

FICHE TECHNIQUE

CONDENSEUR

FTe12

1. SOMMAIRE

1. Sommaire	1
2. Avant propos	1
3. Rappels de thermodynamique élémentaire	1
4. Rendement théorique	1
5. Relation température-pression	2
6. Principes de construction d'un condenseur	3
7. Condenseur et modélisme	4
8. Pompe d'extraction	7

2. AVANT PROPOS

La marine à vapeur a été rapidement confrontée au problème d'alimentation de la chaudière en eau neuve. L'alimentation de la chaudière en eau de mer était impensable pour des raisons évidentes de corrosion et de colmatage. La désalinisation de l'eau de mer par procédé évaporatif était techniquement insoutenable sauf pour compenser les pertes inévitables (*fuites, purges, décharge soupapes, alimentation des auxiliaires...*). La solution était bien sûr de condenser la vapeur, en la décontaminant des additifs et impuretés pour la réintroduire dans la chaudière.

Avant de passer à l'application au modélisme vapeur quelques rappels pour mieux en comprendre le fonctionnement d'un condenseur.

3. RAPPELS DE THERMODYNAMIQUE ELEMENTAIRE

En physique on utilise :

- les (degrés) Kelvin pour mesurer les températures. La conversion est simple on rajoute 273,15 à la température en degrés Celsius. Exemple : 100°C = 373,15 K
- le Pascal ou ses multiples pour mesurer la pression. 100 kPa = 1 bar, 100 Pa=1 hPa=100 mBar

4. RENDEMENT THEORIQUE

Les moteurs à vapeur sont des moteurs dithermes, c'est à dire qu'ils ont besoin d'une source chaude (*vapeur chaudière*) et d'une source froide à l'échappement pour fournir un travail moteur. Le rendement théorique vaut alors $Rdt = 1 - T_{\text{froid}} / T_{\text{chaud}}$.

Par exemple un moteur modèle réduit qui reçoit de la vapeur à $T_{\text{chaud}}=140^{\circ}\text{C}$ et rejette la vapeur directement à l'atmosphère à $T_{\text{froid}} = 105^{\circ}\text{C}$ aura un rendement maximal théorique de $Rdt = 1 - (105+273)/(140+273) = 1 - 0,915 = 0,085$ soit 8,5 %.

Si par contre on condensait la vapeur jusqu'à 40°C le rendement théorique maximal deviendrait :

$$Rdt = 1 - (40+273)/(140+273) = 0,242 = 24,2 \%$$

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 1/8 - Décembre 2023



Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

CONDENSEUR

FTe12

On comprend que la condensation de la vapeur d'échappement, outre résoudre un problème technique, amène des gains d'exploitation car le rendement sera sensiblement augmenté même si en pratique il sera loin de la valeur théorique.

5. RELATION TEMPERATURE-PRESSION

Dans un gaz les trois grandeurs Pression, Volume, Température sont liés par une relation commune. Par exemple si le volume et la température sont fixés alors la pression est imposée.

Pression absolue : c'est la pression lue au manomètre augmentée de la pression atmosphérique standard soit 1013 hPa c'est à dire 1 bar.

Le tableau ci-après indique la relation entre la pression et la température.

P (bar)	T (°C)
---------	--------

0,10	45,81
------	-------

0,20	60,06
------	-------

0,30	69,10
------	-------

0,40	75,87
------	-------

0,50	81,33
------	-------

0,60	85,94
------	-------

0,70	89,95
------	-------

0,80	93,50
------	-------

0,90	96,71
------	-------

1,00	99,63
------	-------

1,50	111,40
------	--------

2,00	120,20
------	--------

2,50	127,40
------	--------

3,00	133,60
------	--------

3,50	138,90
------	--------

4,00	143,60
------	--------

Ce tableau peut aussi s'interpréter de la façon suivante. Par exemple de l'eau à 69°C restera à l'état liquide tant que la pression dans l'échangeur reste supérieure à 0,3 bars. Si la pression passait en dessous de cette valeur l'eau se mettrait alors à « bouillir » passant de l'état liquide à l'état gazeux. Pour évacuer les gaz dans un condenseur on crée un vide partiel. Cette basse pression améliore d'ailleurs le rendement de la turbine à vapeur. Il ne faudra pas, en fonction de l'efficacité de l'échangeur descendre trop bas en pression dans le condenseur sous peine de re-vaporiser les condensats.

Les condenseurs fonctionnent dans la plage 0,1 à 0,2 bars absolus pour des températures de condensats entre 45 et 60°C.

Pour éviter la cavitation de la pompe à condensats, et donc son usure, une baisse de rendement et des vibrations, on sur-refroidit la vapeur condensée. Par exemple on refroidira le condensat à 70°C en maintenant une pression de 0,5 bars absolus dans l'enceinte, pression qui correspond à une température de 81,3°C.

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 2/8 - Décembre 2023


Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

CONDENSEUR

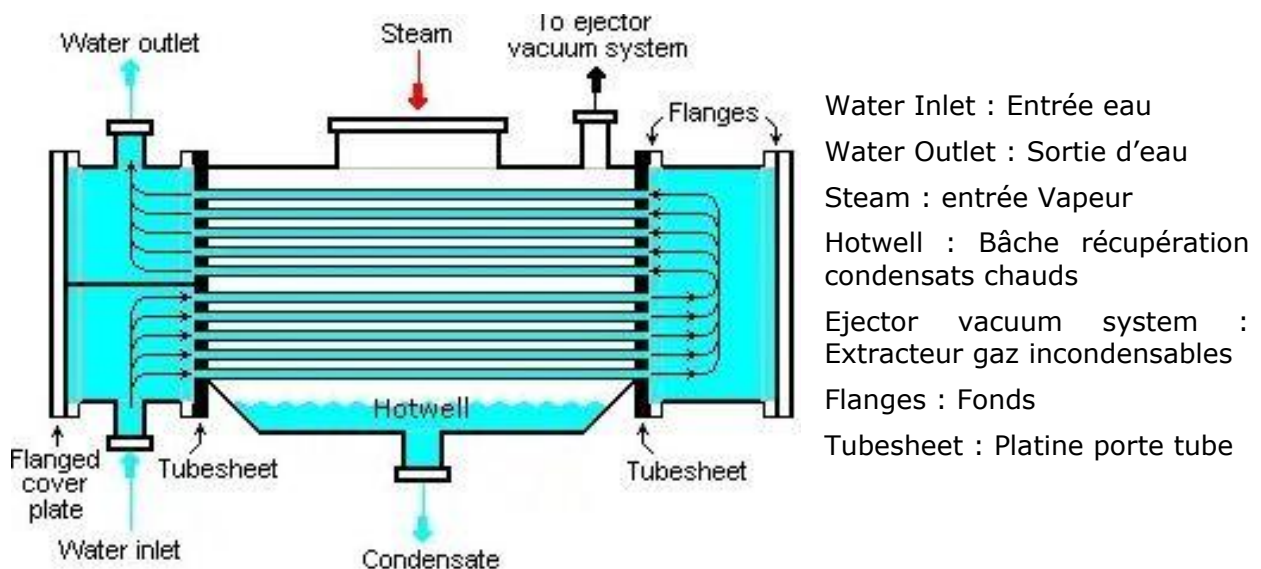
FTe12

6. PRINCIPES DE CONSTRUCTION D'UN CONDENSEUR

Comme ils sont à une pression plus faible que la pression atmosphérique, on doit les concevoir à la manière des sous-marins afin d'éviter qu'ils n'implosent. Cela va sans dire que l'étanchéité du condenseur et des auxiliaires, pompe à vide d'évacuation des gaz et pompe des condensats devra être la plus complète possible.

A la base les condenseurs sont des échangeurs de chaleur, donc on pourra se reporter à toute la littérature existante sur le sujet. Deux grandes familles existent :

- condenseur à mélange dans lesquels on injecte de l'eau froide dans la vapeur d'échappement. Ils sont réservés à des cas particuliers car malgré leurs avantages le mélange final condensats + eau de refroidissement n'est pas recyclée.
- Condenseur à surface dans lequel les circulations d'eau de refroidissement et de vapeur demeurent séparées. Cette famille est la plus représentée.



Dans la famille des condenseurs à surface il en existe de multiple types et sous-types. C'est le type multitubulaires avec circulation du réfrigérant dans les tubes qui est le plus répandu. Basiquement on va avoir :

- une enceinte étanche dans laquelle la vapeur d'échappement est injectée
- des tubes où circule l'eau de refroidissement. Cette eau est généralement recyclée après avoir été refroidie dans un aéroréfrigérant ou sinon rejetée dans l'environnement,
- un pompe d'extraction des gaz non condensables avec rejet à l'extérieur. Cette pompe est vitale car l'accumulation de gaz dans l'enceinte détruirait le vide,
- une pompe d'extraction des condensats.

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 3/8 - Décembre 2023

 Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

CONDENSEUR

FTe12

Sur les petites installations on combine dans la même pompe l'extraction des condensats et des gaz. Ces pompes sont alors de type alternatives à piston.

Contrairement à une idée répandue ce ne sont pas les pompes, air et condensats, qui créent la dépression dans l'enceinte mais la condensation de la vapeur.

En effet, à titre d'exemple, 1kg de vapeur à 60°C sous 0,2 bar absolu occupe un volume de 7,6 m³ soit 7600l alors que 1 kg d'eau va occuper un volume de 1 litre.

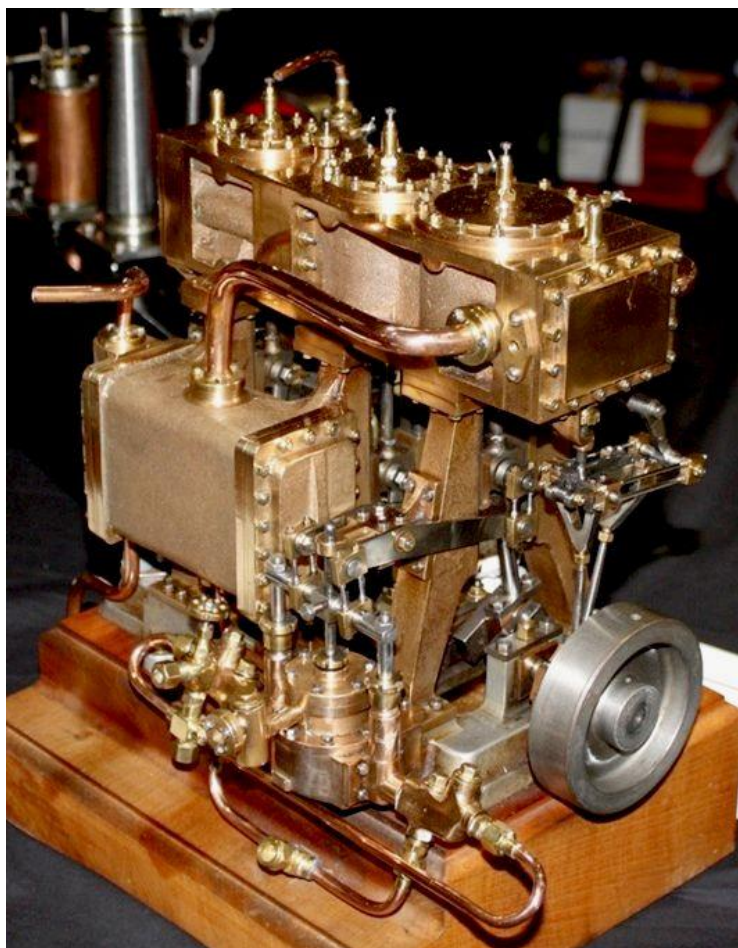
7. CONDENSEUR ET MODELISME

Les condenseurs ont connu peu de développements en modélisme vapeur en partie par méconnaissance du sujet mais aussi de par les difficultés de conception de l'ensemble.

Le seul exemple à présenter est le moteur marin du modéliste O.B Bolton. Les plans et fonderies sont encore disponibles chez Reeves en Angleterre :

(<https://www.ajreeves.com/triple-expansion.html>).

Enfin des éléments sur les condenseurs en modélisme vapeur sont disponibles dans l'ouvrage de K.N. Harris « *Model stationary and marine engines* » / TEE publishing



Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 4/8 - Décembre 2023

 Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

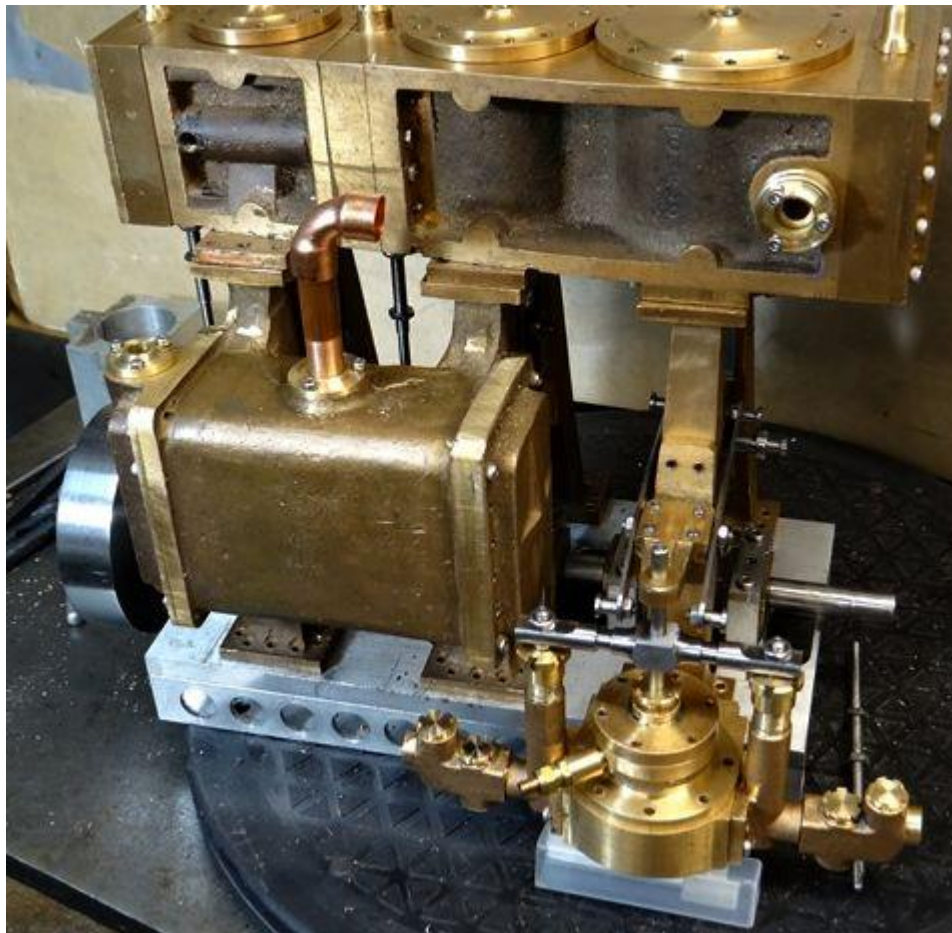
Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

CONDENSEUR

FTe12

Sur la photo suivante on voit le condenseur et sa pompe en cours d'assemblage. La pompe est entraînée directement par un excentrique de vilebrequin via un renvoi à bascule. On notera en arrière-plan gauche l'échangeur construit autour d'une fonderie bronze de forte épaisseur.



Concernant l'échangeur, en modélisme vapeur, la conception a convergé vers celle classique des échangeurs industriels avec plaque tubulaire et tubes de faible diamètre où circule l'eau de refroidissement. L'assemblage de type mécanosoudé en brasure à l'argent semble avoir donné d'excellents résultats.

Le diamètre des tubes doit être petit car toute la capacité frigorifique de l'eau devra être épuisée en sortie d'échangeur. Un tube **4/3** pourrait être un bon compromis.

Le système avec des épingles d'échange en U s'est avéré difficile à entretenir et à réparer. Elles sont susceptibles à des déformations et réservées aux échangeurs verticaux.

Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45**



- VAPEUR 45 -

FOLI0 5/8 - Décembre 2023

 **Villeneuve d'Ascq**
Une ville en mouvement

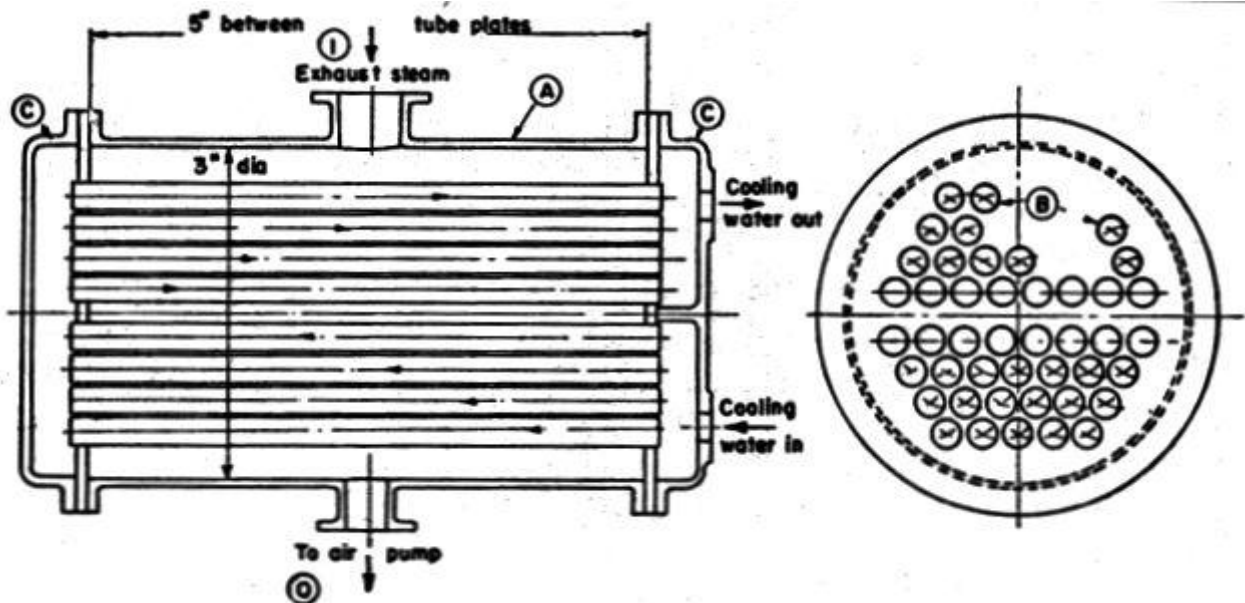
Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

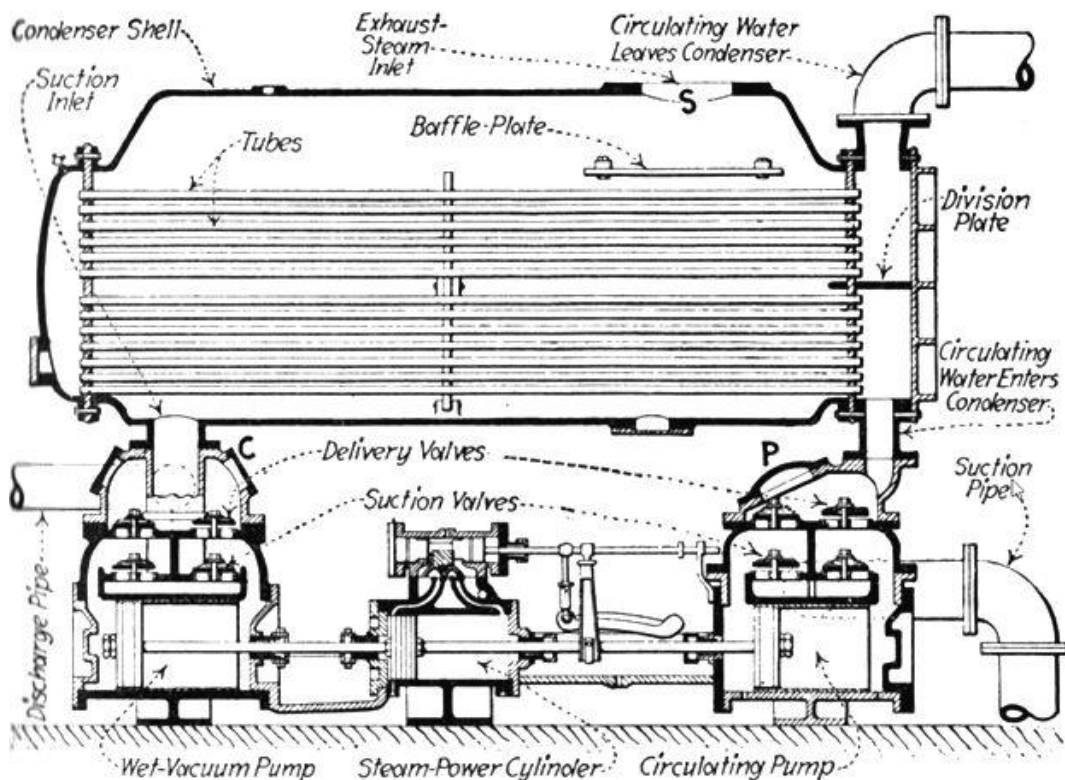
CONDENSEUR

FTe12

Le schéma ci-après a fini par être systématiquement retenu, il est extrait de l'ouvrage de Harris.



Il est suivi par un croquis d'un système industriel (*Power plant series - Terrel Croft/ McGraw hill company. 1922*)



Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 6/8 - Décembre 2023

 Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

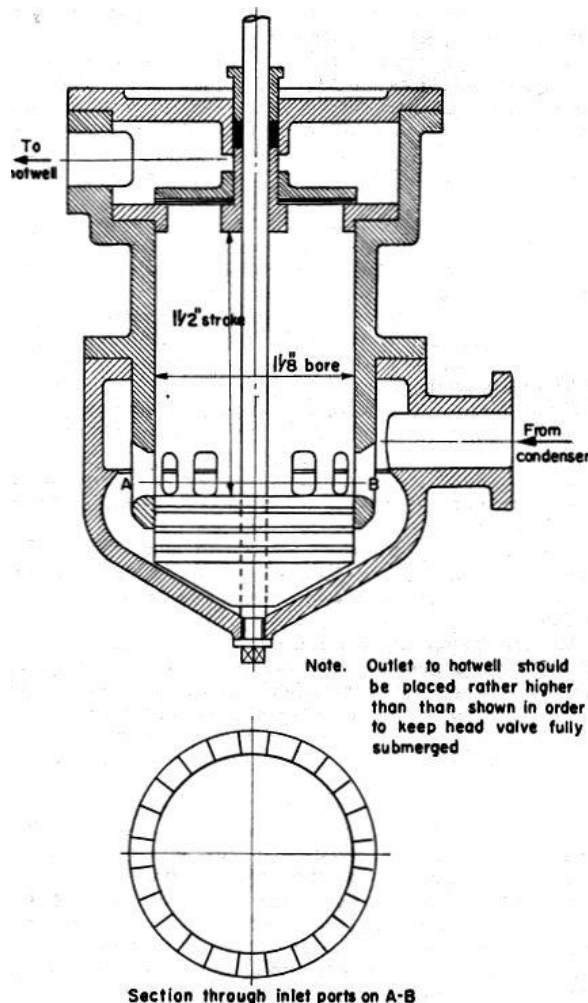
CONDENSEUR

FTe12

Rappelons que le circuit de circulation du réfrigérant, dont les pompes de circulations, est indépendant de celui du condenseur proprement dit. Il faut donc le prévoir sur le modèle.

8. POMPE D'EXTRACTION

La pompe de type Edwards a quasi remplacé en modélisme toutes les autres conceptions de par son efficacité et la complexité modérée de sa réalisation. On trouve sur Internet des vidéos expliquant son mode de fonctionnement. Elle est recommandée lorsque l'on cherche à fabriquer un modèle fonctionnant et non un modèle exact statique.



D'après K.N Harris, cette pompe fonctionne comme suit.

- Lorsque le piston descend il rencontre l'eau qui a noyé la base conique du condenseur et, via l'anneau courbé, la projette silencieusement et sans chocs au travers des lumières découvertes par le piston.

Ce document est la propriété de VAPEUR 45. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de VAPEUR 45



- VAPEUR 45 -

FOLI0 7/8 - Décembre 2023

Villeneuve d'Ascq
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>

FICHE TECHNIQUE

CONDENSEUR

F_{Te}12

- A la remontée du piston, l'eau et l'air sont conduits au travers des soupapes de tête d'où ils s'évacuent dans la bêche alimentaire chaude

Les règles de dimensionnement de la pompe de type Edwards semblent s'établir comme suit : un volume balayé par le piston de pompe de **1/5^e** à **1/4** du volume balayé par le piston d'un moteur simple action.

Pour un double action ce sera entre **1/2** et **3/4** du volume balayé par le moteur. Pour les moteurs compound à détente étagée on prend le cylindre basse pression comme référence.

Le débit masse d'eau de refroidissement nécessite un calcul assez compliqué et par ailleurs très approximatif compte tenu de l'effet d'échelle sur les phénomènes physiques couplé à la difficulté d'évaluer correctement les coefficients d'échange. Cependant en modélisme il semble qu'un rapport de 35 g d'eau à 15°C par gramme de vapeur condensée donne des résultats acceptables.

Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45**



- **VAPEUR 45** -

FOLI0 8/8 - Décembre 2023

 **Villeneuve d'Ascq**
Une ville en mouvement

Un site régulièrement mis à jour <http://vapeur45.fr>