formée est **134** kg/h
-

QUANTITE DE VAPEUR DE DETENTE POUR 1 kg DE CONDENSAT

DEBIT DE VAPORISATION POUR 1 Kg. D'EAU DE PURGE



CALCUL DE LA QUANTITE DE VAPEUR DE DETENTE DANS LE CAS DES PURGEURS THERMOSTATIQUES

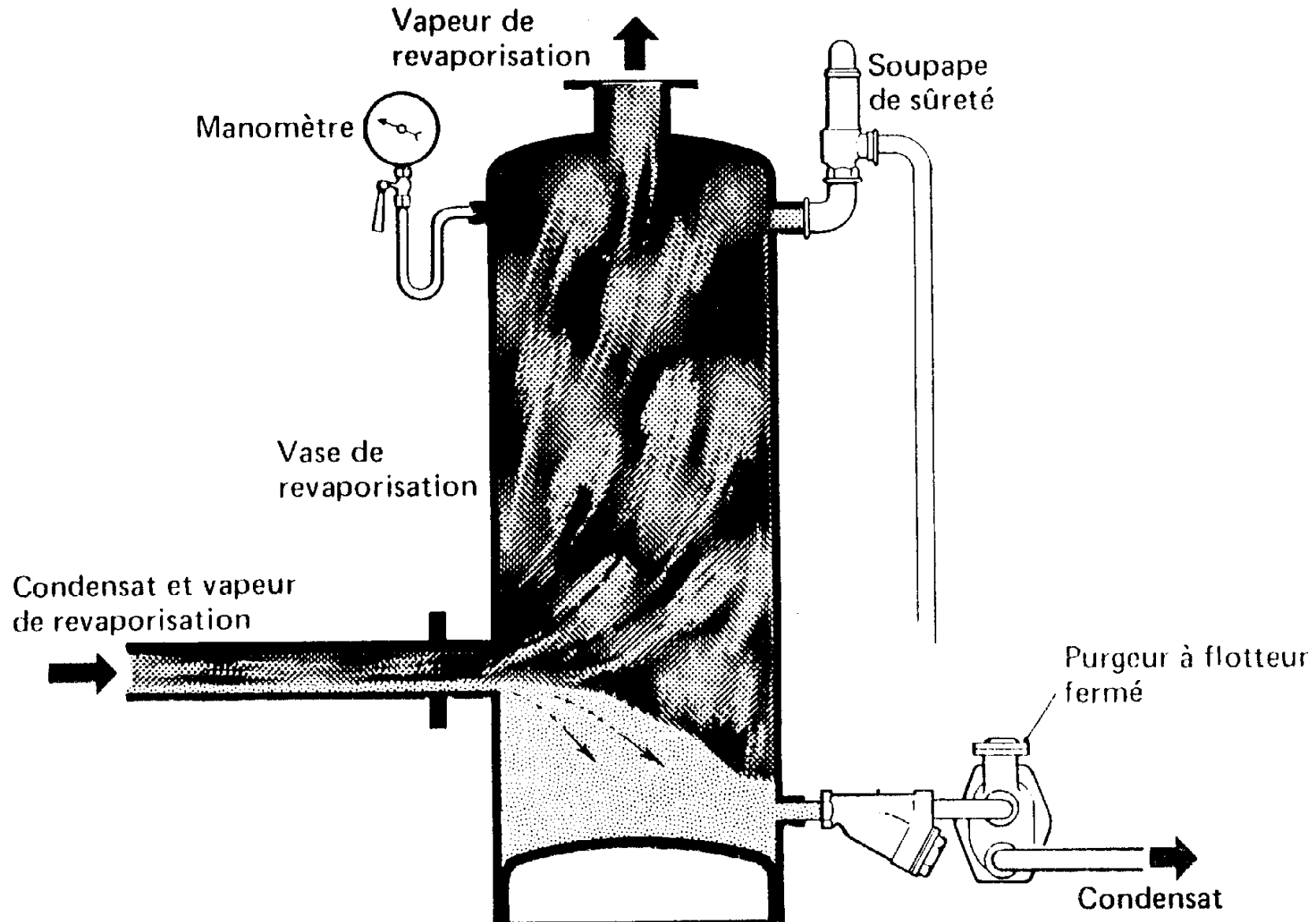
- On suppose que le purgeur évacue les condensats à une température inférieure de 15°C à la température de saturation
 - soit une température de $170 - 15 = 155^{\circ}\text{C}$, et donc une enthalpie de **156,7** kCal/kg
 - l'excès d'énergie calorifique dissipé devient alors

$$[156,7 - 99,46] = \mathbf{57,25} \text{ kCal/kg}$$

- Pour le même débit de condensat de 1000 kg/h la quantité de vapeur de revaporisation est alors

$$1000 \times 57,25 / 156,7 = \mathbf{106,1} \text{ kg/h}$$

SCHEMA D'UN VASE DE REVAPORISATION

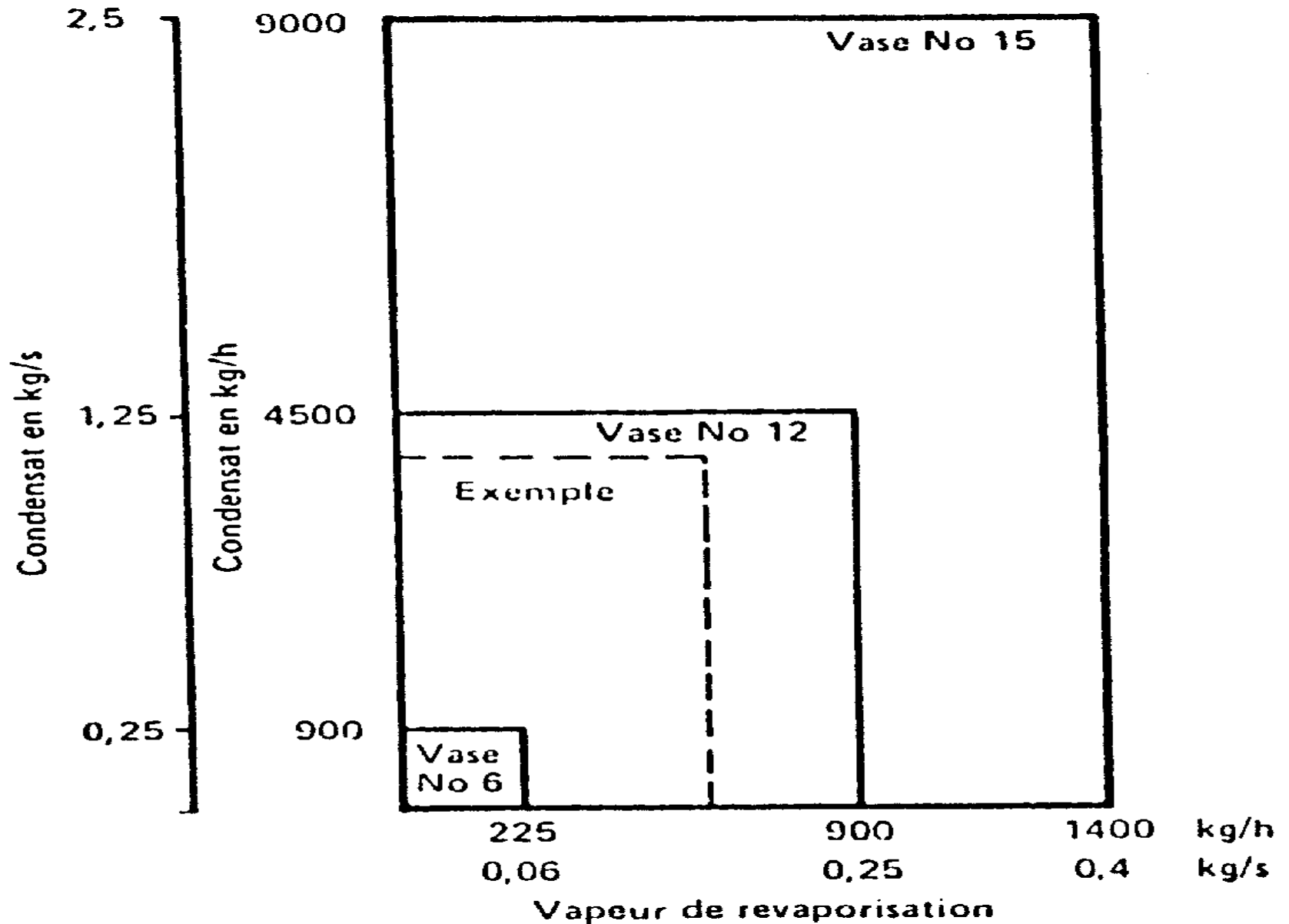


EXEMPLE

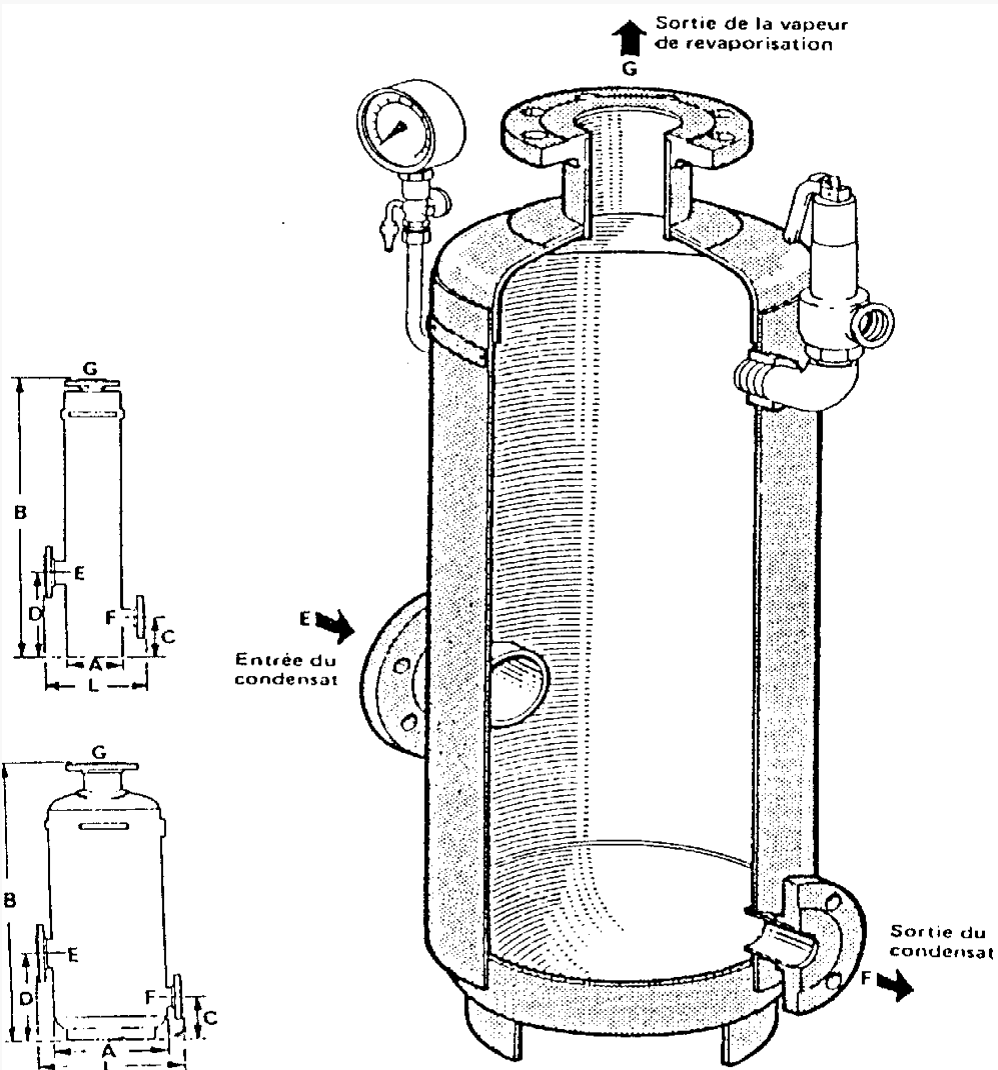
DIMENSIONNEMENT D'UN SEPARATEUR TRAITANT 4000 kg/h DE CONDENSAT

- ✓ Condensats à 12 bars rel.
 - ✓ Vapeur récupérée à 0,5 bars rel.
 - ✓ Taux de revaporisation: $0,155 \text{ kg}_{\text{vap}}/\text{kg}_{\text{cond}}$
 - ✓ Débit de vapeur de détente: $0,155 \times 4000 = 621,8 \text{ kg/h}$
-

DIMENSIONNEMENT DES BALLONS DE SEPARATION



SPECIFICATIONS TYPIQUES DES BALLONS DE SEPARATIONS



Dimensions (approximatives) en mm

No du Vase	A	B	C	D	L
6	168	980	140	304	300
12	334	965	140	304	440
15	421	1016	152	356	560

No du Vase	Entrée de condensat E	Sortie du condensat F	Sortie de la vapeur de revaporisation G
6	65	40	50
12	80	40	100
15	150	50	125

DIMENSIONNEMENT D'UN SEPARATEUR – REGLES GENERALES

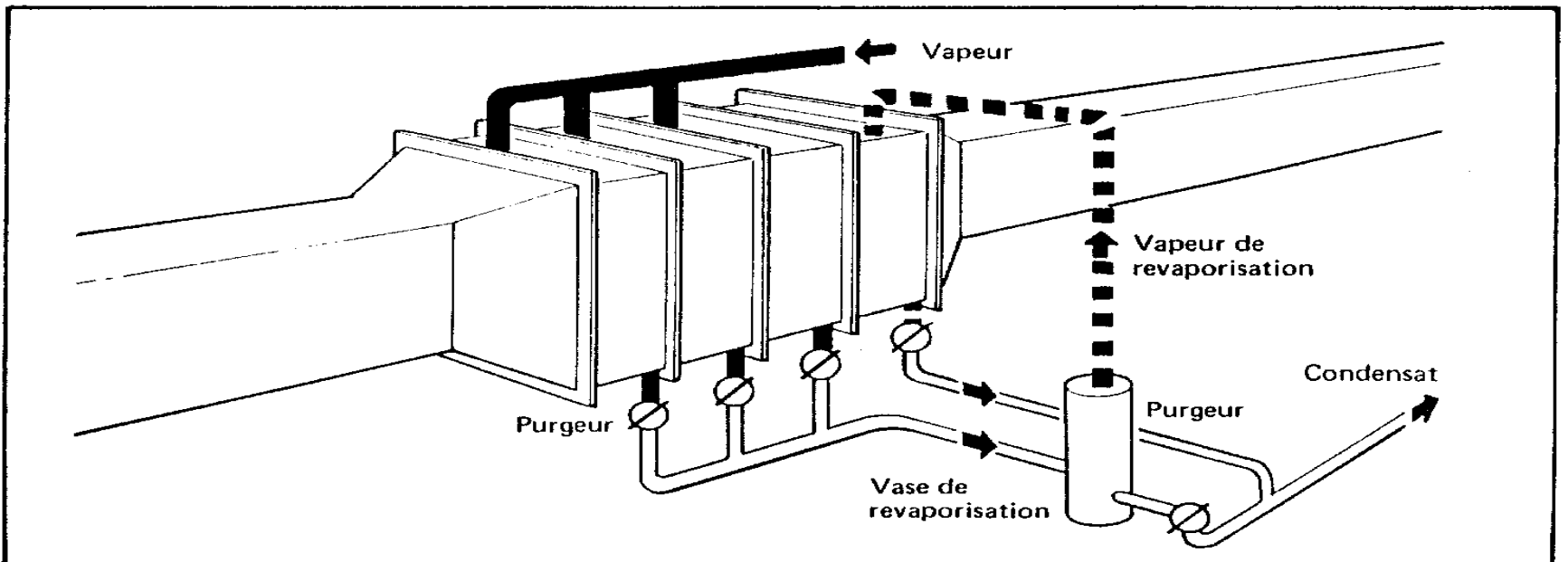
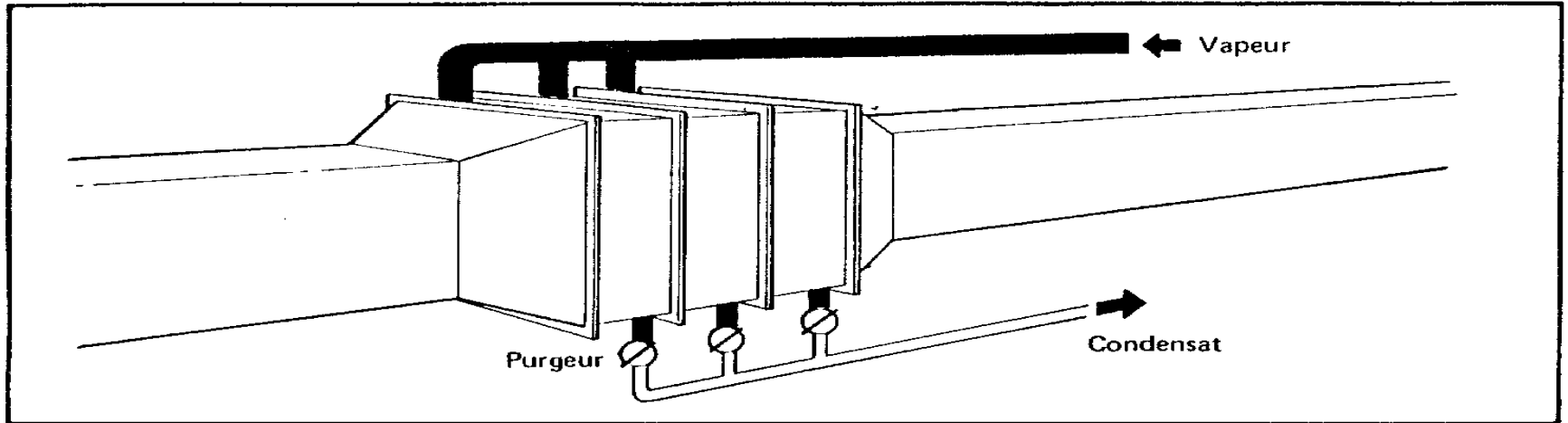
- ✓ Vitesse raisonnable de vapeur
(3 m/s maxi)
 - ✓ Tenir compte de la charge de condensat à traiter
 - ✓ Hauteur de vase
-

RECUPERATION DE LA VAPEUR DE DETENTE

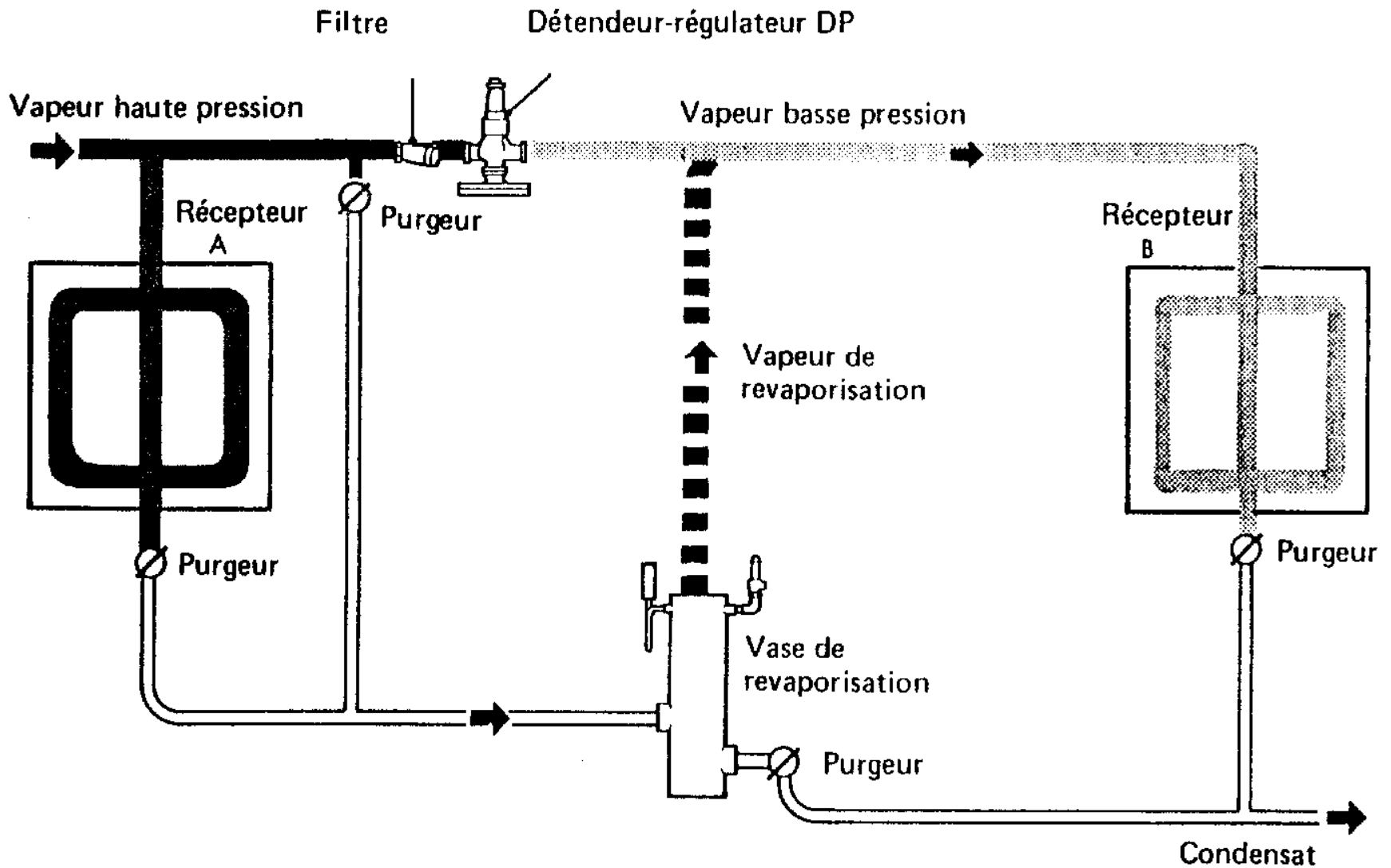
Pour réussir, il faut:

- Tenir compte de la contre-pression
 - S'assurer de la possibilité d'utilisation
 - S'assurer de la proximité d'utilisation
-

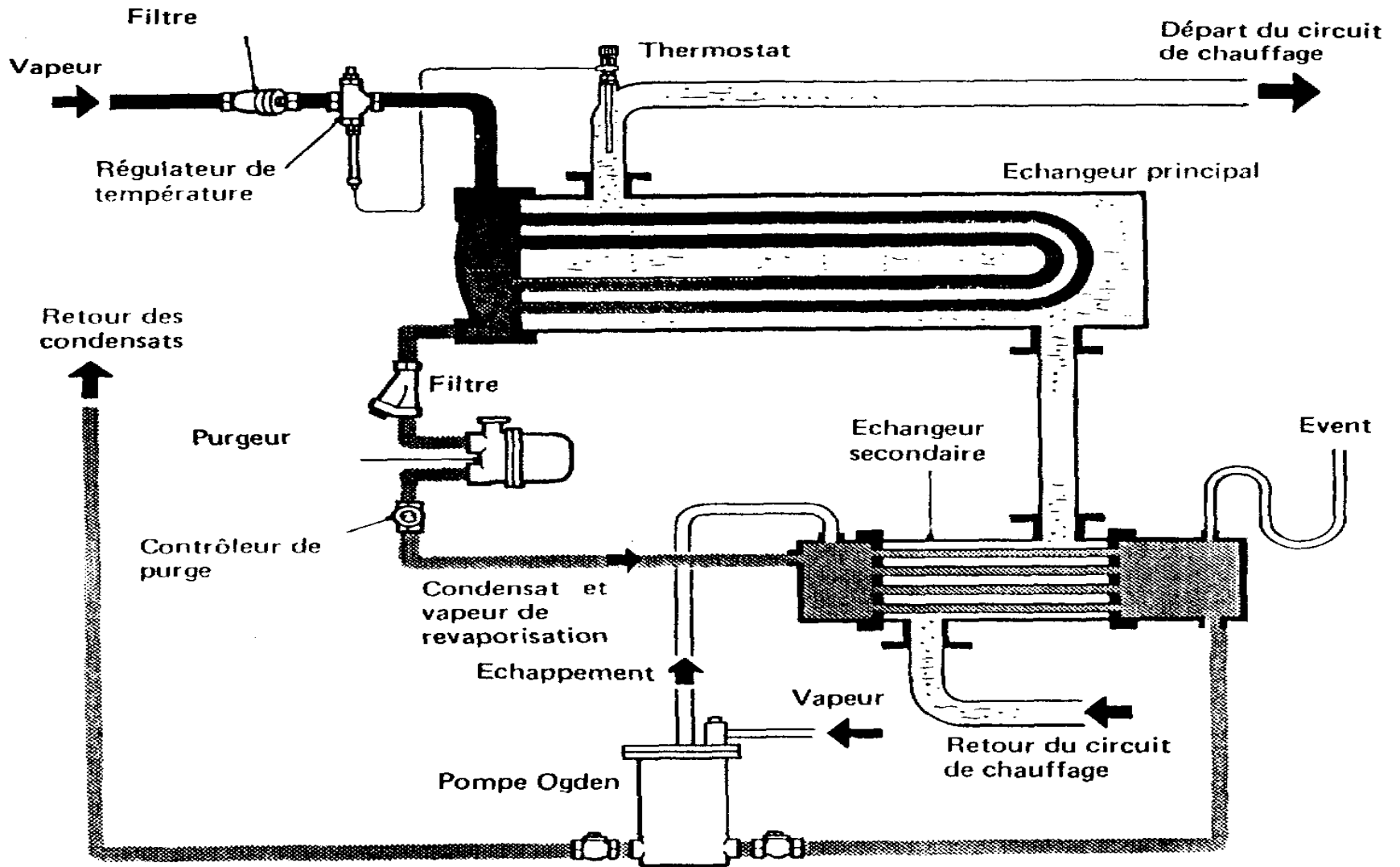
SCHEMA



SCHEMA



SCHEMA



EXEMPLE

- Une vapeur saturée est distribuée à une pression relative de 10 bars
- Pertes de chaleur = 47.847 kCal/h
- L'amélioration de l'isolation réduit les pertes de 50%

*Quantité de vapeur économisée
si l'isolation était améliorée?*

EXEMPLE

- ✓ Quantité d'énergie à économiser si l'isolation était améliorée:

$$47,847 \times 0,5 = 23.923,5 \text{ kCal/h}$$

- ✓ Calcul sur le fichier « Table de vapeur » donne:

- ❖ Enthalpie de vapeur saturée à 10 bars relatifs = 662,8 kCal/kg
 - ❖ Enthalpie de l'eau à 10 bars = 179,5 kCal/kg
 - ❖ Chaleur de vaporisation = 481,2 kCal/kg
-

EXEMPLE

- ✓ Quantité de vapeur économisée :
$$23923,5 \text{ kCal/h} / 481,2 \text{ kCal/kg} = 49,7 \text{ kg/h}$$

 - ✓ Gains en Dhs de vapeur économisée :
 - ✓ Pour chaudière alimentée par Fioul 2 (2150 Dhs/tonne), avec rendement de 85%
 - ✓ Coût unitaire de vapeur de : 168 Dhs/tonne vap.
 - ✓ Soit un gain de $49,7 \times 168 / 1000 = 8,35$ Dhs/hre
 - ✓ Pour une marche de 6000 heures/an -->
50.115 Dhs/an
-

CALORIFUGER QUOI?

Toute surface chaude:

1. Conduite de vapeur et de condensat
 2. Brides et vannes
 - ★ *Perte de chaleur dans une vanne équivaut à une perte dans 1 m de conduite de même diamètre*
 - ★ *Perte de chaleur dans une bride équivaut à une perte dans 0.5 m de conduite de même diamètre*
 3. Équipements: réservoirs, ballons, bâche, etc...
-

LES DIFFERENTS TYPES D'ISOLANTS

- I. Les fibres composites rigides englobant les fibres minérales et celles de verre.
 - II. Les composites rigides à base de silicate de calcium ou de magnésium.
 - III. Les composites rigides à base de polyisocyanure et phénolique ou polyuréellaire.
 - IV. Le caoutchouc nitril et mousse polyéthylène.
-

EXEMPLE DE MATERIAUX D'ISOLATION

Matériaux	Forme	Température maximale (°C)	Conductivité thermique w/m °K
Fibre de verre	fibre	510	0,048 (à 200°C)
Magnesium à 85%, Silicate de Calcium	matelas	310	0,058 (à 200°C)
Silicate de Calcium	matelas	650-1010	0,061 (à 200°C)
Silicate de Calcium	matelas	650-1010	0,085 (à 600°C)
Fibre minérale	matelas	760-950	0,054 (à 200°C)
Fibre de silice	matelas	980	0,063 (à 600°C)
Isocyanure	mousse	145	0,024 (à 20°C)
Polyuréthane	mousse rigide	100	0,024 (à 20°C)

PERTES DE CHALEUR A TRAVERS UNE CONDUITE HORIZONTALE

Diff.temp. vapeur-air °C	Dimen.tube									
	15mm	20mm	25mm	32mm	40mm	50mm	65mm	80mm	100mm	150mm
	W/m									
56	54	65	79	103	108	132	155	188	233	324
67	68	82	100	122	136	168	198	236	296	410
78	83	100	122	149	166	203	241	298	360	500
89	99	120	146	179	205	246	289	346	434	601
100	116	140	169	208	234	285	337	400	501	696
111	134	164	198	241	271	334	392	469	598	816
125	159	191	233	285	321	394	464	555	698	969
139	184	224	272	333	373	458	540	622	815	1133
153	210	255	312	382	429	528	623	747	939	1305
167	241	292	357	437	489	602	713	838	1093	1492
180	274	329	408	494	556	676	808	959	1190	1660
194	309	372	461	566	634	758	909	1080	1303	1852

***TEMPERATURE AMBIANTE COMPRISE ENTRE 10°C ET 21°C,
LA VITESSE DE L'AIR EST NULLE***

PERTES DANS UNE TUYAUTERIE ISOLEE

$$Q = \frac{\pi (t_1 - t_a)}{\frac{1}{2} k \ln (D_2/D_1) + (1/D_2) (1/U)} \quad (\text{par mètre de tuyauterie})$$

D_2 : diamètre de la conduite calorifugée

D_1 : diamètre extérieur de la conduite

K : conductivité thermique du calorifuge

U : Coefficient de transfert de chaleur entre l'isolant et l'air ($\text{W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$)

Abaques: Pertes en fonction

- Épaisseur du calorifuge $e = (D_2 - D_1) / 2$
 - Température du fluide t_1
 - Diamètre nominal de la conduite D_1
 - (vitesse du vent nulle et $t_a = 20^\circ\text{C}$)
-

EFFET DE LA VITESSE DE L'AIR SUR LES PERTES THERMIQUES

Vitesse d'air km/h	Facteur de correction des pertes thermiques
0	1
5	1.5
10	2
14	2.5
19	3
26	3.5
34	4

EXEMPLE

Vérifier la rentabilité économique du calorifugeage d'une installation utilisant une tuyauterie de 150 mm de diamètre, transportant de la vapeur à 8 bars relatifs

- Rendement considéré 80%, chaudière fonctionnant au fioul N°2 (2600 Dhs/Tonne)
 - Temps de fonctionnement de l'installation 6 000 H/an
 - Température ambiante 22°C, vitesse du vent nulle
 - Prix du calorifuge installé = 350 Dh/m linéaire
-

SOLUTION

Données de base :

- ✓ Vapeur 8 bars, d'après table de vapeur, $t = 175^{\circ}\text{C}$
- ✓ Différence de température: $175 - 22 = 153^{\circ}\text{C}$,
- ✓ Diamètre de la tuyauterie = 150 mm

D'après la table, les pertes de la tuyauterie nue sont de: **1305 W/m**

- ✓ 90% des pertes éliminées correspondent à un gain de $1305 \times 0,9 = 1174,5 \text{ W/m}$, soit:
 $1174,5 \times 0,864 = 1\,010,5 \text{ kCal/hm}$
 $1\,010,5 / 0,8 = 1\,263,2 \text{ kCal/hm}$ exprimé en énergie introduite
-

SOLUTION

Ceci correspond, pour une chaudière fonctionnant au fioul N°2 à un gain monétaire annuel (6000 H/an) de :

$$1\ 263,2 \text{ kCal/h-m} / 9\ 600 \text{ kCal/kg} \times 6000 \text{ h/an} \times 2600 \text{ Dhs /Tonne} = 2\ 052,6 \text{ Dh/an le mètre linéaire}$$

Le coût du calorifugeage installé est de 350 Dh/m linéaire d'où le temps de retour de :

$$350 / 2\ 052,6 = 0,17 \text{ an ou } \underline{2 \text{ mois}}$$

ANALYSE DU COUT DE L'ISOLATION

➤ Usine:

- Rendement de la chaudière: R
 - Coût unitaire du combustible: C_u
 - Pertes thermiques annuelles: P (fonction de l'épaisseur)
 - Investissement: I (fonction de l'épaisseur)
 - Durée de vie du calorifuge: n
 - Frais de maintenance: C_o
-

ANALYSE DU COUT DE L'ISOLATION

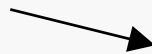
- Coût annuel des pertes du combustible:

$$CU \times P \div R \quad (1)$$

- Coût annuel de l'isolation:

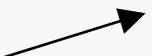
$$[I \div n] + Co \quad (2)$$

(1)



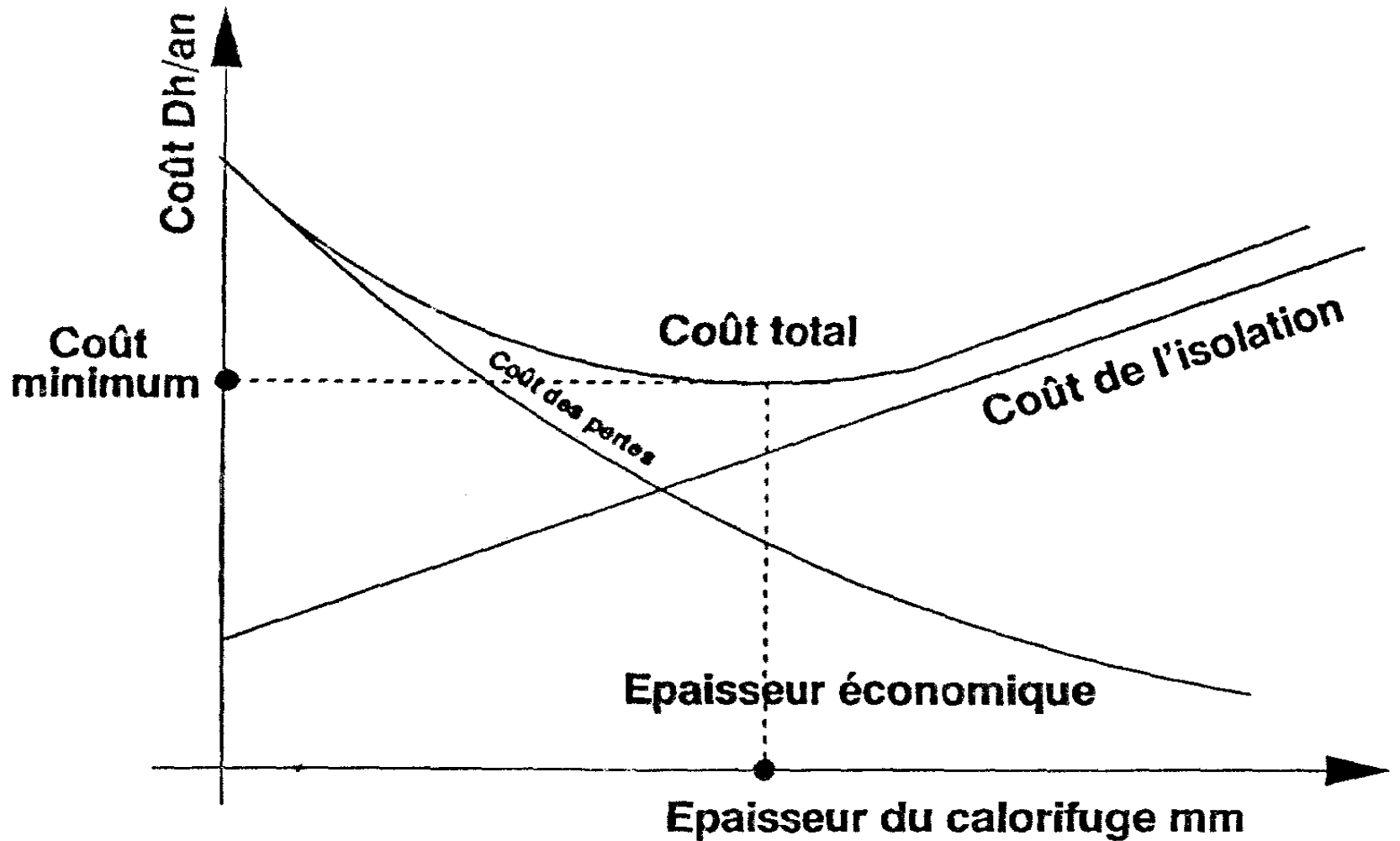
en fonction de l'épaisseur

(2)



en fonction de l'épaisseur

EPAISSEUR ECONOMIQUE DU CALORIFUGE



Atelier de Formation

7^{ème} partie: Rendement global d'un
réseau vapeur

[Retour au menu](#)

RESEAU DE VAPEUR

- ✓ Un GENERATEUR de vapeur ou chaudière
 - ✓ Une tuyauterie, des vannes, des purgeurs, des détendeurs...
 - ✓ Des appareils utilisateurs de vapeur
 - ✓ Un système de récupération des condensats (conduites, réservoirs de stockage, pompes)
-

CLASSIFICATION DES PERTES DANS UNE CHAUDIERE

- Pertes par les fumées 13%
- Pertes par les imbrûlés 3%
- Pertes par les parois 1%
(rayonnement + convection)
- Pertes par les purges 2%

Rendement 81%

PERTES DANS LA TUYAUTERIE ET ACCESSOIRES

- Fuites directes de vapeur
- Fuites des purgeurs
- Déperditions thermiques (isolation)

Rendement: 92%

PERTES DANS LES APPAREILS UTILISATEURS DE VAPEUR

➤ Déperditions

➤ Fuites

Rendement: 97%

PERTES DANS LE SYSTEME DE RECUPERATION DE CONDENSAT

- Taux de récupération
- Fuites
- Déperditions thermiques
- Pompes, réservoirs
- Récupération de chaleur de détente

Dans le cas de la non récupération, le rendement
= 72%

RENDEMENT GLOBAL = PRODUIT DES RENDEMENTS INDIVIDUELS

- ✓ Dans un réseau de vapeur à 10 bars:
 - chaudière: 81%
 - distribution: 92%
 - appareils utilisateurs: 97%
 - rendement d'utilisation: 72%(sans récupération des condensats)
- ✓ Rendement global:
$$= (0.81 \times 0.92 \times 0.97 \times 0.72) \times 100 = 52\%$$

La moitié du combustible brûlé est utilisée pour compenser les pertes

APPLICATION DE MESURES D'ECONOMIE D'ENERGIE

- Amélioration du rendement de la chaudière de 5%
 - Réduction des pertes dans la tuyauterie de 3%
 - Récupération de 50% des condensats
 - Réduction des pertes des appareils utilisateurs de vapeur de 1%
-

APPLICATION DE MESURES D'ECONOMIE D'ENERGIE

✓ Rendement global devient:

$0.87 \times 0.95 \times 0.98 \times 0.86$ soit 70%

✓ L'application des mesures
d'économie d'énergie entraîne:

- Réduction de la consommation du combustible: 26%
 - Soit un gain de 195000 Dh/an pour une PME consommant 300 t/an de fioul N°7
-

Exemples de projets de réduction de la consommation de vapeur

- Exemple N°1 : Récupération des condensats
 - Exemple N°2 : Calorifugeage des surfaces chaudes
 - Exemple N°3 : Revaporisation des condensats
-