

# quelques généralités sur les chaudières

par Jacques Clabaux



Construire sa propre chaudière est possible à condition de respecter certaines règles et de maîtriser la brasure ...

*Voici un modèle complexe construit par Paul Fonlupt.*

## Réglementation :

Construire sa chaudière c'est bien, être en règle c'est encore mieux !

Comme vous ne construirez pas une chaudière de plus de 25 litres, vous n'êtes pas obligé de la déclarer **mais elle doit absolument être testée au moins au double de sa valeur de fonctionnement.**

Son utilisation est de votre entière responsabilité.

Une obligation cependant : signaler à la DRIRE (Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement) tout accident pouvant se produire.

**A lire ces recommandations sur le site de la CAV : <https://www.cav-escarbille.com/chaudiere/index.htm>**

en partant de la chaudière pour essais, quelques "idées" ...



... quelques idées venues lors de son utilisation

## réglage de la pression

*Il est vrai que cette chaudière va monter très vite en pression et, parfois, vous en donner plus que souhaité, par exemple pour tester un moteur de 1 ou 2 cm<sup>3</sup> dont on aimerait voir le rendement à 1 bar.*

Dans ce cas, il faut **jouer avec le brûleur** : monter rapidement en pression puis **diminuer le niveau de la flamme** ... Voir les premiers essais dans l'album.

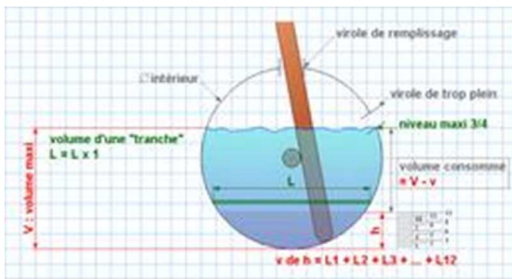
## eau

Habitant une île volcanique, je n'ai pas de problème avec l'eau du robinet que j'utilise car elle n'est pas calcaire. Ce n'est pas le cas dans bien des régions et il est alors conseillé d'employer de l'eau déminéralisée comme pour les fers à repasser à vapeur : le calcaire va entartrer la tuyauterie et le siège de la soupape ...d'où mauvais fonctionnement.

Je pense qu'en utilisant de l'eau de pluie ce doit être tout bon. J'en mettais bien dans ma batterie ! On peut aussi, de temps en temps mettre un produit anti-calcaire vendu pour les cafetières électriques.

## niveau

Cette chaudière n'en possède pas et il faudra, avant chaque essai - à limiter dans le temps - penser à l'alimenter.



### Comment évaluer la consommation d'eau ?

Un truc que j'utilise encore pour cette chaudière : on dessine la chaudière en coupe et on dessine des lignes horizontales tous les 1 ou 2 mm. Réglét et calculette permettent de déterminer le volume à chaque niveau des traits.

Remplissage de la chaudière, utilisation, refroidissement ... On plonge une baguette de bois exotique (le seul qui garde la trace du niveau d'eau), et on mesure. Il suffit alors de regarder le tableau qu'on s'est

Pas très orthodoxe mais suffisamment précis pour avoir une bonne idée de la consommation..

Pour les matheux, des calculs intéressants en allant sur cette page : [http://www.maths.ac-aixmarseille.fr/debart/ts/volume\\_integrale.html](http://www.maths.ac-aixmarseille.fr/debart/ts/volume_integrale.html)

Une remarque importante de **Paul** : "Pendant les essais avec un moteur déterminé, il est intéressant de noter le temps de marche en gardant un niveau minimum ; ceci pour éviter de tourner sans eau !"

### on peut aussi, et encore se faciliter la vie :

remplir la chaudière à ras du trop-plein, fonctionner, laisser refroidir puis refaire le plein avec la pipette (celle qui sert aux "avionneurs" et qui est graduée) : la quantité d'eau ajoutée correspond à celle utilisée.

Petit inconvénient : on est obligé à remplir la chaudière à chaque essai et au démarrage, on a toujours beaucoup de condensats ce qui fausse la lecture ...

J'aime bien quand je m'aperçois que je n'écris pas pour rien. Ce paragraphe ajouté il y a peu n'était pas encore en ligne et Philippe n'a pas manqué de me donner sa méthode :

"Pour ma part j'utilise une méthode plus simple et sans calcul pour trouver la consommation d'eau :

1\* je remplis la chaudière jusqu'au débordement du trop plein

2\* je fais l'essai et après refroidissement...

3\* ... je complète le plein avec une "grosse" seringue médicale et, quand il y a à nouveau débordement, je connais aussitôt la consommation. ""

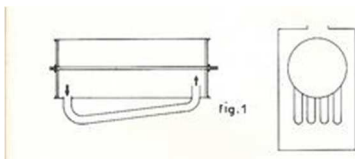
### "petites" considérations sur les chaudières"

C'est peut-être le moment de placer quelques considérations générales sur les chaudières car, là aussi, on sera vite amené à vouloir les concevoir en fonction de la place disponible, de l'implantation, de la cylindrée du moteur, de l'autonomie espérée, du mode de chauffage, ... Là encore, je me contente de vous livrer le fruit de mes lectures.

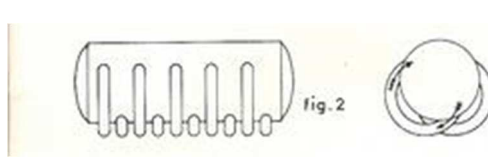
Mes sources principales : l'ouvrage VAPORISMES, des articles de MRB dont celui, indispensable et très complet, du n° 245 de novembre 1983 écrit par Adrien Sentz ; ainsi que quelques échanges sur les forums ou avec Paul Fonlupt.

### les chaudières horizontales

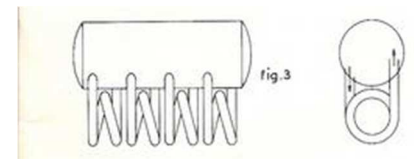
Il en existe un certain nombre de types dont voici les principaux utilisés en modélisme vapeur (source MRB n° 245) :



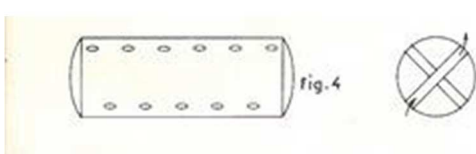
chaudière à tubes d'eau



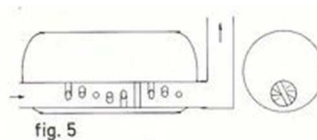
autre chaudière à tubes d'eau



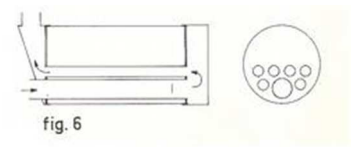
chaudière de type Scott



chaudière à tubes de flamme



chaudière à foyer central



chaudière à retour de flamme

pour le plaisir ... à voir aussi la galerie de **Paul Fonlupt**... <http://www.modelismeenpolynesie.com/paul/index.html>



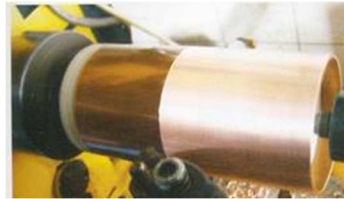
Photo de l'Escarbille



Revue anglaise

pour le plaisir ... à voir aussi la galerie de **Paul Fonlupt**... : <http://www.modelismeenpolynesie.com/paul/index.html>

## les matériaux



Pour nos petites chaudières, il est aisé d'utiliser le cuivre ou le laiton que l'on doit braser.

### le tube de la chaudière:

Il doit avoir une **épaisseur** en rapport avec le diamètre pour diminuer les risques générés par la pression. On admet que pour une pression de **moins de 3 bars**, l'épaisseur doit être du diamètre :100 ; de **3 à 7 bars**, il faudra 2 diamètres : 100 et de **7 à 10 bars**, ce sera 3 diamètres :100.

Comme je me contente de pressions inférieures à 3 bars, des tubes dont l'épaisseur est de 1 mm conviennent très bien. Mais, problème ! Alors que le cuivre est le meilleur des conducteurs, il devient pratiquement impossible d'en trouver de cette épaisseur dans les dimensions souhaitées. Alors va pour le laiton (voir **TARTAIX** qui livre au cm !) dont la résistance dans le temps sera moins bonne.

Sinon, bien outillé, on peut faire comme **Jean-Paul Bourdillat** qui va décoller un tube de cuivre de 2mm d'épaisseur pour le ramener à 1.2 ! (MRB n°544) : *"les parois d'échange doivent être le plus mince possible."* (A.S)

*Je suis d'ailleurs très content de son travail puisque lors d'une rencontre à Paris, il m'a fait cadeau de la chaudière ...!*

les **tubes d'eau** sont pour les amateurs comme moi, les plus utilisés. Ils seront obligatoire en cuivre.

### Une précision de **Patrick LECLERE**:

*"Il est interdit d'utiliser du laiton dans les appareils à vapeur sous pression. Le laiton est cassant et le zinc qui entre dans sa composition est hydrolysé, le laiton devenant poreux et fragile.*

*Dans les faits, pour du modélisme, une chaudière prototype fonctionnant très peu de temps, le risque est insignifiant."*

## remplissage de la chaudière

Quand l'eau se met à bouillir, de grosses bulles se forment et, si le niveau supérieur est trop près de la prise de vapeur, on va envoyer vers le moteur une vapeur fortement saturée d'eau.

Pour éviter cet inconvénient où le moteur ne tournera pas en s'engorgeant et où on remplira trop vite le déshuileur, 3 moyens sont utilisés :

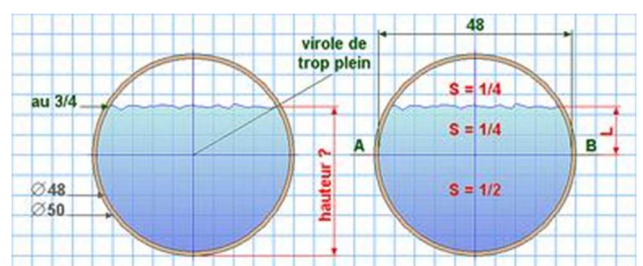
- . réglage du niveau maximum de la chaudière lors du remplissage aux 3/4
- . limitation du passage de petites bulles grâce à une "grille" sous la prise de vapeur
- . passage du tube d'alimentation du moteur sous la chaudière pour la sécher un peu

Petite étude avec une future chaudière dont les dimensions intérieures du tube en laiton d'épaisseur 1 mm sont de 4.8 cm pour le diamètre et 8 cm de longueur utile.

C'est la surface d'une des faces x par la longueur qui détermine le volume.

Le niveau de remplissage devra donc se situer aux 3/4 de cette surface.

Le moyen le plus simple pour vérifier que le niveau est atteint est de **placer, à bonne hauteur, une virole** : l'eau débordera par cette virole une fois le remplissage terminé.



*Un fait normal de l'époque, dont celle-ci, n'aurait pu être évité, que 2/4 de la*

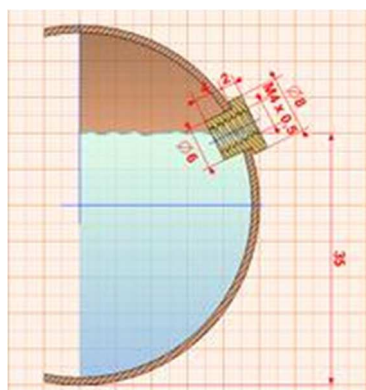
## Comment déterminer exactement le bon emplacement de la virole, ou comment connaître **h** ?

La surface totale d'une face est de 18.08 cm<sup>2</sup>, la surface qui doit rester libre en est le 1/4, soit 4.52 cm<sup>2</sup> qui correspondent à la moitié du remplissage au dessus de **AB**.

*J'ai cherché des heures sur le Net comment déterminer **h** en connaissant l'aire du segment circulaire ... négatif ! Aussi, une solution simpliste.*

Il suffit de considérer que cette surface de 4.52 cm<sup>2</sup> correspond à celle d'un rectangle de longueur 4.8 cm et de largeur (**l**) de 0.94 cm. D'où on obtient une hauteur égale à :

$1/2 \text{ diamètre} + l + \text{épaisseur de la chaudière}$ , ce qui donne pour l'exemple :  $2.4 + 0.94 + 0.1 = 3.34$  arrondis à 3.5.



En appliquant strictement cette cote, on sera un peu en-dessous du niveau souhaité, mais le niveau utile de la chaudière sera près de 108 cm<sup>3</sup>.

Mise en place sur le croquis d'une virole piquée à la cote.

**Attention : cette quantité d'eau ne sera pas à utiliser entièrement !\***

**Il faut en effet qu'il en reste au fond de la chaudière, ce qu'on appelle le "volume de garde"\*\*, sinon, si on chauffe sans une goutte d'eau, gare aux soudures !**

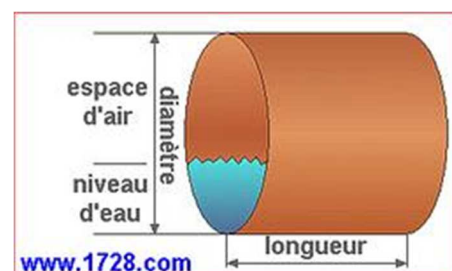
Un peu plus précis en utilisant ce lien fourni par Stan du forum Passion-Usinages: <http://www.1728.com/verttank.htm> avec lequel il sera possible, en entrant ses données dans un tableau, d'obtenir immédiatement **h** en fonction du diamètre

1 - introduire dans la première case (liquid level) une donnée approximative (ici, 3.5 pour commencer)

2 - dans la seconde (tank diameter), noter le diamètre intérieur du cylindre, ici 4.8

3 - dans la troisième (tank length), inscrire le chiffre 1 : tranche de 1 cm ou 1 m

Il suffit de faire ensuite varier la donnée 1 jusqu'à ce qu'on arrive à 75% ou le plus proche possible ; cote de 3.37



**Charly**, sur le même forum m'a fourni un autre lien : [http://debart.pagesperso-orange.fr/ts/volume\\_integrale.html](http://debart.pagesperso-orange.fr/ts/volume_integrale.html) le site de **Patrice DEBART**.

avec lequel on obtient un coefficient de 0.7. En faisant  $D \times 0.7$  on obtient  $h = 3.36$ , très proche finalement de mes 3.34\*\* ...

## **chaudière à tubes d'eau**

Comme cette chaudière pour les essais, c'est le type de chaudière qui est plébiscitée par les constructeurs débutants. Mais pourquoi cette disposition particulière des tubes avec une entrée plus haute que l'autre ?

*"Pour favoriser la circulation de l'eau, les tubes doivent être inclinés sur l'horizontale, et la sortie du tube dans la chaudière doit être plus élevée que son entrée pour provoquer une circulation par thermo-siphon (eau chaude plus légère que l'eau froide). Adrien Sentz*

Ainsi, on fait circuler l'eau et, ce faisant, les échanges entre gaz chauds du foyer et eau à vaporiser sont améliorés.



même pour la toute petite chaudière de la voiturette, ce principe a été respecté

Depuis d'autres documents plus explicites on été trouvés chez **Gems SUZOR** qui expliquait bien mieux que moi !

## les avantages de l'ajout de tubes

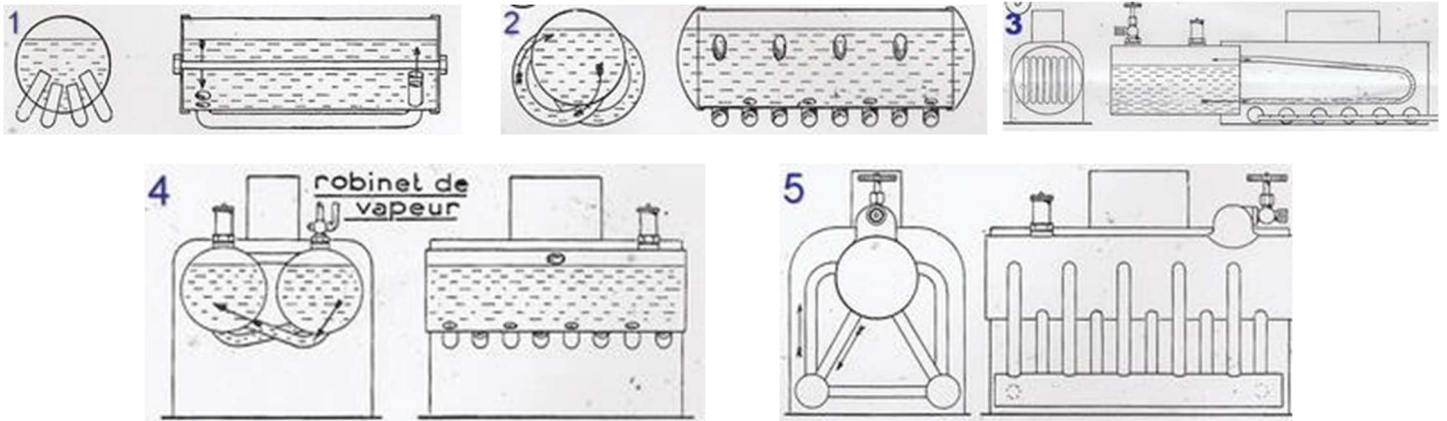
. augmentation de la surface de chauffe

. circulation rapide de l'eau devant les parties exposées à la chaleur

les conditions :

. l'eau doit être prise dans la partie basse et dirigée vers une partie plus haute pour obtenir le phénomène de thermo-siphon

Pour les 4 premières chaudières les flammes seront verticales, pour la dernière elles pourront être horizontales.



**la cylindrée du moteur**

Il faut la connaître avant de passer aux calculs qui suivent.

Voici un document Excel que me fait parvenir aimablement **Laurent GAUDIN** et qui supprime tout risque d'erreur.

calcul de la cylindrée d'u moteur

Calcul de la surface de chauffe	
Fournir quelques précisions (l'échelle de la surface de chauffe est capable de représenter 4 g de vapeur à la seconde).	
$Q = 2 \times 10^6$	
$Q$	est le cylindre totale du moteur
$d$	est le diamètre extérieur de la machine, elle dépend de la pression requise
$h$	est le diamètre de cylindre du moteur
$S$	est la surface de chauffe
2000 est un coefficient pour représenter les pertes par les autres surfaces.	
Donner une vitesse en comptant les tours	
Cylindres totaux de la machine alternative	3,88 dm <sup>3</sup>
Pression de vapeur aux cylindres en autres affectées par les	1,2 bar
Vitesse de rotation	
Vitesse de rotation de vapeur à la seconde et de la machine	3000 tours
La vitesse de rotation de vapeur et de la machine	1,200 tours
Surface de chauffe	
5,55 dm <sup>2</sup>	

tableur : du calcul de la cylindrée aux besoins caloriques  
[http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/chaudieregeneral/surface\\_de\\_chauffe.thumb.jpg](http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/chaudieregeneral/surface_de_chauffe.thumb.jpg)

Voici un tableur offert par **Jean-Marie TRIVIDIC** que l'on pourra enregistrer :  
 Un document qui évite la répétition de calculs fastidieux ... la seconde feuille donne accès aux données utiles.

*Documentation supplémentaire offerte par Jean-Marie :*

Voici, mise à jour, des feuilles de calcul pour concevoir son bateau qu'il soit à vapeur ou non : calculs pour la carène, calculs pour la machine.

[http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Calculateur\\_propulsion\\_vapeur.ods](http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Calculateur_propulsion_vapeur.ods)

[http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Calculateur\\_propulsion\\_vapeur.xls](http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Calculateur_propulsion_vapeur.xls)

Par ailleurs, voici une feuille avec deux petits tableaux donnant les caractéristiques de la vapeur :

Les deux tableaux sont indépendants :  $P = f(t)$ ; ou bien  $t=f(P)$  :

[http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Caracteristiques\\_vapeur\\_eau.ods](http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Caracteristiques_vapeur_eau.ods)

[http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Caracteristiques\\_vapeur\\_eau.xls](http://trvdc.pagesperso-orange.fr/Caracteristiques_vapeur_eau.xls)

la surface de chauffe

$$S = \frac{c \times p \times R}{4 \times 1.000}$$

pour un régime donné avec : S en dm<sup>2</sup>  
 c en cm<sup>3</sup>  
 p en g. / l. (voir tableau)  
 R en tr. / mn.

Evaporation retenue de 4 g d'eau par dm<sup>2</sup>.

Une formule barbare qui permet de la calculer (S) mais ...  
 ... mais qui m'a bien ennuyé car, il me manquait toujours une donnée pour l'appliquer , notamment le nombre de tours ...

Ce problème vient d'être réglé avec la fabrication d'un compte-tours simple mais efficace





Depuis, j'en ai fabriqué un autre, plus facile à mettre en oeuvre et à lecture digitale.  
 Construction et mode d'emploi en se rendant dans l'album :  
<http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/compteurdetours1/index.html>

VARIATION DE LA DENSITE DE LA VAPEUR, EN FONCTION DE LA PRESSION			
Pression absolue en bar	Température en °C	Volume spécifique en l / g	Poids spécifique en g / l
1	100	1,70	0,58
2	120	0,90	1,10
3	133	0,62	1,61
4	142	0,47	2,12
5	151	0,38	2,61
10	179	0,20	5,05
20	211	0,10	9,66

a et b sont des extraits de "VAPORISMES" de Pierre DUBARRY de LASSALLE, que l'on peut encore se procurer chez Steam Le Hobby

Si on considère la formule ci-dessus et le tableau ci-contre, connaissant le nombre de tours de notre moteur à une pression donnée, on va pouvoir calculer la surface de chauffe nécessaire.  
 La parole à Paul

La surface de chauffe est toujours la même, soit toutes les surfaces qui sont soumises à la flamme directe, au rayonnement et aux gaz très chauds ...

Pour calculer la surface de chauffe, on calcule la surface de tous les tubes qui sont soumis à la chaleur.

Pour modifier la surface de chauffe, il faudrait isoler des tubes d'eau ou de fumée mais à ce moment pourquoi les construire.

Dans les chaudières réelles, on change les pastilles des brûleurs, on modifie un peu la pression de fuel, on augmente le nombre de brûleurs, une pompe de circulation d'eau de chaudière améliore considérablement les échanges ainsi qu'une circulation forcée d'air et des récupérateurs de calories pour les gaz d'échappement

### "Pour nous, on régule la pression de gaz ( ou son débit )"

Je pense aussi à un **autre truc** : faire des essais avec des gicleurs de différents diamètres (0.2, 0.3); cela devrait donner un déplacement plus important donc plus fiable au robinet de gaz ... Forêts en commande !

**Attention** : pour le tableau b, il s'agit de la pression absolue, celle obtenue au niveau de la mer. Pour nos manomètres, il s'agit de la pression mano qui est supérieure de 1 : si on lit une pression de 1 sur le manomètre, la pression absolue est de 2 !



Quant à "réguler la pression du gaz (ou son débit)", le robinet du réservoir le permet d'une façon plutôt sûre si j'en crois les premiers essais...



Voici toute la surface qui va recevoir la chaleur (on ne compte pas le serpentin qui sert à "sécher la vapeur").

### un exemple concret avec la chaudière pour essais

Cette chaudière a un tube de diamètre extérieur 63 sur 130 de long. Si on calcule la surface exposée à la chaleur, soit la moitié du tube, on obtient 12858,3 mm<sup>2</sup>.

3 tubes bouilleurs de 8 de diamètre extérieur et de 100 de long donnent une surface exposée de 753.6 mm<sup>2</sup>.

La surface de chauffe est donc de 13612 mm<sup>2</sup> ou 1,36 dm<sup>2</sup>

Mais, si elle convient pour la plupart des essais effectués, il n'en sera peut être pas de même pour d'autres moteurs car alors, il faudra calculer la surface de chauffe nécessaire à un fonctionnement particulier (cylindrée, nombre de tours), de la pression envisagée et du temps d'utilisation escompté ... Dans ce cas, il faut appliquer la formule notée ci-dessus !

**Exemple d'un tableau à confectionner où on peut entrer ses propres données** : Modifiez les données en plaçant le moteur de 3.6 cm<sup>3</sup> tournant à 1000 tours par minute. On voit que la surface de chauffe est largement suffisante ... un peu trop même, mais cela permet de multiples essais !

<http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/chaudieregeneral/calcul-surface-de-chauffe.ods>

### tester la chaudière

Une chaudière est une bombe emplie d'eau à très haute température. Il faut donc la tester pour voir s'il n'existe pas de problème d'étanchéité et si elle supporte la pression.

Pour être sûr de soi et ne pas représenter un danger, la tester à 2 ou 3 fois la pression d'utilisation prévue.

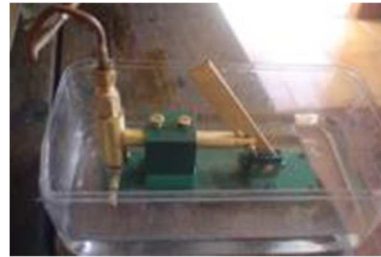
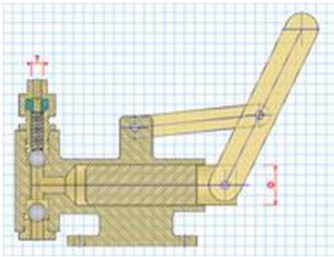


Jusqu'à ce jour, je faisais comme j'avais lu, notamment chez André Lecomte : chauffage de la chaudière à la lampe à souder.  
Tous les accessoires sont démontés et on ferme leurs ouvertures, on remplit entièrement la chaudière d'eau en chassant l'air et on place un gros manomètre.  
Ensuite, on approche la flamme du chalumeau et ... après un bref instant, la pression monte très vite.  
Dès qu'on va arriver à la pression voulue, écarter la flamme, puis revenir, puis écarter, ... pendant au moins un quart d'heure.

*Si une soudure est ratée, la pression ne montera pas.*

*Par contre avec une micro-fuite la pression peut monter sans qu'on s'en aperçoive. Il faut donc tester plusieurs fois.*

La seule photo qui me reste de ce type de test est celle des essais de la chaudière de la voiturette (pas prudent pour le mano !). Là, j'avais utilisé le manomètre à monter et atteint et maintenu la pression de 4 bars (fonctionnement prévu à 1 bar pour un démarrage à 1.5 ou 2)...



Finalement, je ne suis pas très fier quand je procède à ce genre d'essai et j'ai décidé de construire cette pompe qui me servira à **tester l'étanchéité à froid** grâce à cette pompe qui reste à ... construire !

Il en aura fallu du temps, mais la voici prête et fonctionnelle.

Facile à construire, plan, utilisation et trucs pour l'usinage : <http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/chaudieregeneral/bv000040.jpg>

### **un nouveau truc**

Un nouveau truc appris au cours d'une conversation avec Jean-Paul BOURDILLAT pour vérifier si la chaudière ne fuit pas, tout au moins dans un premier temps ...

*Il suffit de la mettre au soleil après remplissage. La pression monte rapidement et on verra facilement si on a une fuite. De plus, elle reste maniable ... en prenant des précautions toutefois !*

### **et un autre**

qui vient de Patrick LECLERE :

*"Au USA j'ai vu plusieurs modélistes qui faisaient comme quand j'étais gamin pour trouver les fuites dans les chambres à air des vélos. La chaudière est immergée dans un bac d'eau et gonflée à l'air comprimé à 1 ou 2 bars. C'est très rapide (pas de remplissage, ni de dégazage puis de séchage). Une fois toutes les fuites éliminées il passent à l'épreuve hydraulique. Il semblerait que pratiquement 100% des fuites sont éliminées par le seul essai à l'air comprimé à basse pression."*

### **un lien à consulter**



Trouvé par Jean-Pierre DUBANT, il concerne la construction d'une bien belle chaudière et de son brûleur : [http://modelsteam.myfreeforum.org/archive/copper-boiler-scratch-build-project.\\_\\_o\\_t\\_t\\_37902.html](http://modelsteam.myfreeforum.org/archive/copper-boiler-scratch-build-project.__o_t_t_37902.html)

### **surchauffe par laminage de la vapeur**

Pour obtenir le maximum d'une chaudière non pourvue d'un tube de surchauffe, voici un truc vraiment intéressant et performant : le **laminage de la vapeur**. [http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/chaudieregeneral/livre\\_011.gif](http://www.vapeuretmodelesavapeur.com/chaudieregeneral/livre_011.gif)

## le moteur, la chaudière, l'hélice, la coque ou ... l'inverse : une suite logique



Moteur construit, chaudière adéquate ... et pourquoi ne pas aller jusqu'au bout et mesurer la puissance de notre moteur.  
Un exercice facilité par la construction d'un banc d'essai que l'on découvrira en allant voir l'album qui est consacré à ce petit exercice.



Chaudière OK, moteur OK ... et l'hélice si on construit un bateau, et son déplacement.  
A moins qu'on ne commence par ces choix avant de construire le moteur et la chaudière !  
Une démarche expliquée dans un nouvel album concernant la propulsion des bateaux.



Des erreurs ? Des commentaires ? Des questions ? ...  
Écrivez-moi : <mailto:clabauxj@mail.pf>