

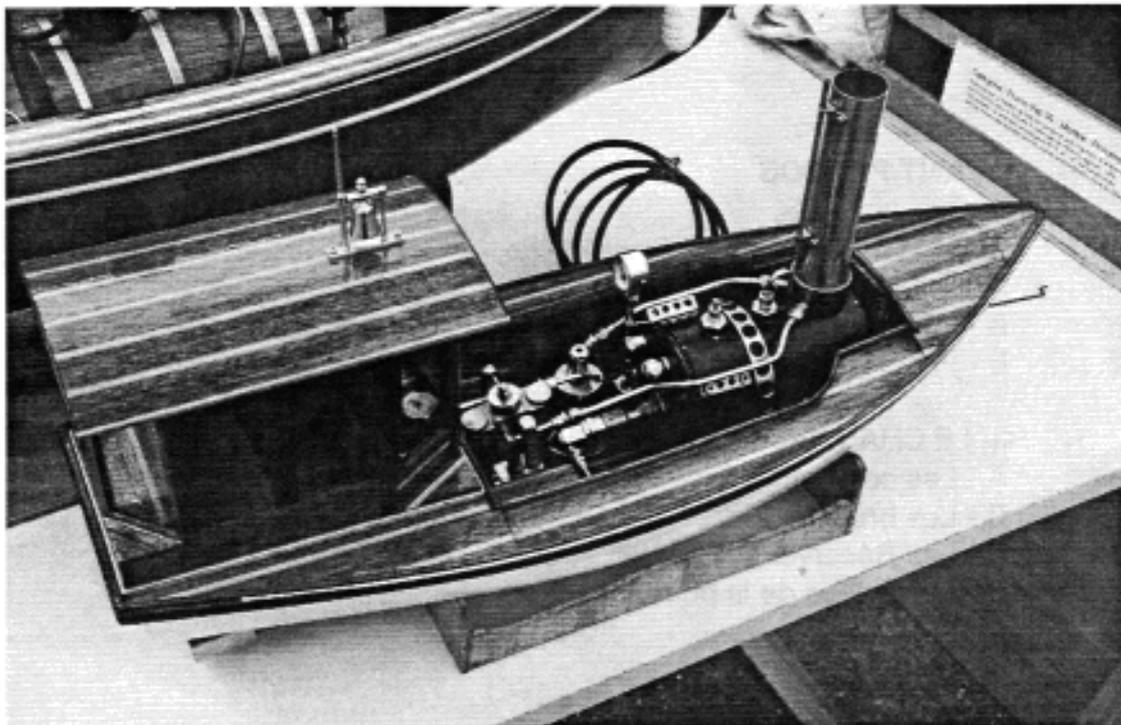
MESSAGE



SPECIAL CAHIER TECHNIQUE INITIATION A LA VAPEUR



**Fédération de France
de Modélisme Naval**



AVANT PROPOS

Le présent ouvrage, *support de cours du stage technique de la Ligue P.I.F.*, a pour modeste objectif de fournir au modéliste désireux de se lancer dans la propulsion d'un bateau par la vapeur vive, des principes de base de physique, un vocabulaire, des conseils et des informations qui devraient lui éviter de trop tâtonner, de se décourager voire d'abandonner.

Toutefois le vaporiste potentiel devra déjà posséder une solide expérience en matière de modélisme naval et avoir un « esprit mécanique » pour être à l'aise.

De plus s'il désire réaliser tout ou partie d'un groupe vapeur, il devra savoir braser et utiliser des machines outils telles que tour et fraiseuse.

Ces recommandations n'écartent pas bien sûr, le modéliste qui peut acquérir un groupe du commerce, prêt à fonctionner. Il gagnera certes une étape mais devra de toute façon passer par « l'apprentissage de la vapeur ».

Enfin, il est utile de préciser que cette technique si attractive soit-elle, doit être considérée avec sérieux et ne peut autoriser le bricolage. Il faut en effet avoir toujours présent à l'esprit que le vaporiste va manier des bars avec sa chaudière, les tanks à gaz, et qu'il utilisera des combustibles très inflammables.

Toute erreur peut être dangereuse et engage en cas d'accident la responsabilité du modéliste.

Sur cet indispensable conseil de prudence, nous vous souhaitons une agréable lecture en espérant que cet exposé qui n'a pas la prétention d'être exhaustif sur ce qui se fait en vapeur vous aidera à franchir le pas en toute connaissance de cause.

**Les auteurs, Patrick CLERGET et Christian JOLLY,
ARC en CIEL, Model Club du Val de MARNE.**

Sommaire

AVANT PROPOS

CHAPITRE I

I- LA CHAUDIERE

A - Principes

B - Pression - Sécurité - Résistance

II- LE CHAUFFAGE : L'APPORT DE CALORIES

A - Les combustibles

B - Les brûleurs

C - Les Réservoirs

D - Le réglage de la puissance

E - Les plus

III - LA SURFACE DE CHAUFFE

IV- L'EAU - AUTONOMIE

V- CARACTERISTIQUES DES CHAUDIERES

A - Les chaudières horizontales

B - Les chaudières verticales

VI - EQUIPEMENT DE LA CHAUDIERE

CHAPITRE II

Les machines à vapeur en modèle réduit

A - Généralités

B - Les caractéristiques des machines

C - Contrôle de l'allure d'une machine

D - Graissage

E - Echappement

F - Principales machines utilisées en modélisme

1°) Machines à cylindre(s) oscillant(s)

2°) Machines à cylindre(s) fixe(s)

CHAPITRE III

Construire ou ne pas construire

CHAPITRE IV

Comment installer un groupe vapeur dans un modèle

CONCLUSION

GLOSSAIRE

Bonnes adresses

Bibliographie

Musées

CHAPITRE I

La chaudière ou générateur de vapeur en modèle réduit.

Nous débuterons la présentation de la propulsion vapeur en modélisme par le chapitre traitant des chaudières, pour respecter l'ordre d'une installation : on part du point de production de vapeur et de son acheminement au point de consommation : la machine.

Par contre, pour sa construction, c'est la machine qui va déterminer les caractéristiques de la chaudière. Nous aborderons cette partie plus loin.

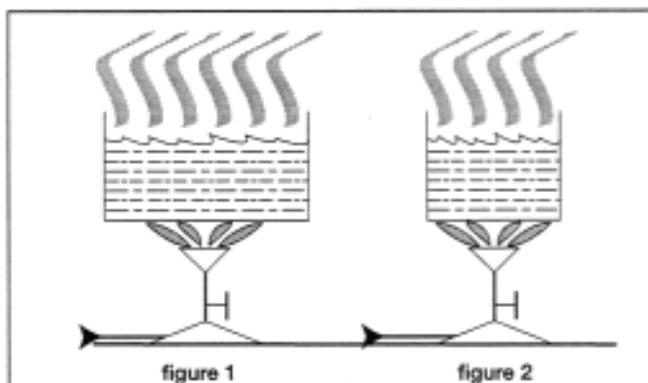
1) Généralités :

La chaudière est l'élément le plus important du groupe vapeur car elle doit alimenter d'une façon constante en vapeur et en pression la machine en utilisant au maximum les calories léguées par la source de chaleur.

2) Définition :

Une chaudière est un appareil dans lequel l'eau est chauffée afin d'être transformée en vapeur pour produire un mouvement. On peut dire que la vapeur n'est qu'un intermédiaire destiné à transformer en travail mécanique la chaleur du foyer.

3) Principes de fonctionnement :

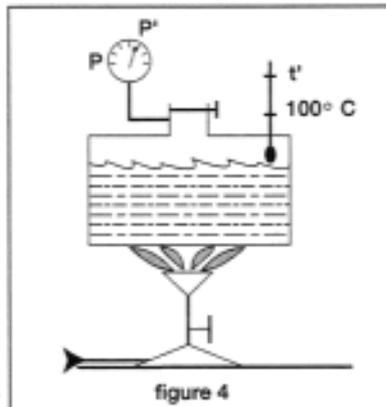
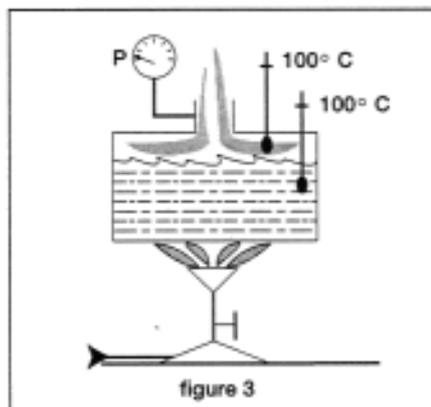


L'expérience a démontré qu'avec une même source de chaleur on produit plus de vapeur si le récipient contenant l'eau offre une plus grande surface de chauffe. (fig. 1-2)

Mais cette eau qui bout à 100°C à l'air libre produit de la vapeur à la pression atmosphérique c'est à dire **1 bar**. (fig. 3). Cette pression est appelée absolue par rapport au vide idéal.

Par contre si l'on ferme le récipient, (fig.4) la pression augmente en même temps que la température. La pression lue au manomètre est appelée *effective* ou *manométrique*, c'est à dire que le manomètre ne tient pas compte de la pression atmosphérique.

Il a été également constaté que cette même eau chauffée à 100°C en vase clos n'entre pas en ébullition si l'on ne prélève pas de vapeur. Il y a donc équilibre entre la phase gazeuse et la phase liquide.



Cette vapeur qui est formée en présence d'eau est appelée *vapeur saturée humide* car elle contient de l'eau en suspension sous forme de gouttelettes surtout lorsqu'on prélève de la vapeur et que l'eau entre en ébullition. En vapeur saturée, à une pression déterminée, correspond une température de vaporisation déterminée. (voir tableau ci-dessous)

Tableau de correspondance des températures aux différentes pressions manométriques en bar et poids du litre de vapeur

1 bar : 120°C : 1,10g/l	2 bars : 133°C : 1,60g/l	3 bars : 143°C : 2,10g/l
4 bars : 151°C : 2,60g/l	5 bars : 158°C : 3,10g/l	6 bars : 164°C : 3,60g/l
7 bars : 170°C : 4,10g/l	8 bars : 175°C : 4,60g/l	9 bars : 179°C : 5,10g/l

Cette vapeur humide peut être séchée en la surchauffant, ce qui réduit les condensations dans les tuyaux, cylindres et distributeur.

Attention : en modélisme la surchauffe engendre des difficultés de graissage. Dans le cas de l'utilisation d'un graisseur à déplacement, l'huile ne résiste pas à de hautes températures.

On se contentera de sécher la vapeur en la faisant passer dans le collecteur traversant les gaz chauds du foyer, jamais les flammes.

Les principes du vaporisme que l'on va appliquer à la chaudière miniature peuvent se résumer par cette formule : pour obtenir et maintenir la *pression nécessaire* et *suffisante* pour un fonctionnement optimal de la machine, il faut une importante quantité de *chaleur*, pour une grande *surface de chauffe* et beaucoup d'eau.

I. Pression = Sécurité - Résistance des matériaux

1) Sécurité.

La chaudière est l'élément du groupe vapeur qui doit être réalisé le plus sérieusement possible pour offrir un maximum de sécurité. Quelque soit son type, la base de construction demeure le tube, de cuivre de préférence, en raison de la très bonne conductibilité calorifique flamme/eau de ce métal.

2) Résistance à la pression.

A titre d'information, un tube de laiton de 50 mm de diamètre et de 5/10^{ème} de mm d'épaisseur résiste à froid à 40 bars/cm².

Gems Suzor, un pionnier du modélisme vapeur réduisait, cette résistance à 20 bars/cm² à chaud, pression que l'on n'atteint jamais à notre niveau.

Il est vrai que plus les parois sont minces, meilleur est le passage des calories.

On admet théoriquement que pour une pression de service demandée et un diamètre de tube D composant la chaudière il faut une épaisseur de tube en mm de :

- jusqu'à 3 bars : $e = D/100$
- de 3 à 7 bars : $e = 2D/100$
- de 7 à 10 bars : $e = 3D/100$

En pratique on s'adapte à l'épaisseur du tube que l'on trouve dans le commerce et en général cette épaisseur est largement suffisante.

II - LE CHAUFFAGE - L'APPORT DE CALORIES

Comme nous l'avons vu précédemment, la production de la vapeur nécessite d'élever une certaine quantité d'eau à une température dépendant de la pression désirée. Les calories indispensables à cette élévation de température sont fournies par le **brûleur** dans lequel se produit la combustion d'un mélange de combustible et d'oxygène contenue dans l'air environnant.

A - LES COMBUSTIBLES

Hormis l'alcool solidifié, réservé aux petites machines fixes, le charbon qui convient plus aux grandes échelles des locomotives de nos amis les vaporistes ferroviaires, et l'essence, presque totalement disparue des réservoirs des modèles réduits d'aujourd'hui, les deux principaux combustibles utilisés sont:

1) - L'alcool éthylique liquide : (alcool à brûler à 90 voire 95°) :

Avantages :

- coût très faible,
- simplicité d'utilisation,
- aucune dépendance vis à vis de la température ambiante.

Inconvénients :

- risque de débordement du brûleur à mèche pouvant entraîner un incendie,
- régulation peu répandue.

2) - Le gaz butane :

Avantages :

- disponible pour un prix relativement modique, il est conditionné en bouteilles, cartouches jetables de formes et capacités diverses,
- peut être transvasé,
- injecteurs, brûleurs champignons et torches (débits variant de 30 à 500 grs/h) disponibles dans les rayons de bricolage, loisirs et commerce spécialisé,
- régulation aisée.

Inconvénients :

- pression variant avec la température. A basse température et/ou en cas de givrage du réservoir, la chute de pression dans le réservoir modifie ou interdit le fonctionnement des brûleurs

Pression effective en bars du butane en fonction de la température :

Température	0° C	5° C	10° C	20 C°	50° C
Butane	0	0,2	0,4	1	4,5

Température d'ébullition du butane - 0,5°C à la pression atmosphérique

Deux techniques permettent de pallier cet inconvénient :

- a) Utiliser un mélange de butane et de 30 à 40% de propane.

Pression effective en bars d'un mélange de 70% de butane et de 30% de propane en fonction de la température

Température	0° C	5° C	10° C	20° C	50 C
Butane+Propane	1,7 2	2,3	3,4	9	

Température d'ébullition du propane - 40,5°C à la pression atmosphérique

Nota : en France, la société *Camping Gaz* commercialise ce mélange sous forme de cartouches pour les réchauds de camping et les chalumeaux de bricoleurs.

- b) Utiliser le gaz en phase liquide. Cette technique nécessite l'adjonction d'un serpentin de vaporisation autour du brûleur, une possibilité de réglage fin du débit ainsi que des précautions lors de l'allumage à froid. C'est l'école compliquée pratiquée par les vaporistes confirmés.

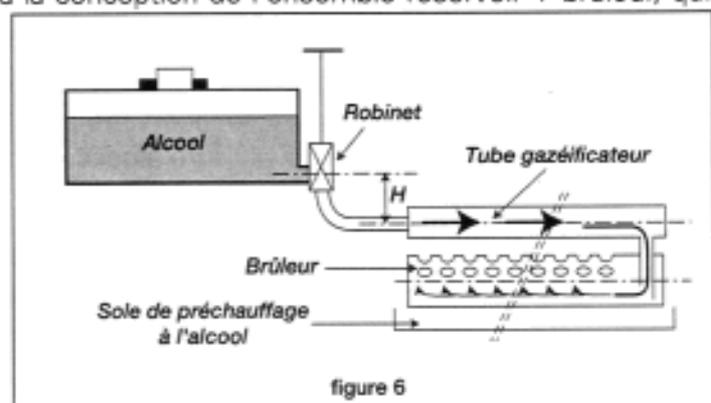
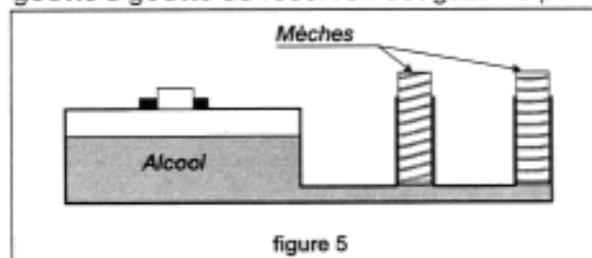
B - LES BRÛLEURS

Deux grands types :

- 1) A flamme molle : ils conviennent particulièrement aux chaudières à foyers extérieurs :

a) A alcool à une ou plusieurs mèche(s) : l'alcool monte dans la ou les mèche(s) par capillarité. Comparable à la lampe à alcool des expériences de chimie ou au réchaud de votre service à fondue, c'est le plus simple ; attention toutefois à la conception de l'ensemble réservoir + brûleur, qui doit interdire tout débordement de liquide sous peine d'incendie (fig. 5).

b) A gaz d'alcool : l'alcool s'écoulant goutte à goutte du réservoir est gazéfié par la



chaleur du brûleur. Le gaz obtenu est diffusé à travers les trous ou fentes d'une rampe. De réalisation plus complexe, il nécessite une légère mise en pression de l'alcool généralement obtenue par mise en charge du réservoir ainsi qu'un préchauffage avant allumage (fig. 6).

c) Au gaz butane ou mélange butane/propane: le gaz sous pression provenant du réservoir ou de la bouteille est introduit dans le brûleur à l'aide d'un injecteur calibré. Il n'est mélangé à l'air avant d'être diffusé à travers les trous ou fentes d'un champignon, d'une rampe ou d'une plaque de céramique. C'est le principe des brûleurs de votre cuisinière à gaz ou de votre réchaud de camping. Les brûleurs céramique sont quant à eux dérivés des chauffages radiants à infrarouge (fig. 7).

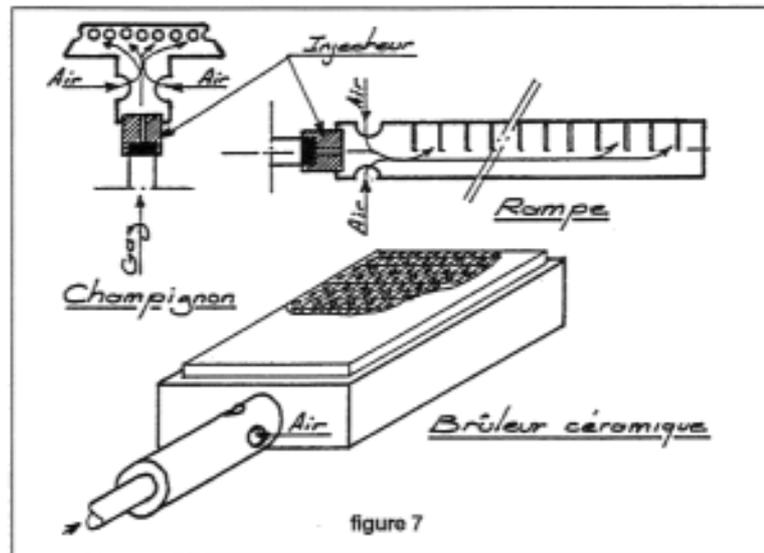


figure 7

2) A flamme dure : ils sont indispensables aux chaudières à foyers intérieurs ainsi qu'à certains foyers extérieurs.

a) à alcool pressurisé : leur fonctionnement est identique à celui des anciennes lampes à souder à essence. Un préchauffage est indispensable à l'allumage. Ils ne sont pratiquement plus utilisés en modèle réduit, une seule marque les commercialise encore.

b) à gaz butane/propane : ils fonctionnent de façon identique à leurs cousins à flamme molle et n'en diffèrent que par la forme et le débit de gaz. Ce sont les brûleurs torche de nos lampes à souder de bricoleur. (fig. 8).

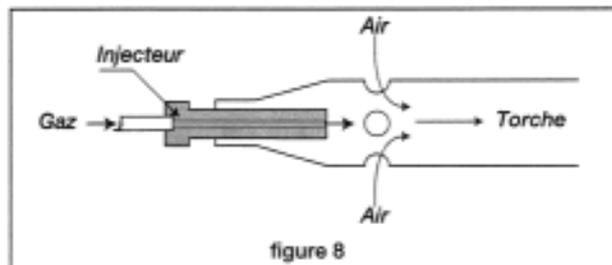


figure 8

3) Autonomie de fonctionnement d'un brûleur : c'est le temps de fonctionnement correspondant à la consommation totale du combustible embarqué. Il est fonction de la capacité du réservoir de combustible et de la consommation moyenne du brûleur.

4) Consommation moyenne : la consommation d'un brûleur s'exprime :

- en centimètres cubes par heure (cm³/h) dans le cas de l'alcool. Sa valeur est déterminée expérimentalement
- en grammes par heure (grs/h) dans le cas du gaz. Les fabricants d'injecteurs et de brûleurs indiquent parfois cette valeur.

C - LES RESERVOIRS

1) Capacité :

C'est le volume maximum, en centimètres cube pour l'alcool ou le poids en grammes pour le gaz, de combustible pouvant être stocké dans le réservoir.

2) Calcul de la capacité :

La capacité peut-être imposée:

- par l'utilisation directe des cartouches du commerce dans le cas du gaz,
- par les dimensions du réservoir dans le cas de l'achat d'un produit fini.

En cas de fabrication personnelle, une solution simple et sécuritaire consiste à déterminer cette capacité de manière à ce que le combustible vienne à manquer avant que la chaudière ne soit totalement vide. Cette façon de faire évite une accidentelle chauffe à sec donc une possible détérioration des brasures, mais nécessite de fréquents remplissages.

3) Conception (cas d'une fabrication personnelle) :

- Réservoir d'alcool :

Il n'est généralement pas sous pression. Sa conception et sa réalisation ne nécessite donc pas d'attention particulière sauf en ce qui concerne les problèmes d'étanchéité, de débordement et de mise à l'air libre. Un robinet d'arrêt est indispensable dans le cas d'un réservoir en charge.

- Réservoir de gaz :

Il doit être conçu, réalisé et testé comme une chaudière. Il est obligatoirement muni d'un robinet d'arrêt et d'une purge. Attention au risque d'explosion d'un réservoir mal conçu, non éprouvé. Son exposition à la chaleur (élévation importante de la température à l'intérieur d'une coque, période estivale, exposition au soleil etc....) multiplie les risques (voir tableaux § I). Il est recommandé de ne pas réutiliser les cartouches jetables vides car toute modification (perçage, brasage....) les fragilise.

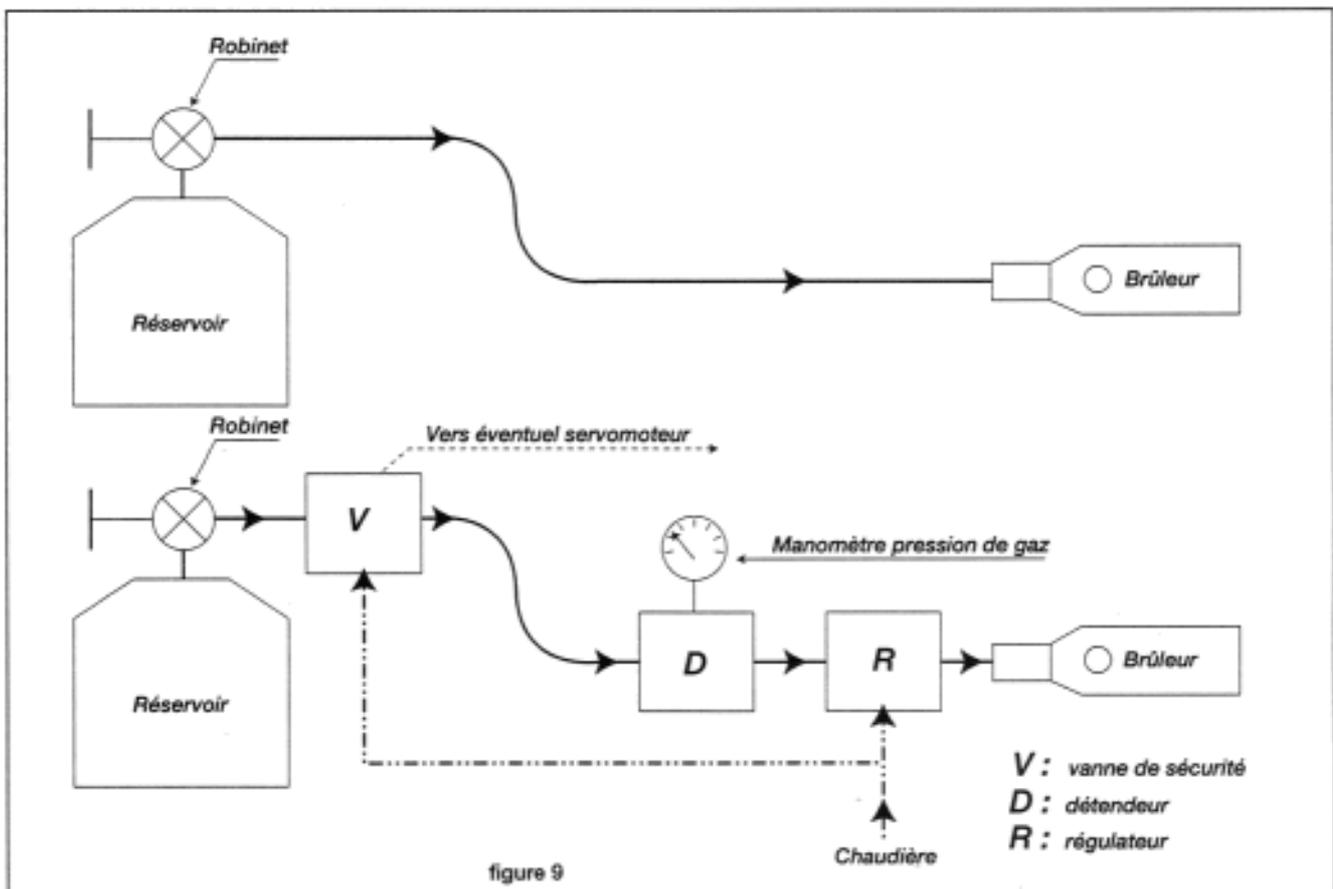
D - LE REGLAGE DE LA PUISSANCE DE CHAUFFE DU BRULEUR

1) Méthode simple (manuelle) :

- Brûleur à mèche(s) : on agit sur la longueur des mèches avant l'allumage.
- Brûleur à gaz : on règle le robinet placé à la sortie du réservoir avant la navigation.

2) Méthode plus sophistiquée automatique applicable au seul brûleur à gaz (d'alcool ou butane et mélange) :

- On utilise un régulateur automatique, voir ci-dessous.



E - LES PLUS

Il faut savoir que trois dispositifs destinés à améliorer le confort et la sécurité d'utilisation peuvent être insérés entre le réservoir et le brûleur (fig. 9) :

- 1) La vanne de sécurité : ce dispositif assure en cas d'incident la fermeture de l'alimentation en combustible, soit :
 - automatiquement en cas de baisse importante de la pression de la vapeur dans la chaudière (manque d'eau, rupture d'un élément...).
 - à l'aide d'un servomoteur commandé par la radio du modéliste
- 2) Le régulateur automatique de chauffe : placée en amont du brûleur, cette vanne dont le réglage est asservi à la pression régnant dans la chaudière permet d'en modifier automatiquement le débit d'alimentation en cours de navigation. Ce système permet d'économiser le combustible et l'eau.
- 3) Le détendeur : exclusivement réservé à l'utilisation du gaz butane pur ou mélangé, il permet un réglage précis de la pression du gaz ainsi que son maintien quelles que soient les variations de température.

III. Surface de chauffe.

On la définit comme étant la surface où a lieu la transmission de chaleur entre les flammes et les gaz chauds du foyer d'une part et l'eau d'autre part. Il s'agit pour nos modèles, des tubes bouilleurs et des demi corps inférieurs des chaudières pour les chaudières horizontales ou les « tubes de fumée » et fond pour les chaudières verticales.

Pour déterminer d'une façon approchée la surface de chauffe adéquate on peut s'aider de la formule de Pierre DUBARRY, un théoricien de la vapeur :
$$S = \frac{C_x P_x R}{4v1000}$$

Surface :
$$\frac{\text{Cylindrée} \times \text{poids de la vapeur} \times \text{Régime de la machine}}{4 \times 1000}$$

en dm² en dm³ au litre en t/mm

On considère bien sûr que la machine fonctionne à une pression maximum donnée et qu'à cette pression on connaisse son régime.

IV. L'eau - Autonomie.

C'est le problème majeur auquel est confronté le vaporiste. Quelle contenance effective doit avoir la chaudière pour avoir une autonomie d'une vingtaine de minutes en évitant la chauffe à sec et ses conséquences désastreuses.

Par expérience, encore une fois on admet approximativement qu'elle doit être égale à 120-130 fois la cylindrée totale de la machine fonctionnant sous 3 bars environ.

La contenance effective correspond à la chaudière remplie aux 3/4 de son volume. Jamais au-dessus, sinon il n'y a pas de volume libre suffisant pour que la vapeur puisse se stocker et de plus on envoie de l'eau dans les cylindres.

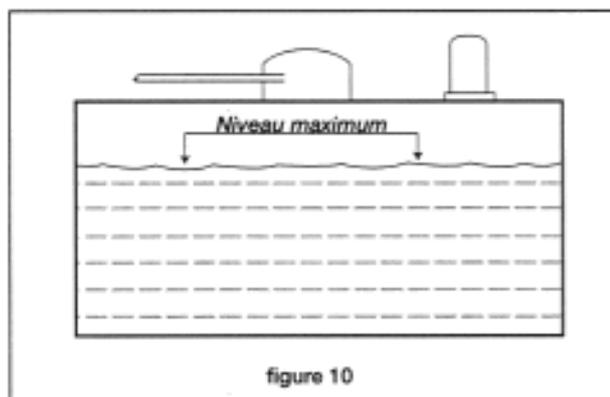


figure 10

V. Les caractéristiques des chaudières : en modélisme elles sont classées selon leur forme et le type de foyer utilisé. Elles peuvent être horizontales ou verticales à foyer interne ou externe.

1) Les chaudières horizontales

a) à foyer interne à tubes bouilleurs transversaux : c'est le modèle de chaudière le plus couramment utilisé. (fig. 11)

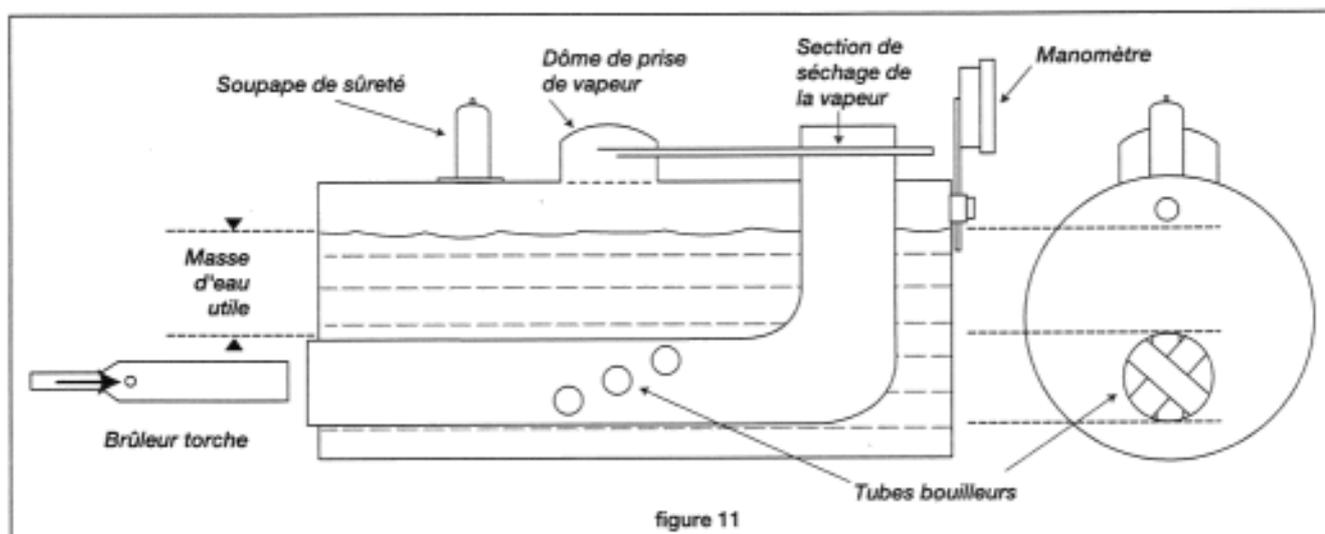


figure 11

Le foyer exige un brûleur torche à flamme dure alimenté soit au gaz soit à l'alcool pressurisé.

Avantages :

Comme elles sont basses, leur hauteur, correspondant au diamètre du tube utilisé, permet ainsi d'abaisser le centre de gravité du bateau. Elles sont intéressantes pour les coques étroites, car elles ne nécessitent pas de protection contre les flammes. Leur calorifugeage est très facile car se faisant de l'extérieur.

Inconvénients : leur construction est délicate. Le brûleur envoie à l'extérieur une grande quantité de calories non utilisées car la surface de chauffe est moyenne. La masse d'eau utile est peu importante par rapport à la contenance totale de la chaudière, (voir fig.11), puisque les tubes bouilleurs doivent toujours rester en eau sous peine de fondre les brasures. L'ensemble est assez lourd.

b- à foyer externe : c'est le modèle qui offre la plus grande variété mais nous bornerons la présentation aux deux types les plus simples dont les foyers sont obligatoirement à flammes molles produites par la combustion du gaz ou de l'alcool.

- sans tubes bouilleurs, modèle pour débiter en vapeur (fig. 12).

C'est un tube de cuivre chauffé par dessous par un brûleur à alcool à mèches à l'intérieur d'une enveloppe métallique. (voir chap. chauffage)

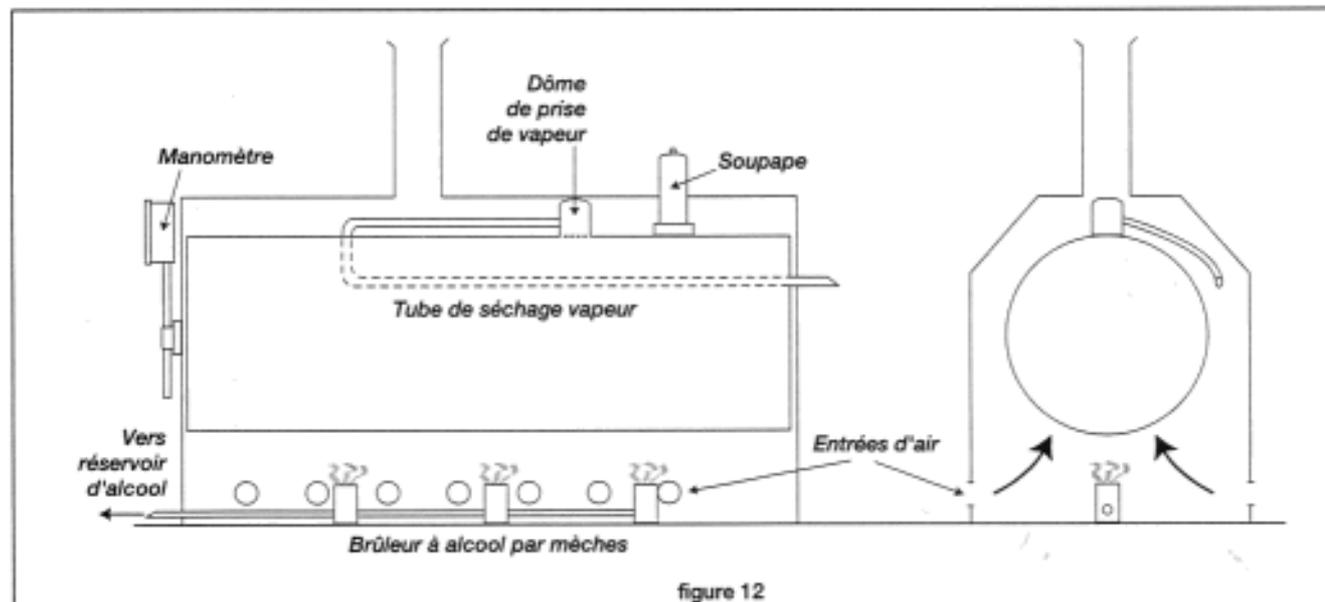
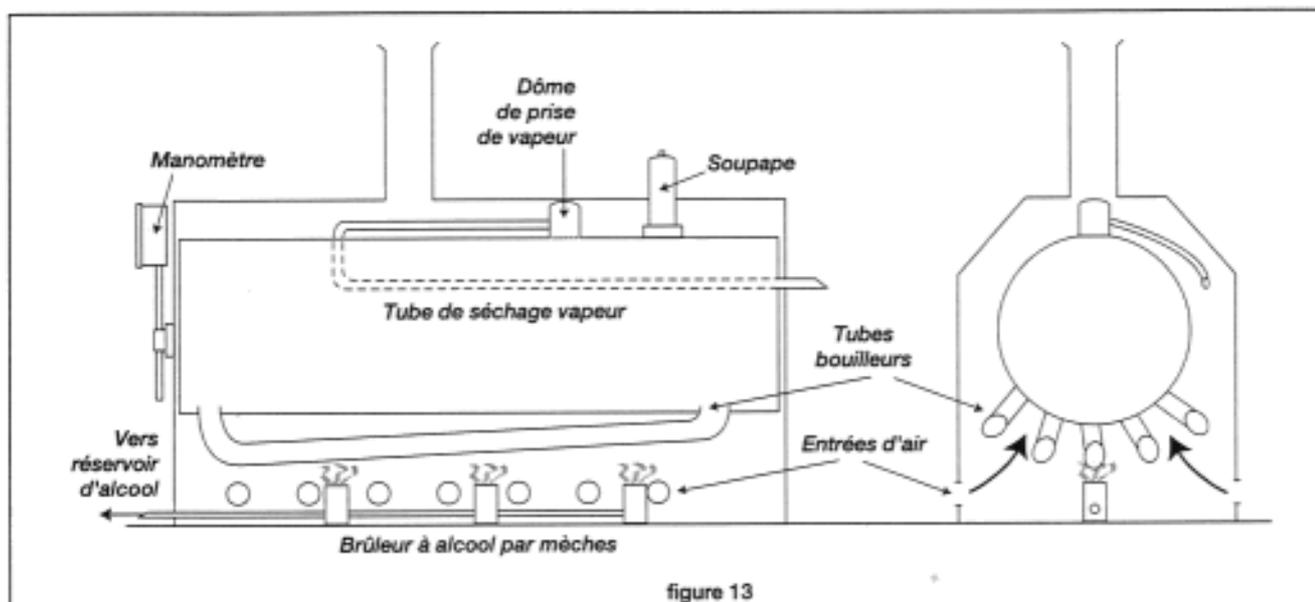


figure 12



- avec tubes bouilleurs (fig. 13)

Même construction que la précédente, avec ajout de tubes bouilleurs longitudinaux. La chauffe peut être soit à l'alcool soit au gaz par rampe.

Avantages :

- Construction relativement simple.
- Permet l'utilisation d'un combustible très bon marché : l'alcool éthylique.
- Le volume d'eau utile est important car il correspond à la capacité de la chaudière remplie aux 3/4.
- La version avec tubes bouilleurs permet d'augmenter la surface de chauffe ainsi que la capacité en eau et d'améliorer la circulation de l'eau.

Pour mémoire : un tube de cuivre de 6 mm de diamètre et 1 m de longueur représente sur le demi-corps inférieur 0,9 dm² et 12 cm³ de volume intérieur.

Inconvénients : élévation du centre de gravité à cause de la hauteur nécessaire pour loger la flamme et son brûleur. Calorifugeage en laine de roche plus délicat à réaliser pour une bonne isolation de l'intérieur du bateau.

2) Les chaudières verticales :

C'est un modèle moins courant car il ne concerne qu'un style de bateau : les chaloupes et canots. On y trouve également deux types :

a - à tubes bouilleurs et foyer interne (fig. 14)

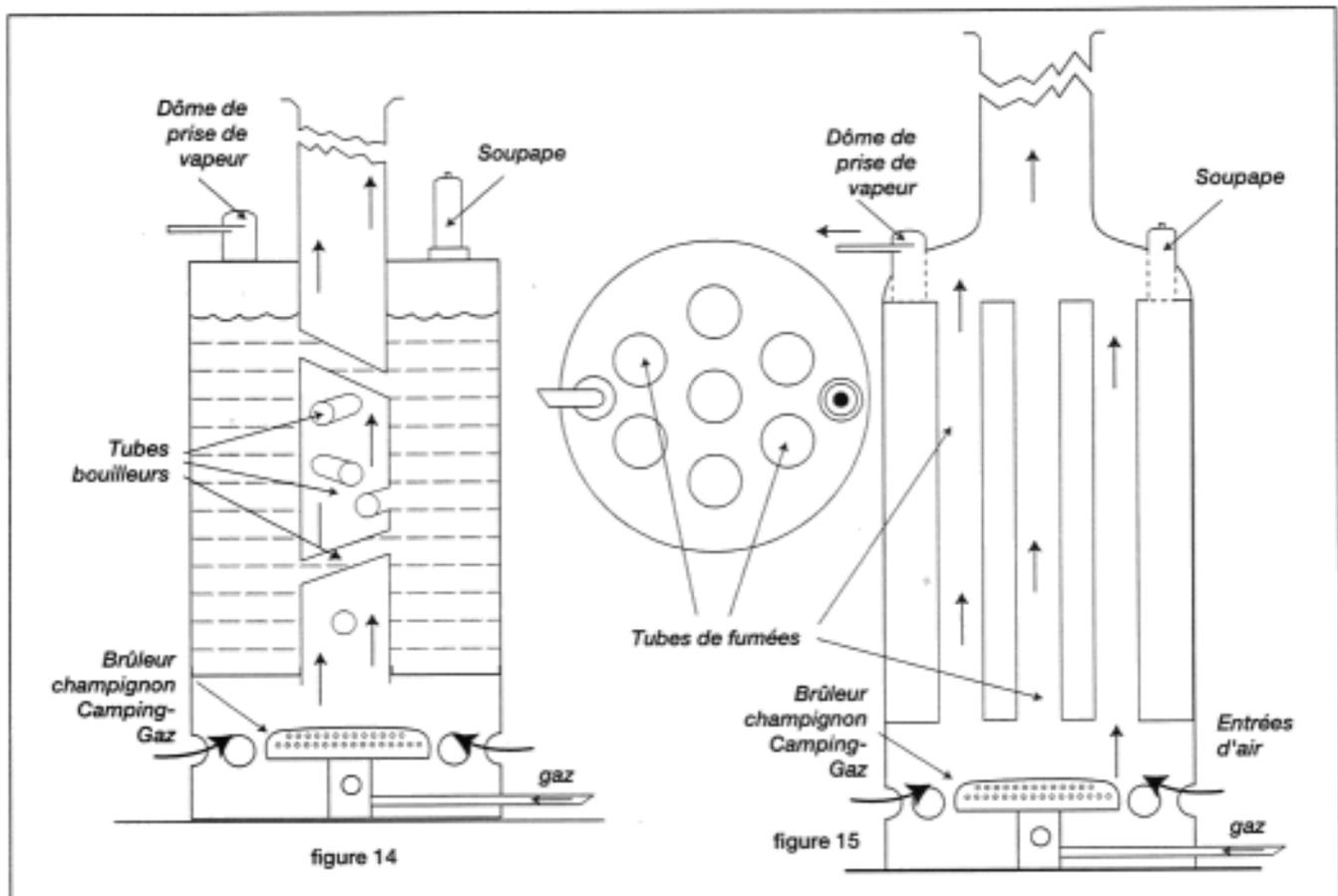
C'est le même principe que pour la chaudière horizontale.

b - à tubes de fumée (fig. 15)

Principe original puisque ce sont les gaz chauds du foyer qui, parcourant les tubes, chauffent l'eau qui les environne. Elles fonctionnent au gaz et à l'alcool.

Avantages : le foyer étant enveloppé par l'eau de la chaudière, les déperditions calorifiques sont limitées. La surface de chauffe se trouve augmentée en particulier dans la version à tubes de fumée.

Inconvénients : la réalisation est plus délicate. La grande hauteur de ce modèle place assez haut le centre de gravité et convient aux embarcations assez larges. La capacité en eau est réduite compte tenu du volume qu'occupent les tubes de fumée.

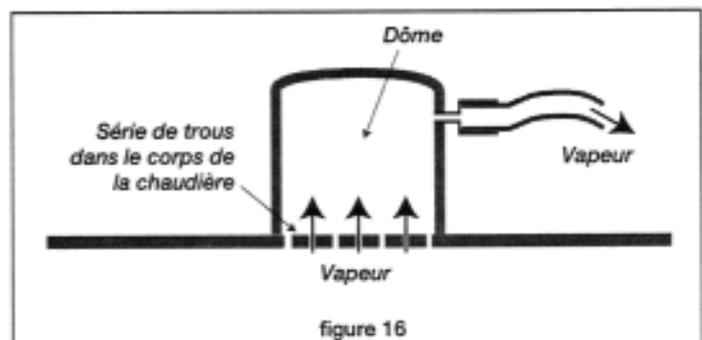


ATTENTION : la construction des différents modèles nécessite l'emploi de la brasure argent. Ne jamais souder à l'étain les différents éléments d'une chaudière.

VI Equipement de la chaudière

- Accessoires obligatoires pour débiter :

1) **Prise de vapeur :** elle se fera dans la partie supérieure d'un **dôme** de vapeur, à placer au centre de la génératrice supérieure du corps de la chaudière afin d'éviter, lors des coups de tangage, d'envoyer de l'eau dans le collecteur de vapeur puis les cylindres.



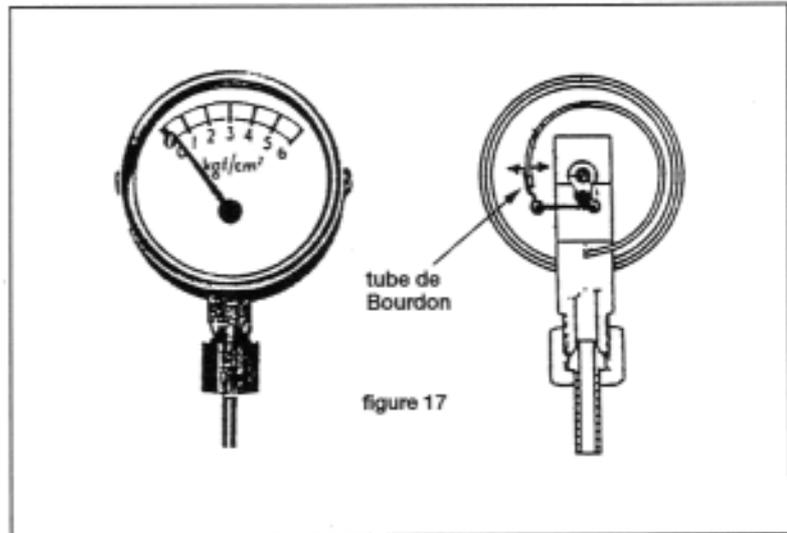
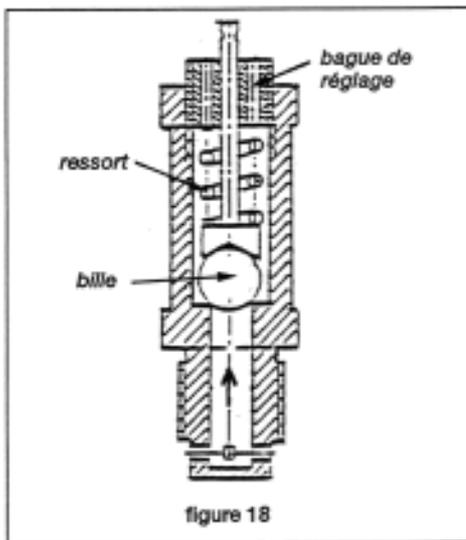
2) **Manomètre :** instrument très utile pour contrôler constamment la pression et tarer la **soupape** au **timbre**. Il est conseillé d'acheter un manomètre dont les possibilités sont supérieures de 3 ou 4 bars à la pression de service pour ne pas trop fatiguer son mécanisme.

Ceux qui acquèreront un «mano» aux mesures anglo-saxonnes, gradué en P.S.I (Pound per Square Inch : livre par pouce carré) pourront obtenir la pression en bars en multipliant le nombre par 7 et en divisant le produit par 100.

Ex. : 50 PSI = 3,5 bars.

Il faudra le monter avec un siphon afin que ce soit l'eau de condensation qui, s'y déposant, agisse sur le tube de Bourdon afin d'éviter encore une fois sa fatigue. (fig. 17)

3) **Soupape de sûreté :** c'est un organe qui demande un soin particulier à sa réalisation. Elle ne doit pas fuir. La bille qui la constitue et qui est maintenue par un ressort dont la compression est réglable doit retomber très vite lorsque la pression est revenue au timbre. (fig. 18)



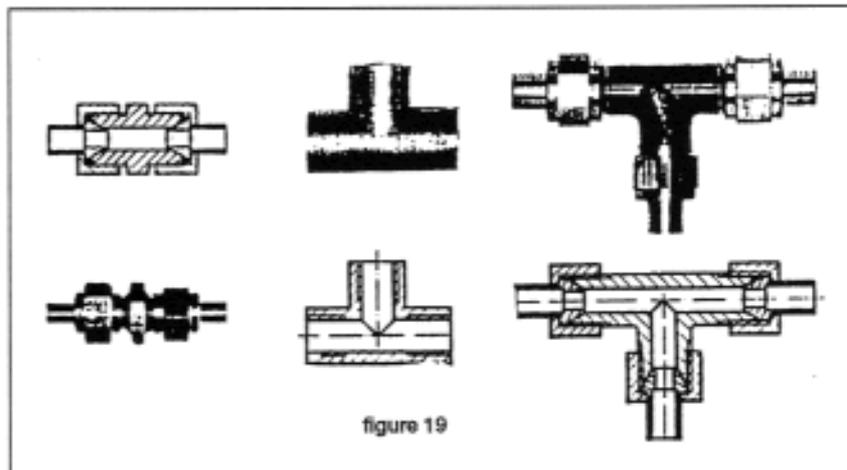
Tests de sécurité :

- La chaudière et tanks a gaz doivent être testés sous pression (pour les réalisations personnelles).

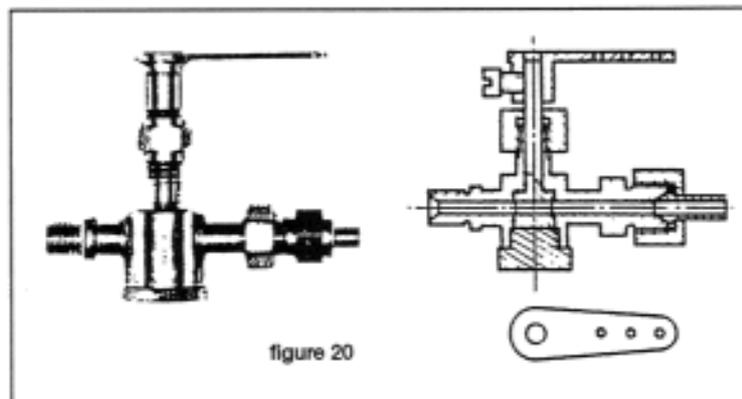
Les tests s'effectuent à l'eau froide au double de la pression de service.

Il existe un testeur dans la région parisienne à qui vous pouvez demander d'éprouver votre chaudière. (voir adresse en fin d'ouvrage)

4) La tuyauterie : produire le fluide vapeur est une chose, l'acheminer dans de bonnes conditions à son point d'utilisation en est une autre.



a) Le tube d'alimentation : il sera de petit diamètre et en laiton car c'est un mauvais conducteur thermique. Il devra être calorifugé et le plus court possible, car plus la vapeur parcourt de distance, plus elle perd de pression. Les coudes à 90° freinent le passage de la vapeur et, lorsqu'ils sont nombreux, font chuter notablement la pression. **On optera donc pour les courbes de grands rayons.**



b) Le tube d'échappement : il sera en cuivre, car excellent conducteur thermique, et non calorifugé, avec un diamètre égal au double de celui du tube d'alimentation. La longueur sera très courte pour échapper la vapeur le plus rapidement possible à l'air libre.

5) Les raccords coniques. (fig.19)

6) La robinetterie. (fig. 20 : vannes radiocommandées et 20 a)

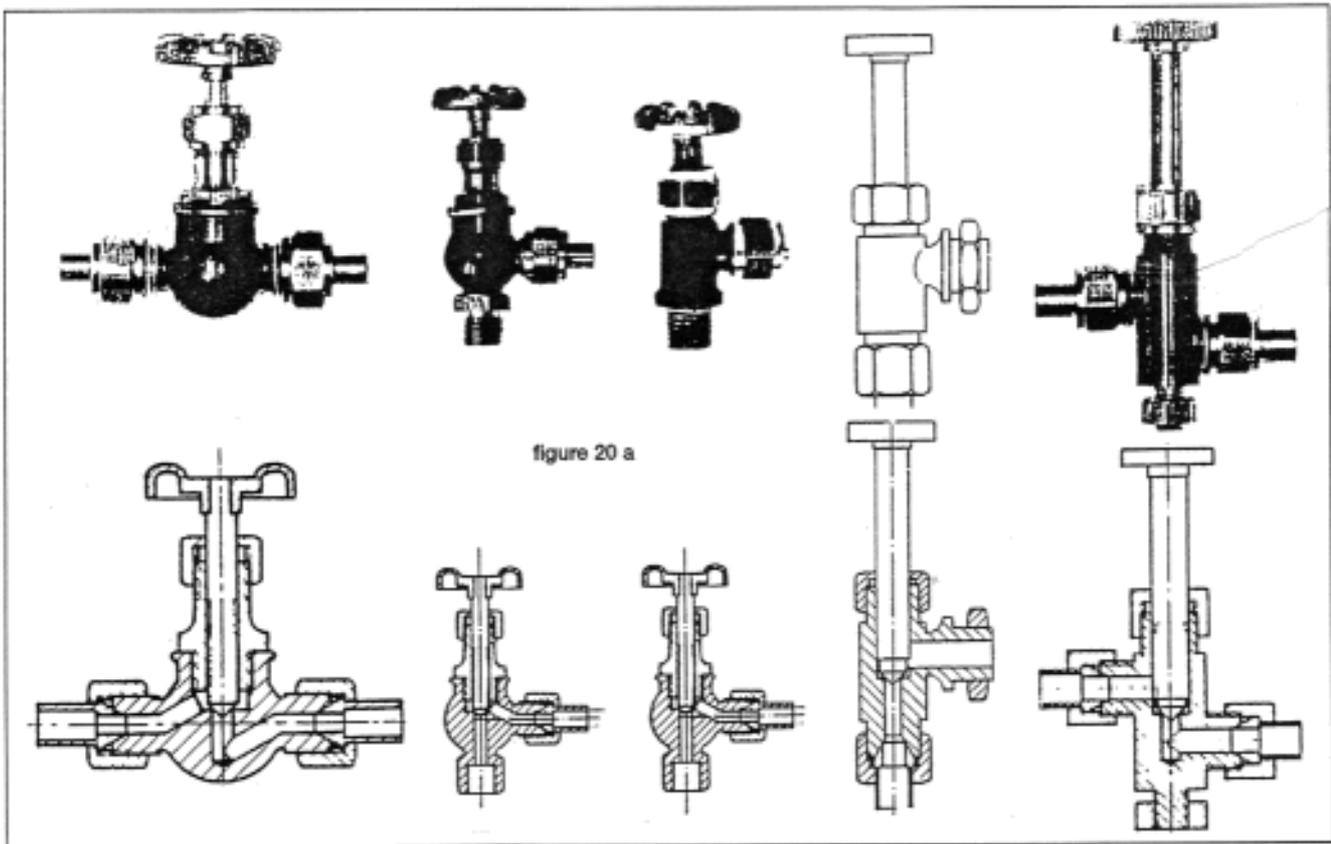


figure 20 a

CHAPITRE II

LES MACHINES A VAPEUR MODELE REDUIT

A - GENERALITES : préalablement à la description des deux principaux types de machines utilisées en modèle réduit nous allons commencer par revenir brièvement sur le principe de fonctionnement de la machine à vapeur tout en explicitant quelques termes utilisés dans la suite de l'exposé.

1) Principe de fonctionnement : le fonctionnement de la machine à vapeur est basé sur l'action de la force expansive de la vapeur sur la surface :

- d'un **piston** couissant dans un **cylindre** dans le cas d'une machine alternative (fig. 21).

- des aubes d'une roue dans le cas d'une machine à turbine (fig. 22).

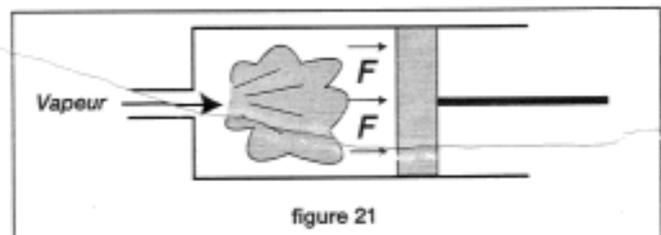


figure 21

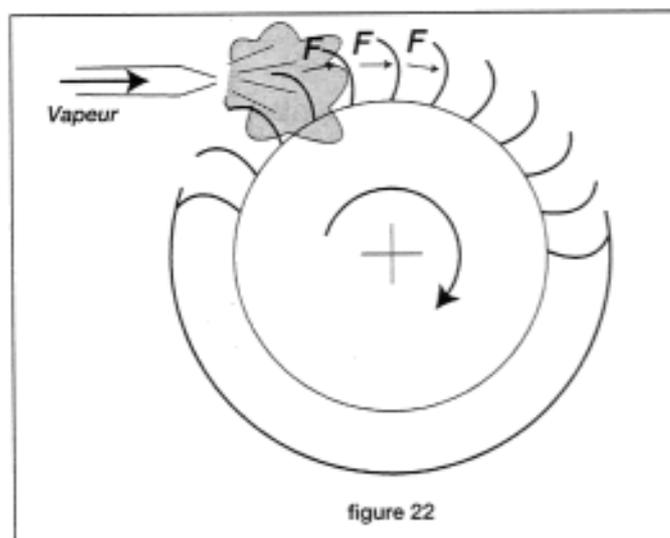
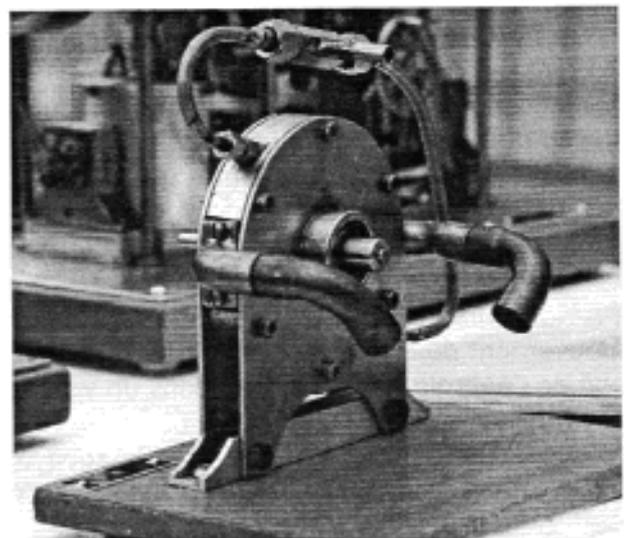


figure 22



2) Fonctionnement d'une machine alternative (fig. 23) :

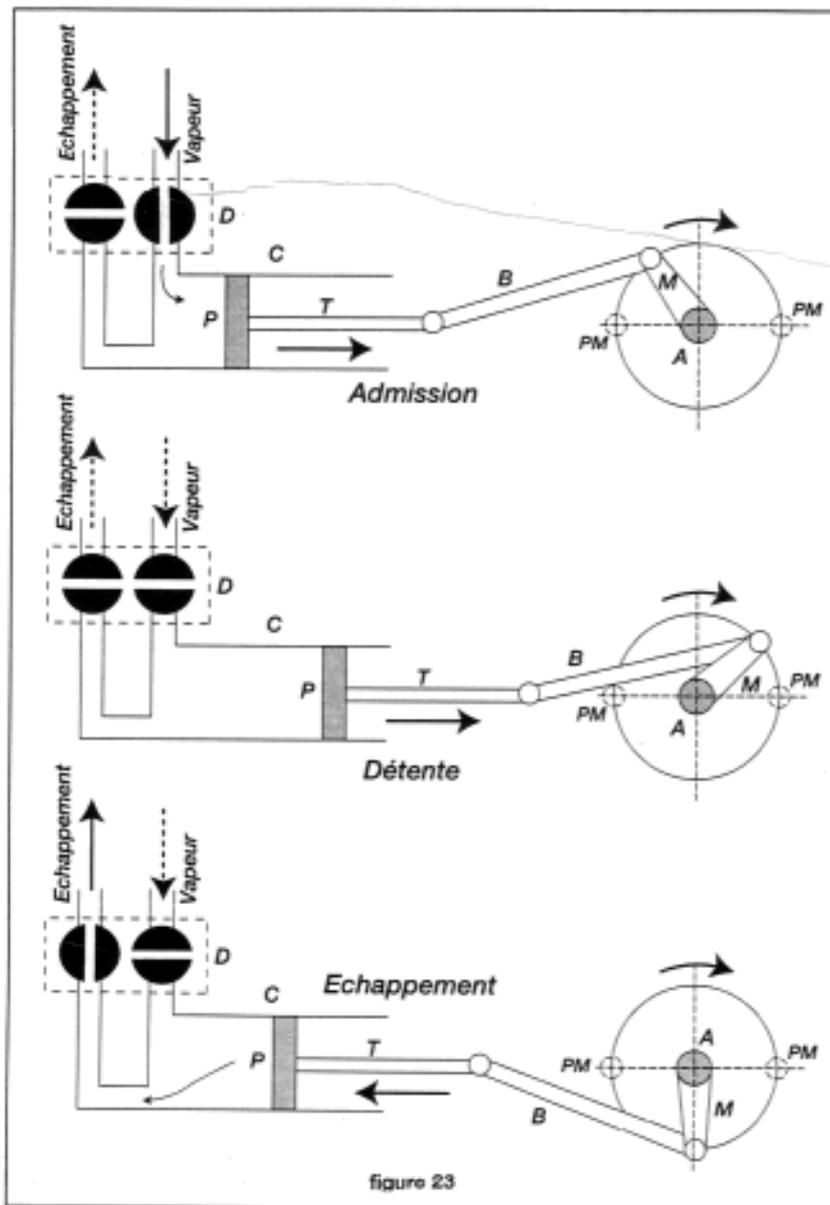
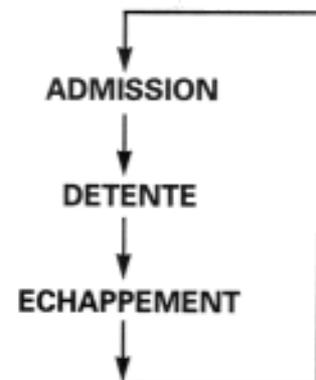


figure 23

la vapeur provenant du générateur de vapeur, est introduite à l'une des extrémité du cylindre C pendant une phase d'admission. En se détendant, cette vapeur repousse le piston P, c'est la phase de détente. La tige de piston et la **bielle** B transmettent ce mouvement linéaire à la **manivelle** M qui le transforme en un mouvement de rotation de l'arbre A. L'ensemble manivelle + arbre est appelé **vilebrequin**. Après avoir « travaillé » la vapeur est évacuée hors du cylindre, c'est la phase d'échappement et de retour du piston à sa position initiale.



Afin d'obtenir la succession des phases, un dispositif appelé **distributeur** est inséré entre la chaudière et le cylindre. Il ouvre et ferme les **lumières** l'admission et

d'échappement en fonction de la position du piston. Les deux positions diamétralement opposées de la manivelle correspondant aux positions extrêmes du piston sont les **points morts**. Dans ces positions **la machine n'est pas motrice et peut donc caler**.

3) Machine horizontales, verticales en ligne et en V

Une machine est horizontale lorsque les cylindres sont placés horizontalement au même niveau que le vilebrequin. La machine verticale à les siens disposés au-dessus. Dans ce dernier cas ils peuvent être en ligne ou en V.

4) Machine à simple et à double effet :

Une machine est dite à simple effet lorsque la vapeur n'agit que sur une face du piston, le mouvement de retour du piston ainsi que le « passage » des points morts sont assurés par la restitution de l'énergie emmagasinée dans un **volant** solidaire du vilebrequin. Cette machine n'est « motrice » que sur environ 1/2 tour.

Elle est dite à double effet lorsque la vapeur agit alternativement sur les deux faces du piston. Cette disposition permet à la machine d'être motrice sur pratiquement un tour exception faite des points morts qui sont « passés » comme précédemment par inertie.

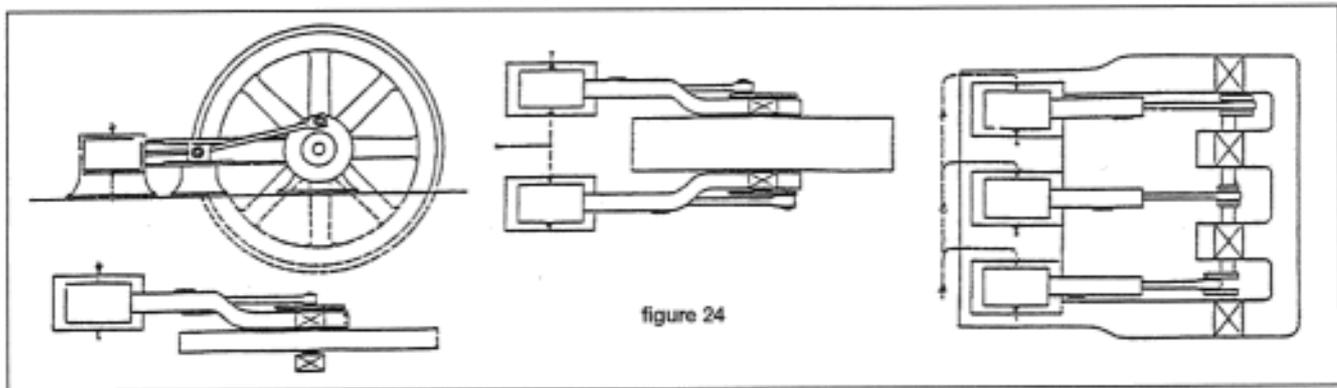


figure 24

5) Machine mono. bi ou multi-cylindre :

Lorsqu'elle ne comporte qu'un seul cylindre, qu'il soit à simple ou double effet, la machine est dite monocylindre. Lorsqu'elle comporte deux cylindre la machine est dite bicylindre, tricylindre si elle en comporte trois et ainsi de suite ... (fig.24)

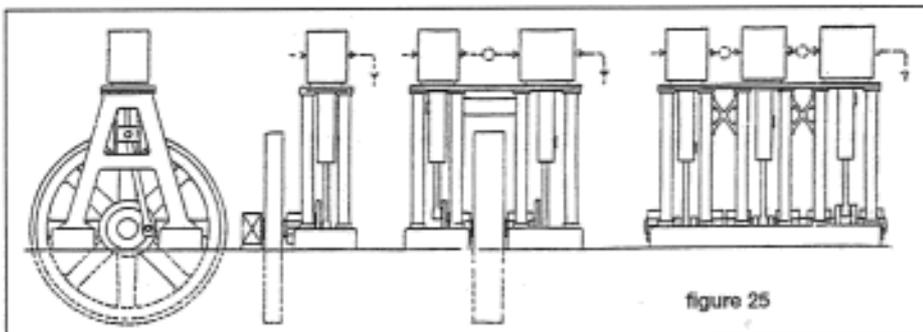


figure 25

6) Machines simple ou multi-expansion

Une machine mono ou multi-cylindre est dite à simple expansion lorsque la vapeur vive n'est utilisée qu'une fois avant d'être échappée. Une machine bicylindre est dite à double expansion ou compound lorsque la vapeur échappée du premier cylindre haute pression achève de se détendre dans le second cylindre basse pression d'un **alésage** supérieur. Une machine est dite à triple expansion lorsque la vapeur est successivement détendue dans 3 cylindres haute, moyenne et basse pression (fig. 25). Ainsi, une machine peut être à double effet à simple expansion ou à double effet compound voire à triple expansion.

B - CARACTERISTIQUES D'UNE MACHINE

1) **Cylindrée** : exprimé en cm³ dans le cas de nos petites machines c'est le produit de la surface du piston par sa course soit :

$$\text{Cylindrée} = \pi \times D^2 / 4 \times C$$

D = alésage ou diamètre du cylindre en cm,

C = **course** du piston, en cm, généralement $1D < C < 2D$.

Le résultat est à multiplier par 2 dans le cas d'une machine monocylindre à double effet ou bicylindre à simple effet, par 4 dans le cas d'une bicylindre double effet, et ainsi de suite.

2) **Puissance**: la puissance des machines à vapeur propulsant nos modèles est généralement égale à quelques centièmes de CV ou une dizaine de watts. Pour mémoire, en théorie, la puissance en chevaux des machines grandeur s'obtient en appliquant la formule :

$$P = \text{Cylindrée en dm}^3 \times N \text{ en t/mn} \times P_{\text{eff.}} \times K$$

P_{eff.} est la pression efficace en bars sur la surface du piston, K est un coefficient dépendant du type de machine : à simple ou double effet

En pratique, en modélisme, le tableau ci-dessous permet d'obtenir une assez bonne approche de la cylindrée d'une machine en fonction du déplacement du modèle à propulser.

Déplacement en kg	Cylindrée en cm ³
D < 5 kg	2 à 3,5
5 < D < 10	4 à 5
10 < D < 15	6 à 11
15 < D < 30	12 à 20

Les valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous correspondent aux cylindrées de machines à double effet, tournant à une vitesse de d'environ 1000 t/mn en charge (hélice immergée) et ali-

mentées à une pression manométrique chaudière \approx 3 bars.

3) Rendement

L'énergie mécanique peut être intégralement transformée en chaleur, en revanche l'énergie calorifique ne peut que partiellement se transformer en énergie mécanique. Il a été constaté à ce propos que les meilleures machines à vapeur grandeur ne pouvaient transformer qu'environ 35% de chaleur en travail. Que dire alors de nos machines modèles !

A titre informatif, le rendement théorique se calcule à l'aide de la formule :

$$R = (T1 - T2) / T1$$

avec : **T1**: température d'entrée ; **T2** : température de sortie.

R doit tendre vers **1** étant bien entendu qu'un rendement égal à **1** est impossible à atteindre

C - CONTROLE DE L'ALLURE D'UNE MACHINE

1) Généralités : à simple ou double effet, la machine monocylindre nécessite d'être lancée. L'inertie du volant permet ensuite de s'affranchir des points morts en marche continue.

Si l'utilisateur désire arrêter sa machine et être sûr de la voir repartir sans aide extérieure il lui sera nécessaire de disposer au minimum d'une machine bicylindre qui sera de plus à double effet. Les manivelles des deux cylindres seront décalées de 90° l'une par rapport à l'autre de façon à ce que l'un des cylindres soit «moteur» lorsque l'autre est au point mort et ainsi de suite. De la même façon une machine tricylindre aura les manivelles de son vilebrequin décalées de 120° (fig. 26).

Tableau récapitulatif des possibilités d'arrêt et de redémarrage sans aide extérieure des machines en fonction du nombre de cylindre et du type d'effet :

Nombre de cylindres	Type	Calage manivelle(s)	Arrêt + démarrage
1	simple effet	-	non
1	double effet	-	non
2	simple effet	180°	non
2	double effet	-90°	oui
3	simple effet	-120°	oui
3	double effet	-120°	oui
4	simple effet	-90°	oui
4	double effet	-90°	oui

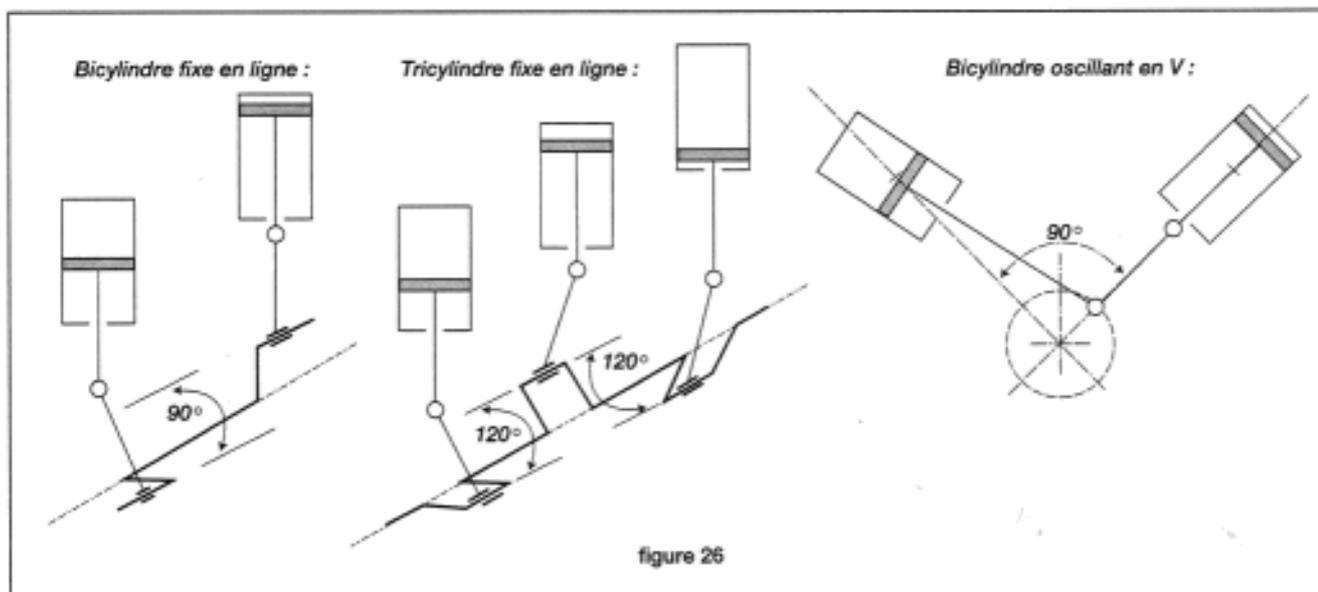


figure 26

2) Variation de la vitesse et arrêt : la plus ou moins grande ouverture du **régulateur** (vanne généralement radiocommandée placée en amont de la machine) fait varier le débit de la vapeur, donc la vitesse de rotation de la machine et provoque son arrêt en cas de fermeture totale.

3) Inversion : à moins d'être réalisée à l'aide d'un inverseur mécanique placé à la sortie de la machine, l'inversion du sens de marche passe fatalement par une phase d'arrêt. D'après le tableau précédent cette inversion ne pourra donc être effectuée sans intervention extérieure qu'avec des machines multicylindres.

D - GRAISSAGE D'UNE MACHINE

A l'instar de leurs grandes soeurs, nos machines nécessitent un graissage des organes externes : **paliers**, têtes de bielles, articulations, **glissières**, mais également, et bien qu'utilisant de la vapeur saturée (relativement humide), un graissage des organes internes : piston, **tiroir**, valve rotative....

Les organes externes sont graissés légèrement «à la burette» avant chaque fonctionnement, à l'aide d'une huile non détergente du type de celle utilisée pour la lubrification des ponts d'automobiles. Les seconds sont lubrifiés par introduction d'huile dans le circuit d'alimentation en vapeur. Hormis l'ajout d'huile soluble à l'eau de la chaudière des machines jouets fixes au moment du remplissage (solution peu recommandée en raison de l'encrassement provoqué), deux possibilités s'offrent au modéliste :

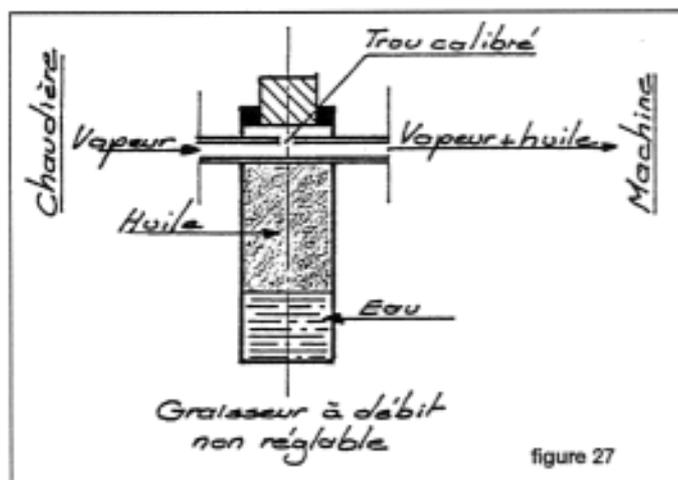


figure 27

- Placer un **graisseur à déplacement** sur le tuyau d'alimentation en vapeur à proximité immédiate de la machine (fig. 27). C'est un système simple très répandu sur nos modèles à vapeur non surchauffée et à échelle relative réduite. Il fonctionne par condensation d'une infime partie de la vapeur destinée au moteur et par la différence de densité existant entre l'eau et l'huile. Dans ce type de graisseur, on utilise une huile non détergente de viscosité élevée ne se décomposant pas à la température d'utilisation. Attention aux «huiles de chauffe», réservées aux températures élevées donc aux pressions élevées qui ont une

fâcheuse tendance à gommer nos petites machines. A noter qu'en l'absence d'une huile idoine, l'huile d'olive convient.

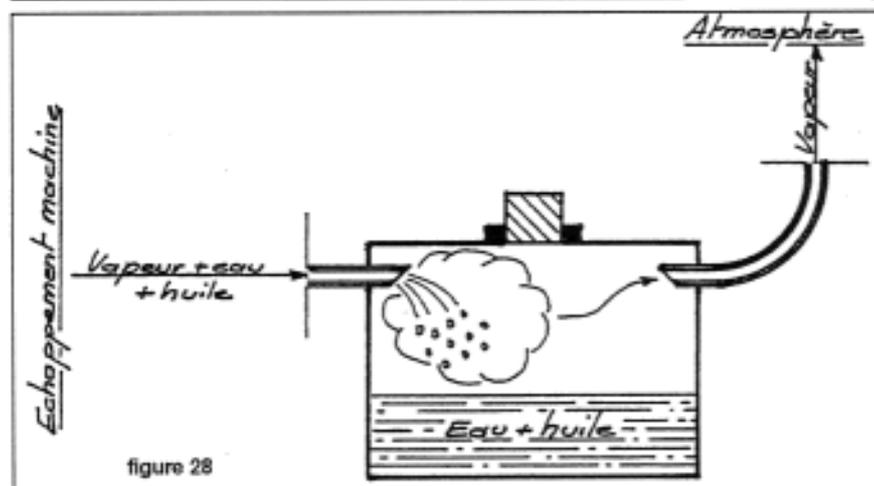


figure 28

- Installer un graisseur mécanique qui n'est autre qu'une petite pompe entraînée par la machine. Difficile à installer, dans l'exiguïté de nos modèles, cette technique certainement la meilleure, est couramment utilisée par les vaporistes ferroviaire.

E - ECHAPPEMENT DE LA VAPEUR

Sans **condenseur** il se fait à l'air libre dans la cheminée ou au niveau du bordé suivant le type du bateau. Quelque soit la position du tube d'échappement il est conseillé d'insérer un séparateur ou déshuileur sur son parcours (fig. 28). Ce dispositif simple qui a pour but de séparer et de recueillir l'huile ainsi que l'eau de condensation mélangées à la vapeur évite au modéliste de salir les super-

structures de son modèle ou de polluer l'eau du plan d'eau

F - PRINCIPALES MACHINES UTILISEES EN MODELE REDUIT

Cet ouvrage, destiné au débutant, ne traitera pas des machines alternatives compound et des machines à turbines. Les principes de base et le vocabulaire vaporiste survolé, passons à l'étude succincte de deux machines alternatives couramment utilisées en modélisme.

1) Machine à cylindre(s) oscillant(s)

De part la conception de sa distribution c'est une machine simple. Toutes les combinaisons, mono, multicylindre, simple ou double effet avec cylindres horizontaux, verticaux en ligne ou en V, peuvent être imaginées.

Principe de fonctionnement : en oscillant autour d'un axe, le cylindre dont la tige de piston est directement articulé sur le vilebrequin assure lui-même la mise en coïncidence des lumières percées dans le sabot solide du cylindre et dans la glace solide du bâti (fig. 29).

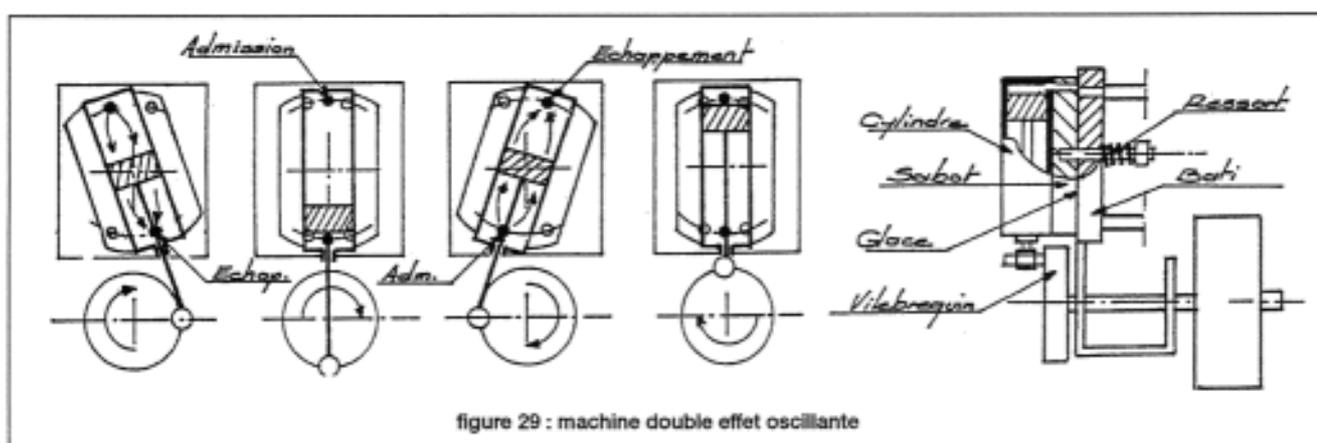


figure 29 : machine double effet oscillante

Avantages :

- Peu de pièces en mouvement \Rightarrow réduction du nombre d'articulation \Rightarrow plus grande facilité d'exécution,
- Ne nécessite pas de réglage de la distribution,
- Possibilité de gérer la variation de la vitesse ainsi que l'inversion du sens de rotation avec un seul servomoteur par simple permutation de l'admission et de l'échappement.

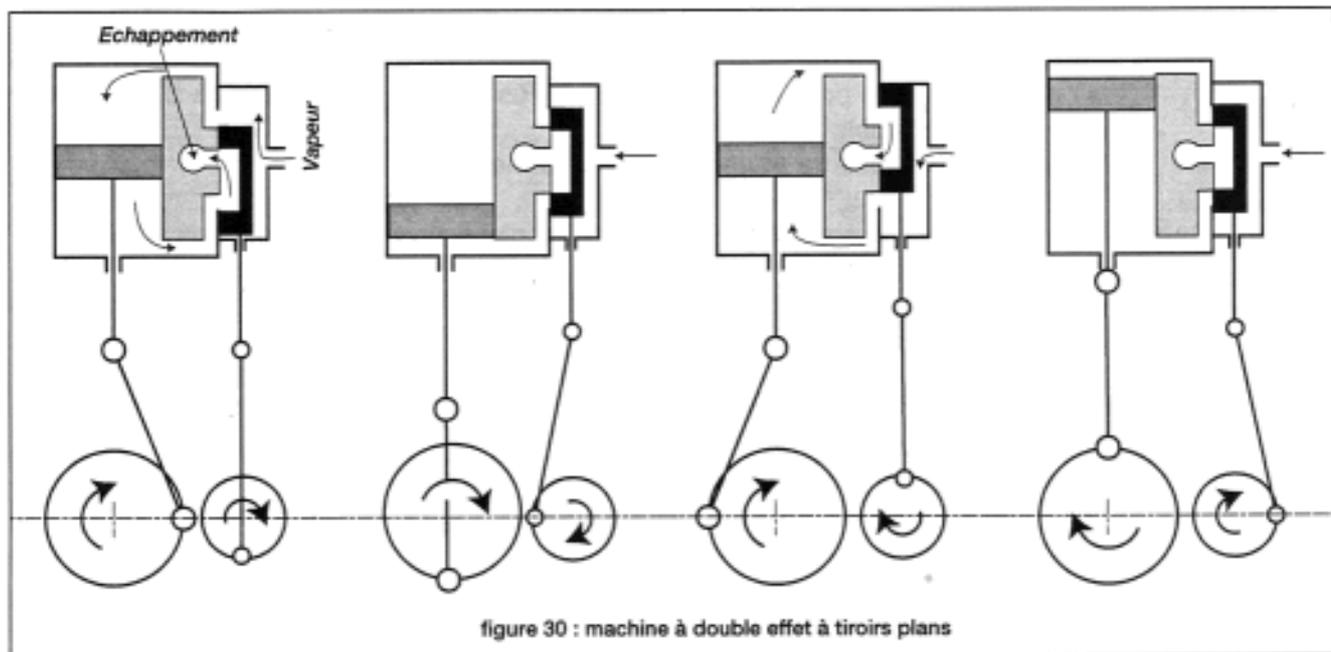
Inconvénients :

- Fuites de vapeur inévitables au niveau des glaces, pression de vapeur limitée à \approx 3 bars.
- **Diagramme de distribution** symétrique ne permettant pas d'optimiser le fonctionnement.

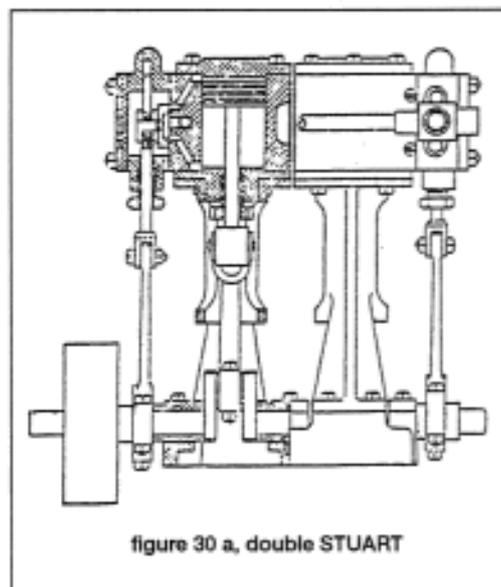
Réalisation : la réalisation d'une telle machine est simple et ne nécessite qu'un outillage de base. L'utilisation d'un tour parallèle facilite les choses bien que dans les années 1975, **A. Sentz** proposait la réalisation d'une telle machine, sans utilisation de machine-outils.

2) Machine à cylindre(s) fixe(s) : ce type de machine était utilisé sur les derniers vapeurs grandeur. De même que précédemment, toutes les combinaisons et dispositions peuvent être imaginées. La machine la plus couramment utilisée, dite « machine pilon », est composée de deux cylindres verticaux à double effet disposés en ligne.

Principe de fonctionnement : dans ces machines, la tige du piston agit sur le vilebrequin par l'intermédiaire d'une bielle. L'ouverture et la fermeture des lumières sont assurées par le déplacement d'un **tiroir** plan ou cylindrique. Accolé au cylindre, le tiroir placé dans une boîte à vapeur est animé d'un mouvement alternatif lié à celui du piston par un système de bielle et d'**excentrique** solidaire du vilebrequin de la machine (fig. 30 et 30 a).



Nota : un autre système à valve rotative, moins répandu que le précédent a pour principe la mise en coïncidence de lumières percées ou fraisées dans un arbre entraîné par le vilebrequin tournant dans un bloc alésé, lui même percé ou fraisé.



Avantages :

- Machine plus réaliste surtout dans sa version à tiroir(s) plan(s) ou cylindrique(s),
- Possibilités de fuites limitées aux **presse-étoupes** des tiges de piston et de tiroir,
- Pas de limite de la pression de fonctionnement,
- Possibilité par des réglages de la distribution d'optimiser la détente de la vapeur dans le cylindre, donc d'améliorer la régularité de la marche ainsi que la consommation.

Inconvénients :

- Nombre important de pièces en mouvement \Rightarrow accroissement du nombre d'articulation \Rightarrow réalisation plus délicate.
- L'inversion du sens de rotation s'obtient généralement par modification de la position relative du tiroir par rapport à celle du piston. Deux servomoteurs sont alors nécessaires à la télécommande de ce type de machine :

- l'un assure l'inversion du sens de rotation,
- l'autre, en manoeuvrant la vanne d'arrivée de vapeur règle la vitesse de rotation.

Réalisation : l'usinage des différentes pièces de ces machines fait appel à des opérations de fraisage en plus de celles de tournage.

CHAPITRE III

CONSTRUIRE OU NE PAS CONSTRUIRE ?

Aucun conseil ne peut être donné en ce domaine, l'état des finances du modéliste, sa capacité à concevoir, à usiner ou faire usiner et à assembler les pièces d'une machine, sont les seuls critères de choix, bien que l'esprit vaporiste commande que l'on réalise tout soi-même.

Quatre possibilités s'offrent à lui :

- 1) Concevoir et réaliser entièrement sa machine :
Cette première solution implique :

- de bonnes connaissances théoriques et pratiques de la vapeur modèle réduit, de la mécanique ainsi que des bases de dessin industriel.
 - la possession ou la possibilité d'utiliser en plus de l'outillage classique d'ajustage un tour et si possible une fraiseuse
 - la pratique de l'ajustage et de l'usinage des métaux.
- 2) Se procurer dans le commerce spécialisé un jeu de plans ainsi que parfois des pièces brutes de fonderie ou déjà partiellement usinées. Cette seconde solution ne diffère de la précédente que par l'absence de la phase de conception.
- * Quelques modèles Français, l'essentiel est Anglais. (voir liste enfin d'ouvrage)
- 3) Acheter un kit complet usiné prêt à monter : bien qu'étant plus aisée, cette méthode requiert tout de même :
- quelques notions de base d'ajustage
 - un outillage adapté à la dimension des modèles, du doigté, du soin, et bien entendu de la patience.
- * Un modèle français, deux ou trois allemands, l'essentiel anglais. (voir liste enfin d'ouvrage)
- 4) Acquérir une machine prête à fonctionner : cette dernière façon de procéder nécessite généralement un investissement financier non négligeable, mais c'est peut-être le premier pas dans le domaine passionnant de la vapeur vive à condition d'essayer au minimum d'essayer de comprendre « comment cela fonctionne ».
- * Le commerce spécialisé propose quelques modèles de fabrication française, anglaise et allemande.

Nota : Si la puissance des machines proposées dans le commerce n'est pas compatible avec le modèle envisagé, une solution intermédiaire aux deux premières peut consister à se procurer un plan de machine modèle ou même pourquoi pas grandeur et de l'adapter à ses besoins.

CHAPITRE IV

COMMENT INSTALLER UN GROUPE VAPEUR DANS UN MODELE

- 1) Choisir un bateau dont l'original grandeur était propulsé par la vapeur afin d'éviter tout anachronisme.

ATTENTION : ne pas voir trop grand ! N'oublions pas qu'il faut adopter la puissance de la machine et de la chaudière au déplacement du bateau ce qui est plus significatif que sa longueur. Un torpilleur peut mesurer 1,50 m et déplacer 7 kg, tandis qu'un remorqueur d'1 m pourra déplacer 10 à 12 kg.... Si le déplacement du modèle n'est pas indiqué sur le plan, il est possible de le calculer au moyen de la formule suivante. Il faut dans ce cas connaître le déplacement du bateau grandeur :

$$Dt = \frac{\text{déplacement réel}}{(\text{Echelle}^3)}$$

- 2) Choisir le type de la machine et sa cylindrée en fonction du déplacement du bateau.

ATTENTION : Ne pas surdimensionner (voir chapitre II, Puissance).

- 3) Déterminer :
- a) le type de chaudière correspondant au style du bateau,
 - b) sa capacité en fonction de la cylindrée de la machine.
- 4) Choisir le mode de chauffage (gaz ou alcool) ainsi que le type du brûleur correspondant au modèle de chaudière retenu.

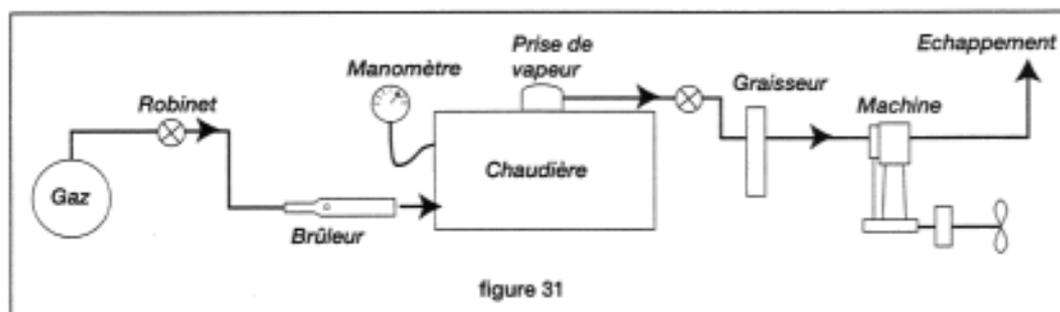


figure 31

5) Prévoir sur le plan, l'emplacement des différents éléments constituant le groupe vapeur en prenant soin de placer si possible la chaudière au

centre du bateau.(voir fig. 31)

- 6) Lorsque chaque pièce est à sa place et qu'il ne subsiste plus de questions alors on peut commencer la construction du bateau.

CONCLUSION

Vous venez d'achever la lecture de ce fascicule. Nous espérons que vous y avez trouvé bon nombre de réponses que vous attendiez. Maintenant il ne vous reste plus qu'à passer à l'acte. Vous ne réussirez peut-être pas du premier coup ; ne vous découragez pas, car à ce stade tout échec est positif : soyez patient.

Dites-vous bien que vous allez évoluer dans une spécialité complète du modélisme naval puisque vous pouvez réaliser aussi bien le bateau, son appareil propulseur et évaporatoire.

Les croquis et dessins de principe qui sont insérés dans cet ouvrage sont purement indicatifs et ne sauraient être utilisés comme plans d'exécution.

Alors..... à vos limes, à vos machines et rendez-vous amical autour des plans d'eau.

Les auteurs.

GLOSSAIRE

- ALESAGE** : Diamètre d'un cylindre,
BAR : Unité de pression équivalente à 1kg/cm²,
BIELLE : Pièce métallique articulée à ses deux extrémités qui, associée à une manivelle, permet de transformer un mouvement circulaire en mouvement alternatif et inversement,
BRULEUR : Appareil dans lequel se produit la combustion d'un gaz, de l'alcool et destiné à chauffer l'eau de la chaudière,
CONDENSEUR : Appareil dans lequel se fait, par refroidissement, la condensation de la vapeur après son action sur les pistons d'une machine,
COULISSE : Organe mécanique servant à renverser la vapeur sur une machine en agissant sur le tiroir,
COURSE : Longueur parcourue par le piston d'une machine lorsque la manivelle a fait une rotation de 180°,
CYLINDREE : Volume des cylindres d'une machine et qui est le produit de la surface du piston par la course et par le nombre de cylindres et par deux si la machine est à double effet,
DETENDEUR : Organe servant à délivrer au brûleur de la chaudière le gaz à une pression souhaitée et constante, (de gaz) provenant de son réservoir quelle qu'en soit la pression intérieure,
DESHUILEUR : Récipient dans lequel se dépose l'huile contenue dans la vapeur à la sortie du cylindre avant de la rejeter à l'air libre ou dans le condenseur,
DIAGRAMME : Représentation graphique des différentes phases de distribution de la vapeur dans un cylindre,
DISTRIBUTION : Mécanisme permettant l'admission et l'échappement de la vapeur dans les cylindres d'une machine,

Métaux non Ferreux Récupération :

* MAZEAU : 28, rue J.Vallès. 93 400 St OUEN.

Fournitures industrielles :

* PRUD'HOMME : transmissions mécaniques, engrenages, courroies,
66, rue de St Denis. BP 73 AUVERVILLIERS Cedex.

* LAPEYRE D-M : manomètres industriels, 126, bld NEY, 75 882 PARIS Cedex 18.

* RASTELLO S-A : pièces détachées Camping Gaz,
Z.I Chemin du Parc, BP 56 95 480, Pierrelaye.

Testeur : Mr R. MESMIN, 47, rue D PREAULT, 93 100, MONTREUIL.

BIBLIOGRAPHIE

Livres :

* Machines à vapeur. de J-C Porterie. Ed. Steam.

* Vaporismes. de P. Dubarry. Ed. Picador.

Revue française :

* Le Modèle Réduit de Bateau. : revue mensuelle : 82, rue Curial 75 019 PARIS.

* Bateau Modèle : revue bi mestrielle, J2P Editions, BP 8089, 69 376, LYON Cedex 08.

* R.C. Marines : revue mensuelle, rue du ChateauTilly, 77310, St FARGEAU.

* L'Escarbille : rev.trimestrielle et technique du modélisme vapeur.

Uniquement par abonnement. BP 21F. 50760 Barfleur.

* Mécaniques et modèles : FULLTON, 43, rue VOLTAIRE, 92 300, LEVALLOIS PERRET.

Revue anglaises :

* Marine Modelling : revue mensuelle.

* Model Boats : revue mensuelle.

Ces revues sont disponibles à la librairie BRENTANOS. 37, av de l'Opéra.75002 PARIS.

Plans de machines :

* B.Rétif : BP 6060, 69 604, Villeurbanne Cedex.

* 4 Moteurs à vapeur : d'André LECOMTE, plans édités par la Confrérie des amateurs de
vapeur vive, BP 21F, 50 760 BARFLEUR.

* Fullton : 43 rue Voltaire, 92 300, LEVALLOIS-PERRET.

MUSEES

* Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers : 282, rue St Martin. 75 003 PARIS.

* Musée des Chemins de Fer : 68000 Mulhouse

* Musée de la Batellerie : 78700, CONFLANS-Ste HONORINE.

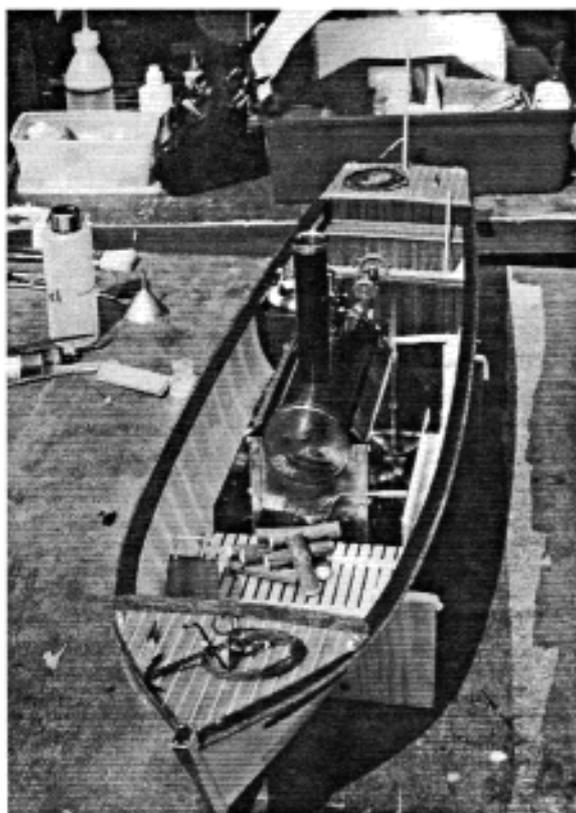
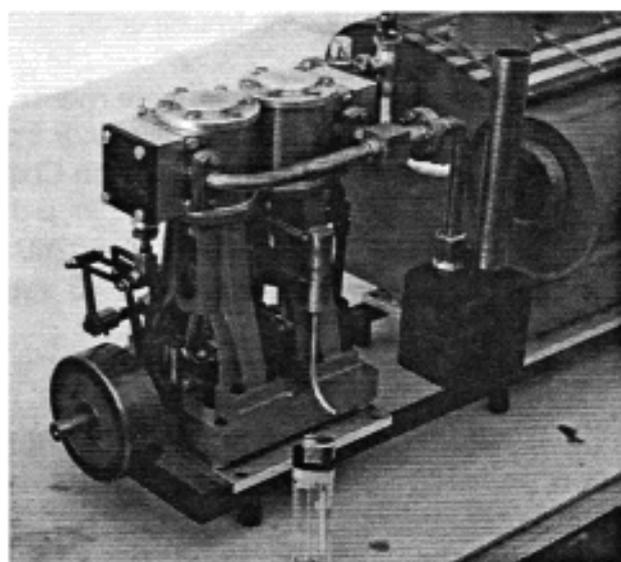
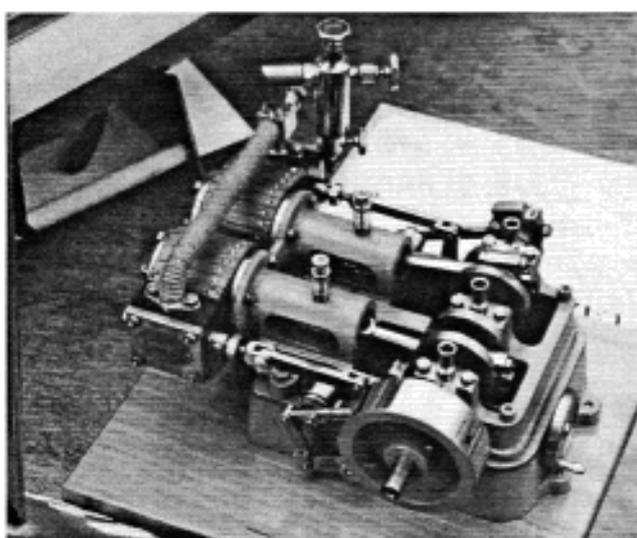
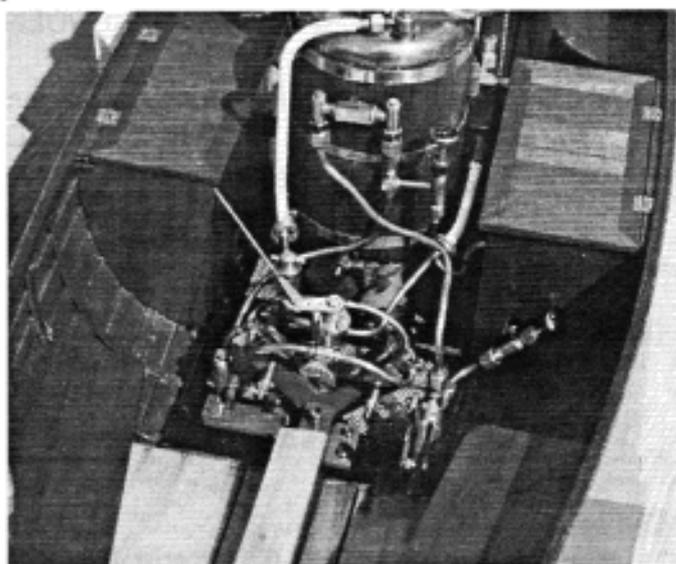
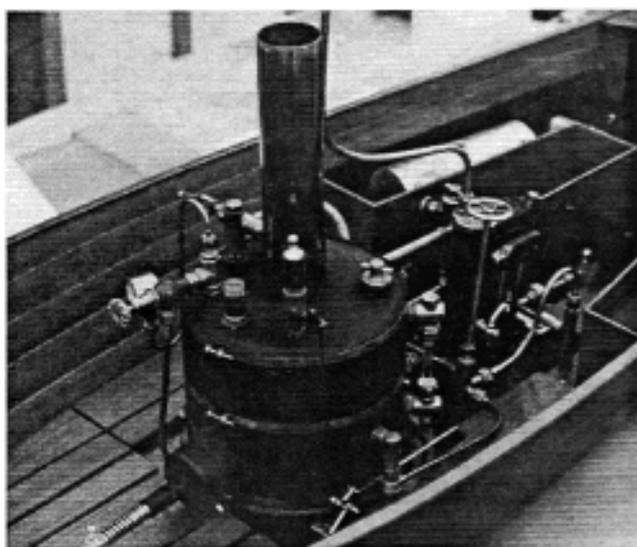
* Musée de la Marine : Palais de Chaillot, 75 016 PARIS.

* Musée des Transports : Gare de PITHIVIERS, 45 300.

* Musée de la Vapeur : 63 600, AMBERT.

* Musée Industriel et Commercial : 59 000, LILLE.

Quelques photos :



*En haut : chaudière verticale du commerce (MAXWELL),
ensemble moteur en V oscillant et chaudière verticale,
Au centre : bicylindre horizontal à tiroirs plans,
bicylindre vertical à tiroirs plans du type «pilon»,
En bas : installation à bord d'une chaloupe : chauffe à l'alcool à
brûleur à mèche et l'outillage du modéliste,
ensemble d'une installation à bord d'un modèle à roue,
chauffe au gaz.*

