

1ère partie  
Production  
de la vapeur

2ème partie  
Utilisation  
de la vapeur

3ème partie  
Production  
de glace

4ème partie  
Memento  
technologique

5ème partie  
vers d'autres  
horizons



## I

ère Partie Liste des chapitres:

Chap I – Dossier de calculs

Chap II – Conception du capteur

Chap III – Etude du capteur

► **Chap IV – Etude du circuit de production de vapeur**

Chap V – Construction du capteur et du circuit de vapeur

Chap VI– Installation, Conduite, Performances, Maintenance

Chap VII – La malle pédagogique

Chap VIII – Plans informatiques.

Chap IX – Ombre portée d'un baton

Chap X – les positions du capteur



Accédez à la  
documentation  
complète de

[www.soleil-vapeur.org](http://www.soleil-vapeur.org)

## Chapitre IV ETUDE DU CIRCUIT DE PRODUCTION DE LA VAPEUR

**"Le diable est dans  
les détails"...**

Section I QUELQUES PREALABLES,

ET VUE D'ENSEMBLE DU CIRCUIT de PRODUCTION de la VAPEUR

4 § 1 Quelques préalables

4 A) Les pertes thermiques

4 B) La plomberie art mineur ?

5 C) Filetages, et étanchéité d'un raccord fileté

7 § 2 Vue d'ensemble du circuit de vapeur.

Section II ETUDE DU BOUILLEUR

9 § 1 La longueur

9 § 2 le diamètre

11 § 3 La confection du bouilleur

14 § 4 Le traitement de surface

14 § 5 après la galvanisation

14 A) Dégalvaniser

14 B) Bouchage des deux événements

14 C) Garniture des Bossages

15 § 6 En variante: un bouilleur en inox

15 § 7 L'épreuve de résistance du bouilleur

### Section III ETUDE DE L' EQUIPEMENT DU BOUILLEUR

- 17 § 1 La soupape de sécurité
- 18 § 2 Le niveau d'eau
- 18 § 3 Le thermomètre
- 19 § 4 Le manomètre

### Section IV LE TUYAU DE VAPEUR, LES RACCORDEMENTS; LES JOINTS PLATS

- 20 § 1 Le tuyau de vapeur
- 21 § 2 Les raccords
- 23 § 3 Les sertissages
- 28 § 4 Les joints plats
- 30 § 5 L'isolation du tuyau de vapeur
- 30 § 6 Filtres

### Section V DISPOSITIF D'ALIMENTATION ET DE PURGE

- 31 § 1 Vue d'ensemble du dispositif d'alimentation et de purge
- 32 § 2 Le gobelet d'alimentation
- 32 § 3 Les clapets
- 34 § 4 Les robinets
- 35 § 5 La seconde purge
- 36 § 6 La traverse support du dispositif d'alimentation
- 36 § 7 Tubes et tuyaux
- 38 § 8 D'autres moyens d'alimentation

### Section VI ETUDE DE LA POMPE ALIMENTAIRE

- 49 § 1 Vue d'ensemble de la pompe
- 40 § 2 Le levier de manoeuvre et l'embase de la pompe
- 41 § 3 Le corps de pompe
- 43 § 4 Le piston plongeur
- 44 § 5 Les butées de fin de course
- 44 § 6 Le nettoyage de la pompe

### Section VII EPREUVE (S) D'ETANCHEITE, TARAGE DE LA SOUPAPE et CONTROLE DES BRASURES

- 45 § 1 L'Epreuve d'étanchéité
- 47 §2 Tarage et vérification de la soupape
- 48 § 3 Le contrôle des brasures
- 48 § 4 L'Epreuve de résistance

### Section VIII LA REGULATION DE LA VAPEUR

- 50 § 1 Régulation de la température
  - 50 A) Le matériel
  - 51 B) Le fonctionnement
  - 51 C) La température de fonctionnement
- 52 § 2 Régulation de la puissance
- 52 § 3 L'Entretien de la soupape

## Section IX DISPOSITIF DE MESURE DES PERFORMANCES

- 53 A) Bref exposé de la méthode
- 53 B) Le dispositif
- 53 C) Le tube échangeur immergé
- 55 D) Remarques

## Section X INSTALLATION DU CIRCUIT SUR LE CAPTEUR

- 56 Deux versions d'installation

## Section XI RÉCAPITULATION DES APPROVISIONNEMENTS

- 58 § 1 Raccords de plomberie
- 60 § 2 Produits semi-finis
- 61 § 3 Quincaillerie
- 61 § 4 Composants du circuit de production de vapeur
- 62 § 5 Petit outillage
- 62 § 6 Matériel de brasage

## Section XII UTILISATION DE LA VAPEUR: UN BREF APERÇU

- 63 A) Cuisson ordinaire
- 64 B) Stérilisation médicale

## SECTION I QUELQUES PREALABLES, et VUE D'ENSEMBLE DU CIRCUIT DE PRODUCTION DE VAPEUR

### § 1 - QUELQUES PREALABLES

#### A) LES PERTES THERMIQUES

Le problème majeur des capteurs solaires thermiques n'est pas tant de collecter l'énergie solaire, que d'éviter de la perdre une fois qu'elle a été collectée. La question des pertes thermiques est plus largement développée dans le mémento technologique, mais c'est dès la conception du capteur, et notamment du circuit de production de la vapeur, qu'il faut en tenir compte. Aussi, plus que jamais, il convient d'éviter les variantes ou ajouts susceptibles d'entraîner des pertes thermiques (voir entre autres, dans le mémento, le “caloduc pervers”)

#### B) LA PLOMBERIE, UN ART MINEUR ?

La plomberie n'est surtout pas à considérer comme un art mineur, elle saura toujours se rappeler à notre bon souvenir en temps utile. Le moindre faux pas, la moindre erreur de conception concernant un choix d'étanchéité, ou la moindre fuite de vapeur difficilement décelable, réduisent à néant tous les efforts antérieurs. Même si cette discipline paraît ingrate (que de temps perdu à courir derrière un raccord !), il faut lui accorder toute son attention. Si la construction du capteur est un travail d'équipe, il faut affecter à la plomberie celui qui est à la fois le plus rigoureux et le plus débrouillard, capable de toujours se tirer d'embarras en modifiant un raccord, en brasant deux demi-raccords, ou en fabricant avec une lime et une perceuse la petite pièce qui fait défaut, etc....

Il est indispensable aussi d'apprendre à braser un tube en cuivre sur un raccord en laiton, c'est le début du métier pour tout apprenti plombier. On trouvera dans le mémento technologique toutes les indications nécessaires pour une auto-formation en la matière

L'étanchéité aux gaz, donc à la vapeur, est beaucoup plus difficile à réaliser que l'étanchéité aux liquides. Il est donc indispensable d'effectuer, avant utilisation, les épreuves d'étanchéité du circuit de vapeur. Cela fait partie des bonnes règles du métier, et c'est aussi une politesse vis à vis des autres personnes travaillant sur le capteur, afin de ne pas leur faire perdre leur temps inutilement.

## C) FILETAGES ET ETANCHEITE D'UN RACCORD FILETE

Ce paragraphe n'est qu'une présentation succincte d'éléments qui seront développés dans le mémento technologique, mais qu'il est indispensable de connaître dès maintenant.

### 1- Le filetage "Gaz"

Le filetage "Gaz" est le filetage usuellement utilisé pour la plomberie en France et dans les pays à système métrique. Il est identique au filetage britannique BSP.. Il est incompatible avec le filetage Nord Américain NPT

Le filetage Gaz est dénommé par le symbole G suivi d'une dimension exprimée en pouces, par exemple: filetage G 3/8". Il subsiste encore une dénomination "chauffage" à la française, obsolète depuis fort longtemps, mais qui continue obstinément à être utilisée par la profession.

Seuls les filetages de très petit diamètre nous intéressent ici.

La dénomination d'un filetage vaut également pour la dénomination du tube correspondant: un filetage 3/8" correspond à un tube 3/8"

Diamètre extérieur du tube en mm	Dénomination en pouces du tube et de son filetage	dénomination "chauffage" (obsolète)	diamètre indicatif du filet*	
			extérieur male	intérieur femelle
10,2	G 1/8"	5 x 10	9,75	8,6
13,5	G 1/4"	8 x 13	13,15	11,5
17,2	G 3/8"	12 x 17	16,66	15
21,3	G 1/2"	15 x 21	20,95	18,6

\*Les diamètres de filet figurant sur le tableau ci dessus ne sont que des indications pour repérer rapidement un filetage à l'aide d'un pied à coulisse

Les filetages Gaz mâles sont coniques dans le cas de raccords en acier ou en fonte malléable, et ils sont cylindriques dans le cas de raccords en laiton.

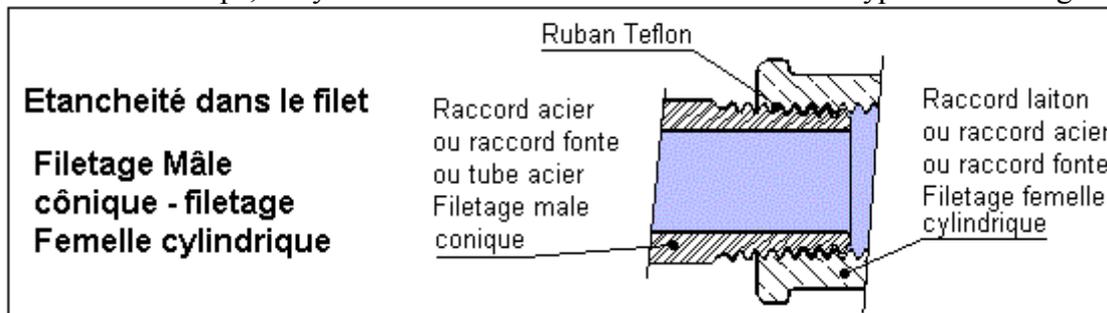
Les filetages Gaz femelles sont toujours cylindriques,

### 2-Etanchéité d'un raccord en acier ou en fonte malléable à filetage mâle cône

Dans le cas d'un filetage mâle cône, l'étanchéité s'obtient *dans le filetage*,

- par l'interposition de ruban Teflon entre les deux filetages (entourer le filetage mâle de deux ou trois tours de Teflon, dans le sens du serrage). Le Téflon est utilisable jusqu'à 260° C

- ET par un serrage approprié du raccord, tout en restant dans les limites de résistance des matériaux.. Avec le temps, l'oxydation renforce encore l'étanchéité de ce type d'assemblage.



### 3- Etanchéité d un raccord laiton à filetage mâle cylindrique

L'étanchéité s'obtient également dans le filet, mais elle est plus difficile à réaliser, et on évitera autant que possible de se retrouver dans ce cas de figure. Il est inutile de s'obstiner à multiplier les tours de Teflon. Il y a deux types de solution

*a- si l'on peut chauffer les raccords:*

- on peut étamer préalablement les deux filetages, puis rajouter de la pâte à étamer, assembler, puis chauffer. Il s'agit toutefois dans ce cas de brasure tendre à l'étain, dont le point de fusion est inférieur à 200°C, inutilisable sur le bouilleur.
- on peut braser l'assemblage avec de la brasure argent 40%. après avoir vissé les raccords mais sans serrage. La tenue à la température est alors très bonne.

*b- si l'on ne peut pas chauffer les raccords,* comme c'est le cas pour les clapets de pompe, ou pour le manomètre, il faut alors utiliser des résines type Loctite (loctite.fr / produits d'étanchéité) ou GEB. La référence Loctite 272 tient jusqu'à 200° C, d'autres jusqu'à 150° C. Il n'est que de tenir compte de l'emplacement du raccord dans le circuit pour faire un choix de résine.

### 4- Etanchéité d'un raccord à joint plat fibré

L'étanchéité par joint plat fibré s'effectue sur des raccords *spécifiquement prévus* pour cet usage, à savoir

a)- un raccord mâle, usuellement en laiton,

Une des extrémités comporte

- un filetage mâle, obligatoirement cylindrique.
- une face d'appui apte à recevoir un joint plat, c'est à dire plane et suffisamment

large

pour ne pas blesser le joint

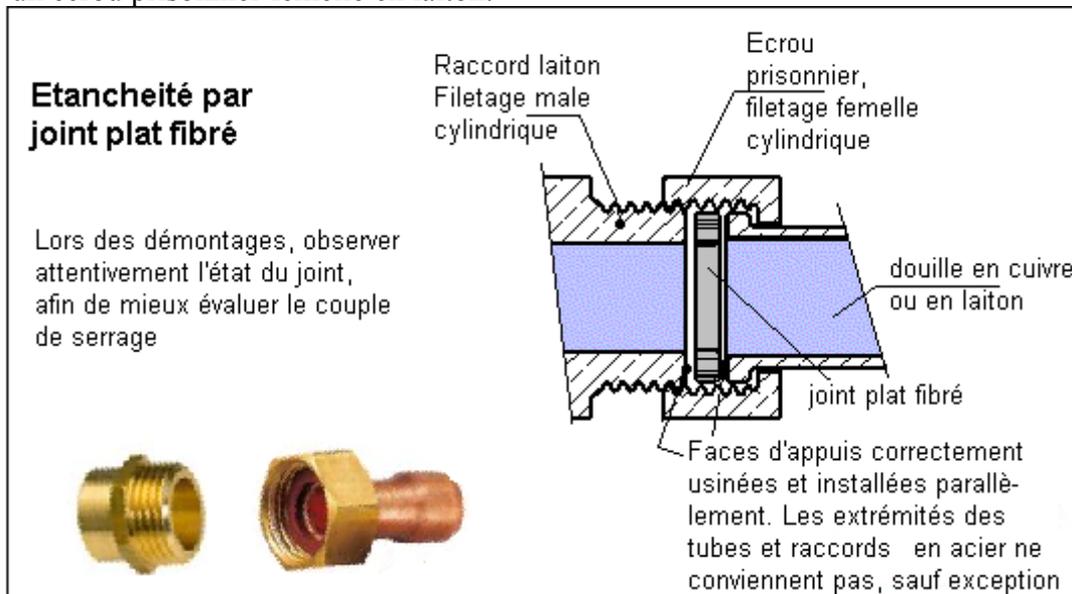
L'autre extrémité du raccord mâle est soit lisse pour recevoir un tube brasé, soit fileté.

b)- un raccord femelle en deux parties, à savoir

- une douille en laiton ou en cuivre, avec une face d'appui apte à recevoir un joint plat.

L'autre extrémité de la douille est lisse pour recevoir un tube brasé.

- un écrou prisonnier femelle en laiton.



c)- un joint plat fibré, adapté à la nature du fluide, confectionné à l'emporte pièce dans du matériau en feuille épaisseur 0,5 mm tel que LattyGold 92. Toutes les indications concernant ce joint sont disponibles à la Section IV "Tuyau de vapeur, raccordements, joints plats fibrés"

Ce type de raccord a des appellations très diverses: raccord fer-cuivre, raccord deux pièces, raccord à écrou prisonnier...etc. On s'en tient ici à la dénomination "raccord à joint plat"

Les faces d'appuis des composants doivent être usinées correctement et avoir une surface suffisante pour ne pas blesser le joint plat

Dans le cas du capteur de 2m<sup>2</sup>, on utilise une seule dimension de raccord à joint plat (G 3/8", 12x17), disponible dans tous les rayons "plomberie" des magasins de bricolage.

Ce type de raccord a en outre le très grand avantage de permettre d'orienter à sa guise le composant qu'il relie.

Il existe une technique, auparavant assez couramment employée par les plombiers, dite du "collet battu". Il s'agit de former le collet au marteau directement sur le tube cuivre à l'aide d'une matrice, au lieu de le souder une douille en cuivre sur le tube. Cette technique est valable pour un réseau d'eau, lorsqu'elle est effectuée par un professionnel ayant une bonne maîtrise de son geste. Pour un réseau de vapeur, elle est à proscrire formellement.

### **5- à chaque usage son raccord**

Lorsqu'il s'agit de raccords qui n'ont pas à être manipulés sur site, ou bien tout à fait exceptionnellement lors d'opérations de maintenance, on peut préférer les raccords avec étanchéité dans le filet.

Par contre la quasi totalité des composants du capteur est munie de raccords à joints plat, ce qui facilite leur interchangeabilité ou leur remplacement, notamment pour l'utilisateur lorsqu'il a besoin de changer de dispositif de cuisson.

Pour des questions d'ergonomie, lors du dessin du capteur, il est judicieux de faire en sorte que, au regard de l'utilisateur, l'écrou prisonnier se visse dans le sens horaire, et se dévisse dans le sens anti-horaire. Et si l'on se retrouve avec deux raccords femelles à assembler, la solution est d'interposer un mamelon double

Il existe de nombreux autres types de raccords pour l'assemblage des composants, par exemple des raccords "bi-cônes", qui sont excellents, mais dont l'étanchéité est assurée au prix d'une légère déformation du métal. Après quelques ré-emplois, ces raccords deviennent inutilisables, alors que les raccords à joint plat sont réutilisables indéfiniment, sous réserve de disposer d'une petite réserve de joints.

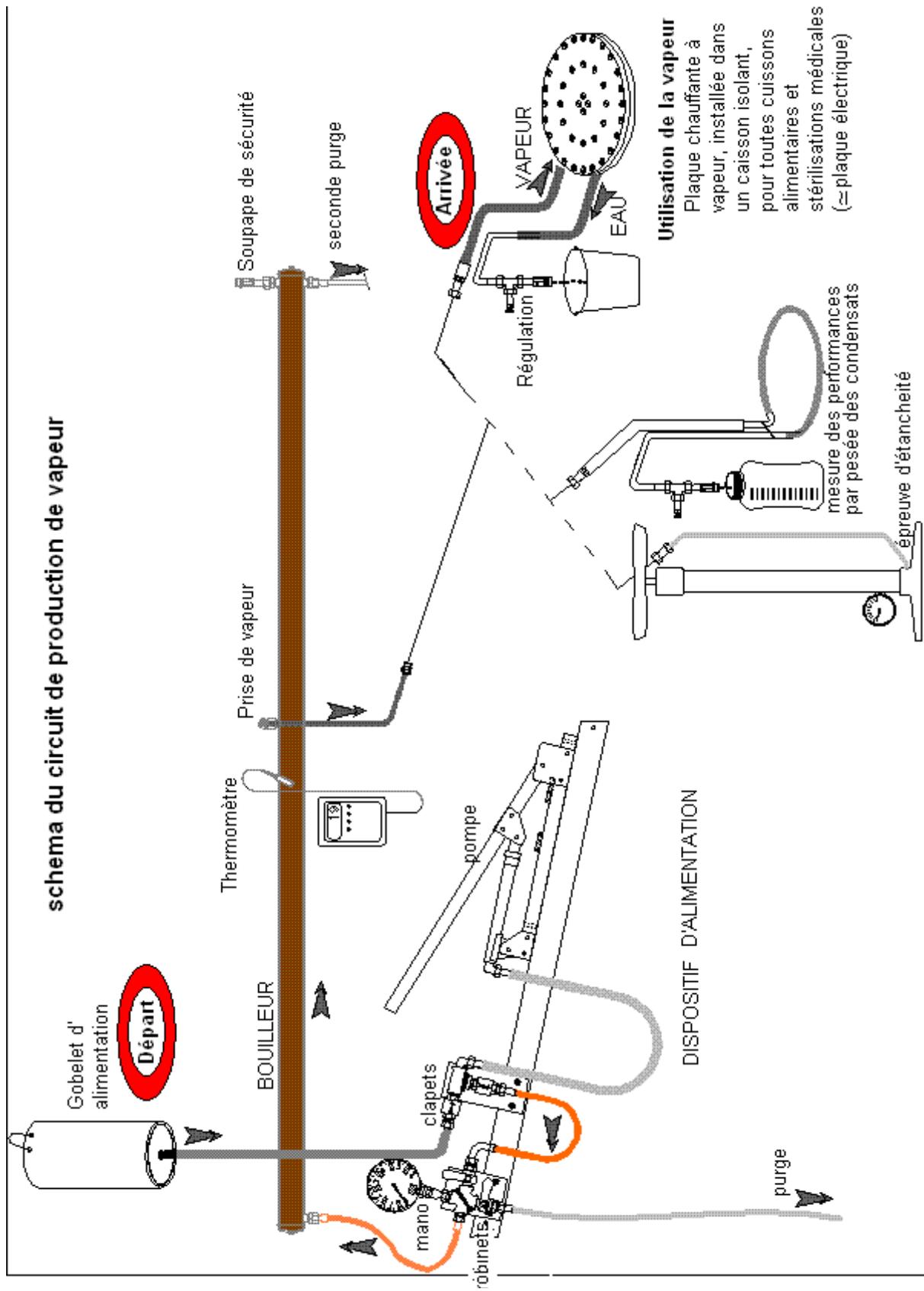
## **§ 2 VUE D'ENSEMBLE DU CIRCUIT DE PRODUCTION DE VAPEUR.**

Le circuit de production de vapeur comprend essentiellement

- le bouilleur
- les équipements du bouilleur
- le dispositif d'alimentation-purge

Il n'y a pas de dispositif de recyclage immédiat des condensats récupérés. Dans une si petite installation à vapeur, cela ne présente aucun intérêt, mis à part celui de compliquer l'installation et le travail de son conducteur. Ce choix s'éclairera à la lecture de la Section "Performances" du Chapitre VI qui expose les notions de chaleur sensible et de chaleur latente.

Il n'y a aucun robinet de coupure du circuit en aval du bouilleur. L'absence de robinet de coupure évite toute montée en pression incontrôlée, c'est un élément de sécurité supplémentaire.



## SECTION II ETUDE DU BOUILLEUR

Le bouilleur est une chaudière réduite à sa plus simple expression, c'est à dire un tube, installé à cheval sur la pupille de sortie du Concentrateur Parabolique Composé. C'est là que les rayons solaires achèvent leur course et se convertissent en chaleur. Sous l'action de la chaleur, l'eau contenue dans la chaudière passe de l'état liquide à l'état gazeux.

**§ 1) LA LONGUEUR** du bouilleur est légèrement inférieure à celle du capot du concentrateur, de façon à laisser de la place pour l'isolation à chaque extrémité.

La longueur du bouilleur est une des caractéristiques du capteur, puisque la surface active du capteur est égale à la largeur du miroir (réduite à sa perpendiculaire au plan focal) multipliée par la longueur du bouilleur

Dans le cas du capteur de  $2\text{m}^2$ , la longueur hors tout du bouilleur est de 1.80 m. La largeur du miroir, mesurée perpendiculairement au plan focal est de 1.164 m (voir " largeur apparente" du programme de conception). On considère donc que la surface active du miroir est de  $1.164 * 1.80 = 2.095 \text{ m}^2$ , arrondis à  $2 \text{ m}^2$  compte tenu des pertes entre les tôles des miroirs du premier étage, et nonobstant l'effet cosinus horaire.

**§ 2) LE DIAMÈTRE DU BOUILLEUR** est un des paramètres les plus importants du capteur. Le capteur fonctionne au maximum six heures par jour.

Les bases de calcul de concernant la vaporisation sont:

- 0.650 kg d'eau par heure et par  $\text{m}^2$  pour un capteur de 16 à  $25 \text{ m}^2$ , dont la largeur développée du miroir est de 2.00m ou 2.50 m)

- 0.500 kg d'eau par heure et par  $\text{m}^2$  pour un capteur de  $2 \text{ m}^2$ , dont la largeur développée du miroir est de 1.25m

L'écart des performances s'explique par le phénomène d'effet d'échelle, usuel en thermique.

On n'envisage ici que le cas du capteur de  $2 \text{ m}^2$ .

On peut concevoir un bouilleur avec une seule alimentation quotidienne en eau fraîche en début de séance, ou bien avec plusieurs alimentations au cours de la journée.

Dans les deux cas, il faut laisser un certain volume libre au dessus de l'eau, le « ciel de vapeur », pour éviter les entrainements d'eau par la vapeur.

### A)- BOUILLEUR À ALIMENTATION QUOTIDIENNE UNIQUE.

En une journée, et pour un mètre linéaire de bouilleur, le capteur vaporise  $0.5 \text{ litre} * 1.25 \text{ m de miroir} * 6 \text{ heures}$ , soit 3.75 litres par mètre linéaire. Un tube diamètre 80\*90 conviendrait.

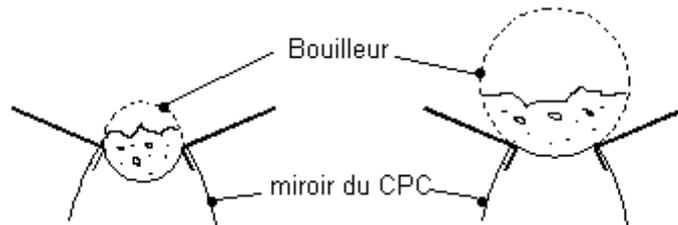
*Les avantages* de l'alimentation quotidienne unique sont:

- une production de vapeur régulière « au fil du soleil »
- l'absence de préoccupation, de la part du conducteur, au sujet du niveau d'eau dans la chaudière
- un chargement d'eau à pression atmosphérique. Il est donc inutile de disposer d'une pompe dont la pression est supérieure à celle de la chaudière en fonctionnement, un broc et un entonnoir seraient même suffisants -hormis l'aspect ergonomique.

les inconvénients sont

- l'inertie thermique lors de la mise en route au matin, alors que l'insolation n'est pas favorable en raison de l'effet cosinus horaire (cf la section « Le soleil et le capteur » au Chap. II)
- la surface « passive » du bouilleur (celle qui ne reçoit pas de rayonnement solaire), source permanente de pertes thermiques, qui dans ce cas devient importante.

### Surface passive comparée de deux bouilleurs



Bouilleur 40\*49 installé sur la pupille de sortie.  
Surface passive (en tirets):  
0.083m<sup>2</sup>

Bouilleur 80\*90 installé sur la pupille de sortie.  
Surface passive (en tirets):  
0.23 m<sup>2</sup>

### B) BOUILLEUR À RÉ-ALIMENTER AU COURS DE LA JOURNÉE

Dans le cadre d'une utilisation comprenant plusieurs séquences quotidiennes, par exemple trois ou quatre séances de cuisson ou de stérilisation, on peut préférer une alimentation périodique du bouilleur au cours de la journée, entre les séances

Un tube 40\*49 convient alors parfaitement, pour une autonomie de 1h à 1h30.

- l'inertie thermique est moindre : six kg de métal au lieu de douze
- les pertes thermiques sont réduites: la surface passive est presque trois fois moins importante
- la mise en chauffe de l'eau de 20 à 100° se fait en pratique en « temps masqué », pendant les cinq à dix minutes nécessaires pour déposer le récipient de cuisson de la séance précédente et mettre en place celui de la séance suivante.
- l'alimentation du bouilleur nécessite une petite pompe manuelle, mais le conducteur a la maîtrise de l'alimentation de sa chaudière, notamment s'il manque un ou deux décilitres d'eau pour achever une cuisson ou une stérilisation.
- la sécurité est accrue: le bouilleur est d'autant plus sûr que son volume est faible, et que son diamètre est petit

Le volume d'un tube 40\*49 / 1 ½" (un pouce et demi) de 1.75 m de long est de 2.5 litres. En pratique, on le charge avant chaque séquence avec environ 1.5 litre d'eau, l'unité de mesure étant la bouteille en plastique. Après quelques jours d'expérience, le conducteur sait ajuster la quantité à introduire, en fonction de la consommation de la séquence précédente, et de celle qu'il anticipe pour la séquence suivante.

En version de base, le choix se porte donc sur un bouilleur en tube "40x49" à réalimenter au cours de la journée, entre deux séquences de cuisson/stérilisation.

### C) CONCERNANT LA QUANTITÉ D'EAU introduite en chaudière

- toute quantité d'eau en excès est entraînée dans le tube vapeur: il y a donc perte thermique, mais sans aucune conséquence grave.
- une absence d'eau en chaudière a pour conséquence immédiate l'arrêt du processus de cuisson ou de stérilisation; mais sans aucune conséquence dommageable pour la chaudière. La situation n'est ici en rien comparable avec les chaudières classiques à combustible fossile, dont le métal était porté au rouge en cas d'à-sec (d'où une vaporisation hyper-violente suivie d'explosion en cas de réalimentation intempestive, c'était une cause typique d'accident). Ici le métal ne sera hélas jamais porté au rouge.

Si le processus de vaporisation cesse par absence d'eau, le conducteur peut discrètement réalimenter sa chaudière avec la pompe, lentement si possible. On constatera assurément une ébullition violente, accompagnée de craquements du métal qui n'apprécie pas forcément l'opération, mais le tout reste dans des limites tout à fait acceptables.

Les seules précautions à prendre concernent les risques de surchauffe

- les soudures à l'étain, dites « brasures tendre » sont à proscrire au niveau de la chaudière, car elles ne résistent pas à une température de 200°degrés, qui est dépassée en cas d'à-sec de la chaudière.
- les joints plats situés immédiatement sous le bouilleur et soumis au rayonnement solaire (alimentation et purges ) doivent résister à une température de 260° C au moins.
- le flexible vapeur est à éloigner quelque peu du bossage de prise de vapeur.

## **§ 3 LA CONFECTION DU BOUILLEUR**

Le bouilleur est un tube en acier 1"1/2 (40x49) qualité "canalisation" (voir le mémento à ce sujet). Bien que le tube soit à galvaniser après assemblage, il est préférable d'approvisionner un tube galvanisé. Les tubes sont usuellement en longueurs de 6 mètres, il en faut 1,80 m, le reste du tube est à utiliser pour le système de pointage du capteur.

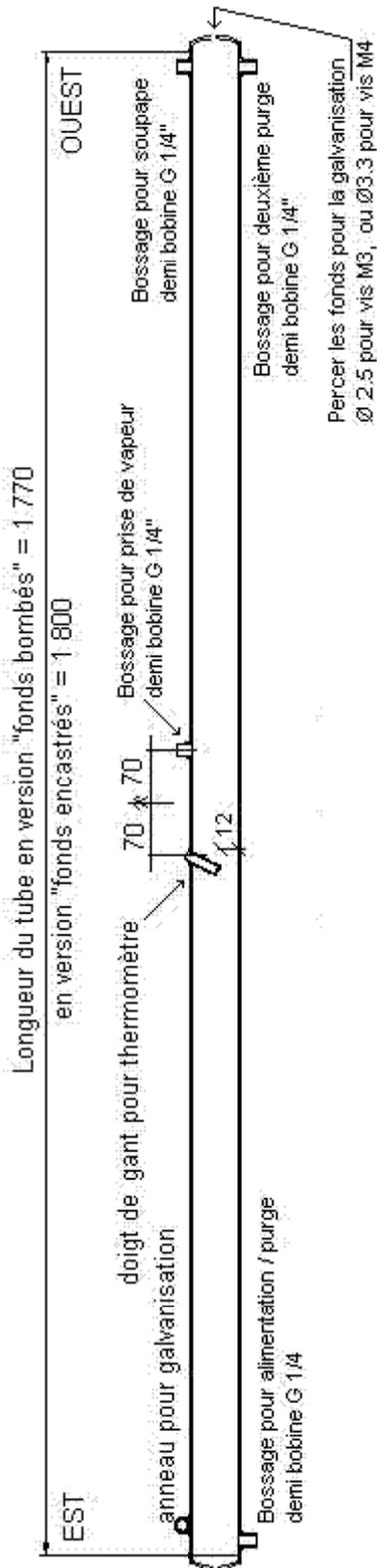
### A) LE PROCEDE DE SOUDAGE

L'assemblage du bouilleur est un travail de tuyauteur ou de chaudronnier, ce n'est pas un travail de plombier . Il s'agit de soudage, et non de brasage (alors que par la suite, tous les travaux de plomberie et de brasage sont tout à fait à la portée de l'amateur soigneux). C'est donc un travail à confier à un professionnel qualifié, qui définira lui même le procédé de soudage en fonction de ses disponibilités: soudage à l'arc, soudage flamme, soudo-brasage... Le doigt de gant en cuivre du thermomètre nécessite un soudo-brasage, mais à défaut de disposer de matériel de soudo-brasage, on peut utiliser pour le doigt de gant de l'acier inox ou un autre matériau

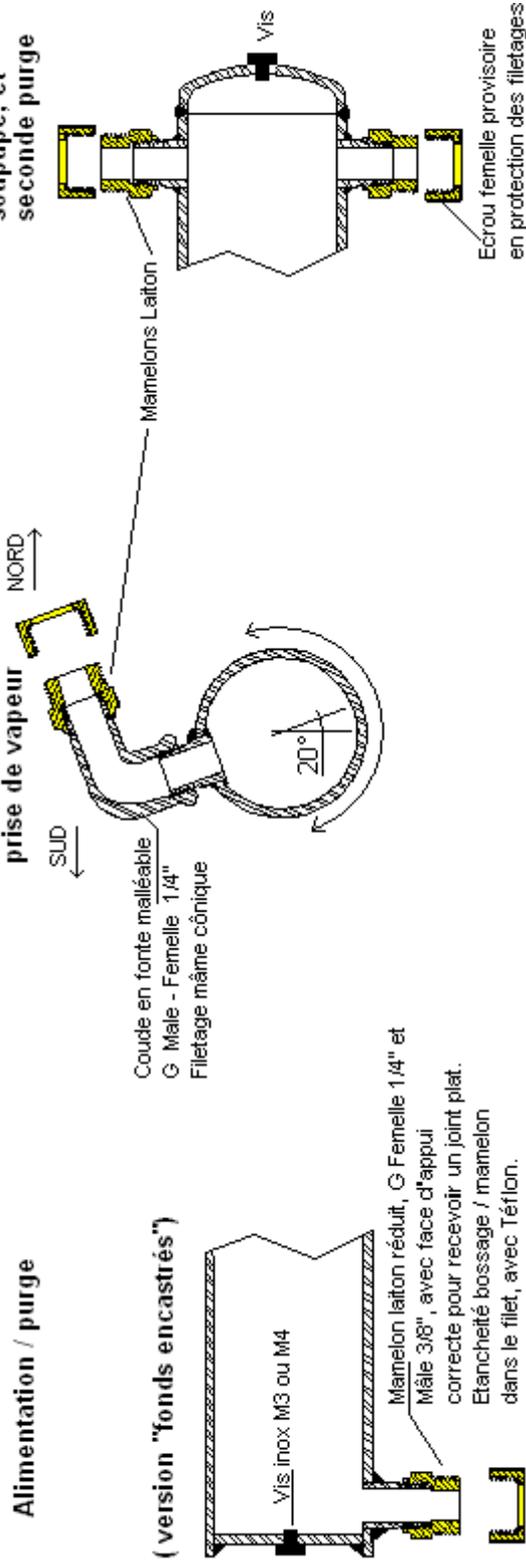
Les soudeurs n'apprécient généralement pas de souder de l'acier galvanisé. On peut si besoin dégalvaniser les zones de soudage (extrémités du tube, et emplacements des bossages) à l'aide d'acide chlorhydrique comme indiqué dans un prochain paragraphe. Les fond bombés et les demi-bobines 1/4" peuvent être soit noirs, soit galvanisés, selon les possibilités d'approvisionnement.

## B) L'ASSEMBLAGE DU BOUILLEUR

### Assemblage du bouilleur



### Après la galvanisation: garniture des demi bobines soudées



Les extrémités sont obturées par des fonds bombés, mais on peut préférer découper dans de la tôle de 3 mm des fonds à encastrer légèrement à l'intérieur du tube, de façon à faire travailler le cordon de soudure en appui, et non en traction. Dans le cas de fonds à encastrer, couper le tube chaudière à 1 800 mm au lieu de 1770 mm pour les fonds bombés.

Les quatre bossages sont confectionnés dans des demi-bobines en acier G ¼"

- un bossage pour l'alimentation-purge
- un bossage pour la prise de vapeur. Noter la rotation de 20° "vers le Sud", c'est à dire vers la gauche par rapport à la verticale lorsque l'on regarde le bouilleur depuis l'extrémité "alimentation", afin de faciliter le départ du tuyau de vapeur.
- un bossage pour la soupape
- un bossage pour une seconde purge.

Afin de pouvoir purger correctement le bouilleur, les deux bossages d'alimentation / purge ne doivent pas pénétrer à l'intérieur du bouilleur. Si c'était le cas, il conviendrait de les limer avant de souder les fonds.

Le doigt de gant doit avoir un diamètre intérieur de 6 mm, pour recevoir la sonde du thermomètre dont le diamètre est de 4 mm(à contrôler) Un tube en cuivre convient très bien, à défaut un tube inox ou en acier. Pour éviter qu'il ne se charge de zinc en fusion lors de la galvanisation, il est préférable de l'incliner vers le côté opposé à l'anneau de suspension.

L'anneau de suspension, en l'occurrence un écrou Ø 10 ou 12 mm est indispensable pour l'accrochage du bouilleur qui sera plongé verticalement dans un bain de zinc en fusion lors des opérations de galvanisation à chaud.

Il faut éviter toute formation de poche d'air dans le fond bombé supérieur, et aussi toute accumulation de zinc dans le fond bombé inférieur. Une solution consiste à percer dans chaque fond un trou Ø 3,3 mm (ou à défaut 2,5 mm) à tarauder après galvanisation et à boucher avec une petite vis inox M4 ou M3

### C) LA QUESTION DE LA PURGE DU BOUILLEUR

Des dépôts solides se forment inévitablement au fond du bouilleur, il faut les évacuer quotidiennement, sinon ils finissent par être entraînés en aval dans le circuit de vapeur.

Pour le moment, la solution est de disposer de deux orifices de purge aux extrémités du capteur, à utiliser alternativement chaque jour. Mais il est possible que cela soit insuffisant, selon la qualité de l'eau introduite dans le bouilleur. Un élément de solution pourrait être de disposer de bouchons filetés dans les fonds bombés (ou encastrés), permettant de ramoner périodiquement le bouilleur. Mais cette solution n'est pas très simple.

- il ne faut pas de cordon de soudure en sur-épaisseur du diamètre du bouilleur
- faut-il préférer des bouchons en laiton ou en inox, à soudo-braser sur les fonds ?
- il faudrait supprimer ou modifier le doigt de gant du thermomètre.
- prévoir un dispositif, permanent ou temporaire, pour bloquer le bouilleur en rotation pendant le dévissage/vissage des bouchons.

## § 4 LE TRAITEMENT DE SURFACE

**Pour l'extérieur du bouilleur** on souhaite disposer d'une surface rouillée.

L'acier rouillé est un excellent absorbeur du rayonnement solaire. Il existe d'autres types de surfaces sélectives, et il existe également la technologie du tube sous vide. Dans le cadre d'un capteur rustique, la surface rouillée est un très bon compromis. Avant d'envisager une technologie plus sophistiquée, il faudrait comparer d'une part le surcoût de la technologie, et d'autre part le surcoût d'une augmentation "à l'identique" de la surface du capteur.

**L'intérieur du bouilleur** doit être protégé contre la corrosion, notamment les zones soudées.

**La solution retenue** est la galvanisation à chaud, puis la dégalvanisation de la zone exposée au rayonnement solaire. (Il est néanmoins préférable d'utiliser un tube préalablement galvanisé, sauf à très bien nettoyer l'intérieur du bouilleur avant son assemblage.)

À l'usine de galvanisation, le matériel est d'abord immergé dans des bains d'acide, puis dans un bain de zinc en fusion. D'où la nécessité du petit anneau d'accrochage, et des événements dans les fonds, pour éviter une explosion lors de l'immersion dans le zinc, et éviter les poches d'air puis de zinc.

(NB: le cas échéant, les profils paraboliques, les entretoises de poutre après soudage, et les platines peuvent être également à galvaniser)

## § 5 APRES LA GALVANISATION

### A) LA DEGALVANISATION

**Pour les bossages**, utiliser

- le chalumeau avec une brosse métallique. température de fusion du zinc: 420° C. Le chalumeau est du type "aéro-gaz" (sans apport d'oxygène) tel que celui proposé pour le brasage dans le mémento.
- une filière Gaz 1/4" cônica, disponible notamment chez MSCdirect.com # 03867231
- de l'acide chlorhydrique.

**Pour la zone insolée**, utiliser l'acide chlorhydrique (en anglais "muriatic acid"), à ne pas confondre avec l'acide sulfurique. L'acide chlorhydrique est disponible au rayon des produits ménagers de nettoyage, dans les grandes surfaces, ou bien dans les jardinerie lorsqu'il s'agit de rétablir le Ph de l'eau des piscines. Utiliser l'acide pur, étalé abondamment au pinceau à plusieurs jours d'intervalle jusqu'à ce que la rosée fasse apparaître la rouille.

Il est inutile d'essayer de dégalvaniser à l'aide d'une meuleuse, car il est très difficile de se rendre compte du travail effectué.

### B) REBOUCHAGE DES DEUX EVENTS

Tarauder, et reboucher avec des vis inox. Pour l'étanchéité: résine ? Rondelle de joint confectionnée dans le même matériau que celui utilisé pour les raccords à joint plat ?

### C) GARNITURE DES BOSSAGES

Les bossages sont à garnir de mamelons laiton réduits Gaz Mâle 3/8 - Femelle 1/4, avec face d'appui correcte pour recevoir un joint plat. L'étanchéité entre le bossage à filetage cônica et le mamelon laiton est réalisée avec du Téflon. Le mamelon réduit a parfois une butée intérieure, si besoin on peut raccourcir légèrement à la lime le filetage mâle de la bobine, ou au contraire le prolonger quelque peu avec la filière G 1/4" cônica.

Lors de la mise en place du coude acier à 90° pour la prise vapeur, si le serrage correct ne

correspond pas à une orientation satisfaisante du raccord (bien que le filetage conique soit assez tolérant), on peut là aussi limer quelque peu l'extrémité du bossage, ou prolonger légèrement son filetage à l'aide de la filière ¼" cônica, ou prolonger le taraudage du coude.

Les filetages mâles des mamelons laiton sont à protéger, par exemple avec des écrous femelle. Après avoir subi l'épreuve de résistance, le bouilleur sera prêt à recevoir ses équipements.

## §6 EN VARIANTE: UN BOUILLEUR EN INOX

En variante, on peut concevoir un bouilleur en acier inoxydable. La grande question est alors de choisir un revêtement de surface qui absorbe correctement le rayonnement solaire au moins aussi bien qu'une surface d'acier rouillé. En pratique, la seule solution disponible et économique est la peinture noire "haute température" en aérosol, disponible en magasins de bricolage. Mais cette peinture est un moyen de protection, un écran, et l'on ne dispose d'aucune connaissance sur ses caractéristiques d'absorption du rayonnement solaire.

Un essai de bouilleur en inox a été réalisé. Les tout premiers résultats ne semblent pas indiquer une différence sensible par rapport au tube d'acier rouillé, mais il est encore trop tôt pour tirer des conclusions.

## § 7 EPREUVE DE RESISTANCE DU BOUILLEUR

L'épreuve hydraulique est une épreuve destinée à contrôler la résistance d'un réservoir. Elle est bien distincte de l'épreuve d'étanchéité, destinée à vérifier l'absence de fuite sur une installation.

Pour des raisons de sécurité, l'épreuve de résistance s'effectue avec de l'eau, sous une pression égale à 1,5 fois la Pression Maximale de Service qui est ici de 6 bar. La pression d'épreuve est donc de 9 bar.

L'épreuve d'étanchéité, destinée à repérer d'éventuelles fuites dans un circuit, et dont il sera question à la sous-section VII, s'effectue avec de l'air sous une pression de quelques bar.

Quelle réglementation appliquer au capteur ?

*S'agit-il d'un récipient soumis à la flamme ?* Lorsque l'on remplit le bouilleur avec de l'huile, la température maximum obtenue est légèrement supérieure à 260° (sans extraire d'énergie), mais on peut difficilement comparer ce niveau de température avec celui d'une flamme de combustible fossile...

*Le bouilleur est un récipient soumis à la pression*

L'arrêté du 15 Janvier 1962 modifié en 1981, relatif aux canalisations d'usine utilisées pour la vapeur, concerne les appareils remplissant trois conditions simultanées

$D > 110 \text{ mm}$

$P > 4 \text{ bars}$

$P \times D > 1000$ .

En admettant une pression de 10 bars/181° les conditions ne sont pas remplies

Le décret du 26 avril 1926 modifié en 1981, relatif aux appareils à pression, concerne les appareils remplissant deux conditions

$P > 16 \text{ bar}(204^\circ \text{ C})$

$V > 100 \text{ litres}$

Les conditions là encore ne sont pas remplies (hélas)

Il y a peu d'intérêt à éprouver à 9 bar un tube-chaudière qui a déjà été éprouvé à 50 ou 60 bar avant

sa sortie d'usine (voir le Mémento). Rien n'interdit cependant de procéder à une épreuve hydraulique, il ne s'agit en fait que d'un contrôle du soudage des deux fonds, qui pourrait d'ailleurs être effectué simplement par radiographie.

L'épreuve de résistance s'effectue en atelier, sur le bouilleur nu. Garnir les écrous femelle utilisés en protection avec une rondelle de tôle de boîte de conserve (ou une pièce de monnaie...) et un joint plat. A défaut de pompe hydraulique d'épreuve, on peut utiliser une pompe à air du type pompe sur pied pour pneumatiques de bicyclette, dont la pression maxi est de l'ordre d'une dizaine de bar

- remplir complètement le bouilleur d'eau, par exemple par l'orifice de la soupape, le bouilleur étant maintenu légèrement en pente

- visser le raccord avec valve de pneumatique (cf sous-section VII ci dessous) sur le bossage de la soupape et brancher la pompe

- insuffler dans le bouilleur les quelques centimètre-cubes d'air nécessaire à la montée en pression, qui doit être maintenue pendant quelques minutes, afin de vérifier la résistance du bouilleur à la pression. Seul le manomètre de la pompe fait foi. Il faut manoeuvrer la pompe à intervalles rapprochés pour maintenir la pression.

Sur la mise aux normes C.E. de la réglementation, voir le décret de transposition N° 99-1046 du 13-12-1999, l'arrêté ministériel d'application du 21-12-1999, et l'arrêté ministériel du 15-03-1999, disponibles sur [Legifrance.org](http://Legifrance.org)

## SECTION III ETUDE DE L'EQUIPEMENT DU BOUILLEUR

### § 1 LA SOUPE DE SECURITE

La soupape est un élément essentiel et obligatoire pour la sécurité de l'installation. Ce peut être aussi une source privilégiée de perte thermique (voir le “caloduc pervers” dans le Mémento).

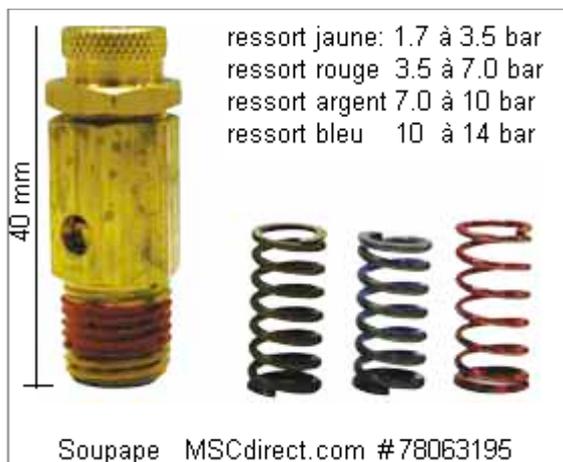
Le meilleur choix est la soupape “*non code safety valve de Midwest Control*” distribuée aux Etats Unis par MSCdirect.com sous la référence 78063195, au prix de 6 ou 7 dollars.

- Sa taille est largement suffisante pour notre propos.
- elle est livrée avec quatre ressorts, permettant une large plage de réglages avec une précision satisfaisante.
- le joint du clapet est en matériau souple, donc plus étanche qu'un clapet métallique. Au besoin, le joint peut être facilement remplacé. Un joint de clapet se confectionne en découpant à l'emporte pièce Ø 10 mm dans une plaque de Viton ep 3 mm, ou dans une plaque de silicone rouge. Le silicone est utilisé entre autres pour fabriquer des plats souples de cuisson pour pâtisserie, on en trouve dans tous les rayons ménagers des grandes surfaces. Si besoin, on peut empiler deux épaisseurs de silicone pour parvenir à une épaisseur suffisante.
- la soupape est noyée dans l'isolation du Concentrateur Parabolique Composé, et il n'y a pas d'échappement canalisé. En cas de déclenchement de soupape, le jet de vapeur va donc se répandre dans l'isolation. C'est un choix délibéré. Un échappement canalisé serait une source permanente de perte thermique, à mettre en balance avec la probabilité très faible d'un déclenchement de soupape compte tenu du mode d'utilisation du capteur.

Le filetage de la soupape est du type NPT, donc inutilisable pour nous. Après avoir réduit le filetage au diam 12 mm à l'aide d'une lime ou d'un tour, et éliminé la pâte d'étanchéité adhérent au filetage, le corps de soupape est à braser sur un raccord femelle à joint plat.

La soupape est à tarer à 5,5 bar, à l'aide de la pompe d'épreuve.

C'est une soupape identique qui sera utilisée pour réguler la pression et donc la température de la vapeur, en fin de circuit vapeur, en aval du dispositif d'utilisation de la vapeur. Elle prend alors pompeusement le nom de “soupape de régulation”, manoeuvrée par l'utilisateur entre 3 et 4,5 bar, selon l'usage qu'il fait de la vapeur.



## § 2 LE NIVEAU D'EAU

le bouilleur n'est pas équipé d'un niveau à réfraction permettant de connaître le niveau de l'eau, ni d'une alarme de niveau bas. Ces appareils sont obligatoires sur les chaudières à combustibles fossiles, mais un niveau n'est ici d'aucune utilité compte tenu de la géométrie du bouilleur et de son orientation au cours de la journée, il ne servirait qu'à dissiper de précieuses calories. D'autre part on a vu plus haut que l'à-sec était tout à fait sans aucune conséquence dommageable.

## § 3 LE THERMOMETRE

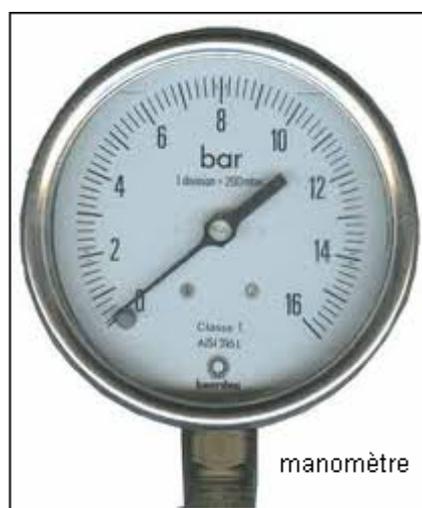
Un thermomètre à monture de laiton tel que ceux habituellement utilisés sur les chaudières serait aussi une importante source de pertes thermiques, et de plus il serait illisible pour le conducteur car placé trop haut et à contrejour au dessus du capot du Concentrateur.

Le meilleur choix est un thermomètre électronique à sonde, sur pile, distribué par Manutan.fr , référence 1888M421 pour 50 €, résolution 0,1 ° C, température max 260° C. La sonde est introduite dans le doigt de gant, après avoir versé un peu d'huile pour favoriser la conduction thermique. Le petit boîtier d'affichage est accroché sur la face Nord du capot du CPC, protégé du soleil et de la pluie par un petit capot à confectionner par exemple dans une chute de tole miroir, et bien en vue du conducteur.

Pour le visiteur, il est plaisant de voir la température grimper régulièrement, de dixième en dixième de degré.

Pour l'utilisateur débutant, il est utile de savoir ce qui se passe dans son bouilleur.

Mais à l'usage, compte tenu du fait que l'on dispose d'un manomètre qui permet de connaître la pression, donc la température, il s'avère que le thermomètre perd de sa nécessité. Il est indispensable d'en posséder un au moment de la mise en route du capteur et de la formation de son conducteur, mais une fois usé le premier jeu de pile, le meilleur choix est de le ranger le thermomètre à l'abri, et de se retourner vers le manomètre, beaucoup plus rustique.

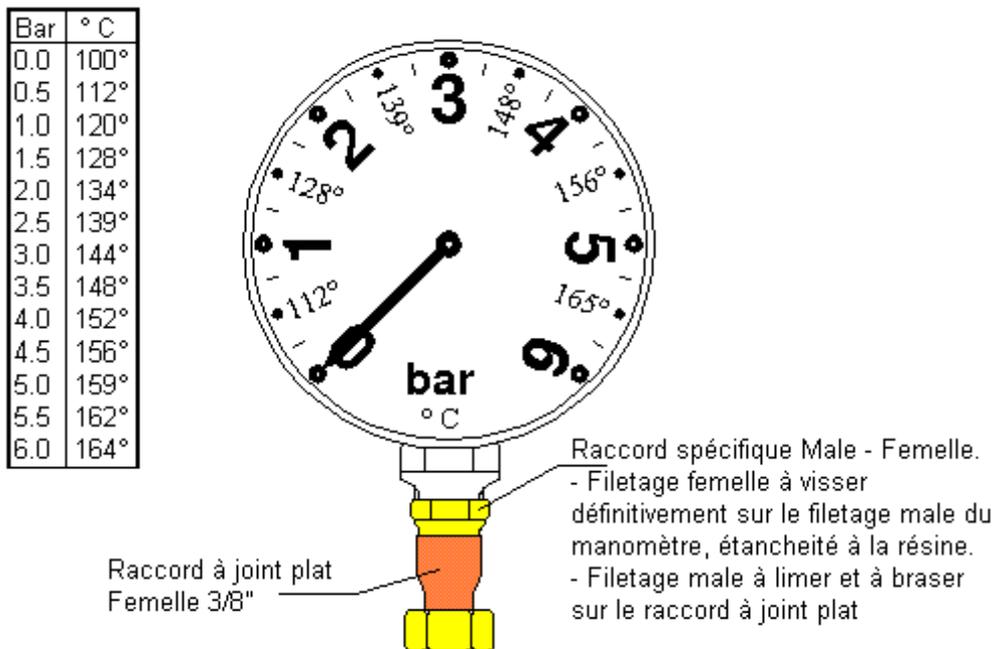


## § 4 LE MANOMETRE

Le manomètre fait également partie de l'équipement réglementaire d'une chaudière. Toutefois, afin d'éviter les pertes thermiques, le manomètre est installé non pas sur le bouilleur mais sur son circuit d'alimentation.

Les tables de vapeur fournissent la correspondance précise et immuable entre la pression et la température de la vapeur. En l'absence (probable) de thermomètre, le bon choix consiste à équiper le capteur d'un bon manomètre de qualité industrielle 0-6 bar, classe de précision 1,6 (=1,6%), diamètre 80 ou 100 mm de façon à ce qu'il soit bien lisible pour le conducteur. Par exemple: manomètre Wika 11110B10 chez gmr-robinetterie.com , ou bien référence M100VVM-6 chez mtd-mesures.fr. Un manomètre spécial vapeur n'est pas indispensable, mais il faut éviter les manomètres de bricolage pour air comprimé.

Sur le cadran, on pourrait inscrire l'échelle des températures correspondant aux pressions, ou à défaut fournir au conducteur une table de correspondance.



## SECTION IV LE TUYAU DE VAPEUR, RACCORDS, SERTISSAGE, JOINTS PLATS

### § 1 - LE TUYAU DE VAPEUR

Il s'agit ici du tuyau de prise de vapeur, entre le bouilleur et le dispositif d'utilisation de la vapeur.

#### **Matériau**

Compte tenu de la mobilité du capteur, il faut obligatoirement utiliser un tuyau souple, et non pas un tube métallique rigide, et compte tenu du niveau de température et de pression, il faut utiliser un tuyau spécifique pour vapeur et estampillé comme tel.

Il existe, pour notre usage, deux grandes catégories de tuyaux souples: tuyaux en élastomères, et tuyaux métalliques ondulés souples avec tresse métallique extérieure

Pour des raisons de diamètres disponibles, de pertes thermiques, de difficultés d'approvisionnement, de prix et de sertissage d'embouts, la solution des tuyaux souples métalliques en inox n'a pas été retenue, mais ce choix reste discutable .

Les tuyaux souples en EPDM renforcé par plis textiles 6bar/164° C conviennent pour notre usage, par exemple: tuyau Vapaliment de chez Anfray.fr

Nota voir également: gamme Metalflex chez Anfray.fr, et les produits de Gates.com

#### **Tuyau de qualité alimentaire ?**

La vapeur produite par le capteur est un fluide thermique qui n'est jamais en contact avec la matériel à stériliser ou les aliments à cuire. Quand il est questions de stérilisation ou de cuisson à la vapeur, il s'agit d'un second circuit de vapeur, qui est produite à l'intérieur du récipient de stérilisation ou de cuisson. Il est donc inutile de disposer d'un tuyau de qualité alimentaire, sauf en raison de facilités ou de contraintes d'approvisionnement.

#### **Diamètre:**

Il y a ici plusieurs contraintes

- en raison une fois de plus des pertes thermiques, le plus petit diamètre sera le meilleur
- "la vapeur a deux ennemis: l'air et l'eau" (Sergot / Memento technique). Dans un tuyau de diamètre trop important, il y aurait des risques d'accumulation de condensats qui seraient de temps à autres entraînés par la vapeur, provoquant dans l'installation des à-coups incompréhensibles pour le conducteur.
- En pratique, le diamètre 6 mm est la plus petite dimension disponible de tuyau de vapeur de qualité industrielle.
- Vitesse de la vapeur: dans le cas de tuyauteries d'un diamètre de l'ordre de 65 à 80 mm, on peut admettre pour de la vapeur d'échappement de machine la vitesse de 15 à 20 mètres/seconde (Formulaire Sergot). La production du capteur est de l'ordre de 1 kg de vapeur par heure, à 4 bar, soit 380 litres de vapeur/heure (cf les tables de vapeur). Avec un tuyau Ø 6 mm, la vitesse serait de 3,3 mètres/seconde, ce qui semble tout à fait admissible.

**Longueur** La vapeur ne se transporte pas plus qu'elle ne se stocke ! Il faut l'utiliser au plus près de son lieu de production, c'est d'ailleurs une contrainte assez difficile à faire admettre à l'utilisateur final qui parfois verrait bien le capteur d'un côté d'un bâtiment, et la cuisine ou la salle de stérilisation du côté opposé. La longueur du flexible de vapeur est à négocier décimètre par décimètre après la prise de vapeur sur le bouilleur. C'est au dispositif d'utilisation de la vapeur (cuisson ou stérilisation) de s'adapter à la configuration du capteur, au besoin en construisant une petite estrade en bois, et non à la vapeur de parcourir plusieurs mètres dans un tuyau où elle va se refroidir et se condenser, quelle que soit la qualité de l'isolation.

Quelques décimètres de tuyau de vapeur entre le bouilleur et le dispositif d'utilisation seraient un maximum à ne pas dépasser .

**Approvisionnement:** les Ets Anfray.fr distribuent le tuyau Vapaliment 6 bar /164° C, (20 bar à 95°C), coefficient de sécurité 3. La vente se fait en principe par coupes de 20 ml, et si le tuyau Ø 6 mm n'est pas disponible en stock, il peut être fabriqué sur demande en usine, par longueurs de 40 m. Voir également: Gates, Técalémit.

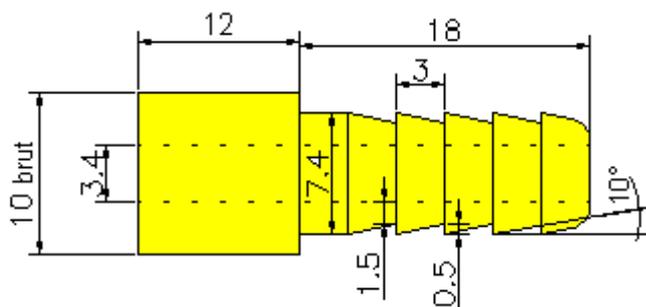
## § 2 - LES RACCORDS POUR TUYAUX DE VAPEUR

Le raccord-phare du capteur est le raccord à joint plat tel que décrit à la sous section I, facilement disponible sur étagère lorsqu'il s'agit de raccords à braser sur un tube en cuivre. Mais les raccords à joint plat pour tuyau souples, c'est à dire avec une douille annelée, sont beaucoup moins aisés à approvisionner.

### 1- Raccords disponibles dans le commerce, ou raccords spécifiquement confectionnés ?

Une première solution est de s'approvisionner auprès de fournisseurs, par exemple Legris.fr / douilles annelées.. En fait il est très difficile de trouver exactement le produit possédant toutes les caractéristiques voulues, à savoir: diamètre de douille pour tuyau 6 mm, filetage 3/8" cylindrique, face de joint de bonne qualité, etc... Quant aux raccords Femelle, ils sont quasiment introuvables.

Une bonne solution, qui permet de contourner tous les problèmes d'approvisionnement, consiste à confectionner des embouts annelés sur un petit tour d'établi, et à les braser sur des raccords à joint plat Male ou Femelle



### 2 La confection d'embouts annelés à braser

**Approvisionnement** en barres rondes de laiton Ø 10 mm:

on peut s'adresser chez Tartaix.com pour des petites quantités, ou chez cgmetaux.com pour des barres de 3 mètres qui peuvent être coupées et expédiées par transporteur.

**Cannelures** Le diamètre extérieur des cannelures doit être supérieur de 1,4 mm environ à celui du diamètre intérieur du tuyau; au delà de ce diamètre, on risque de déformer l'armature du tuyau. Il faut bien vérifier le diamètre du tuyau et faire des essais. Un tuyau présenté comme ayant un diamètre nominal de 6 mm peut avoir un diamètre réel de 6,35 mm = ¼ de pouce. Pour le tuyau Ø 6 mm de chez Anfray.fr, des cannelures Ø 7,4 mm conviennent très bien.

Pour la confection des cannelures, une bonne solution est d'utiliser l'outil de tour dit "à tronçonner" dont on a meulé l'extrémité en biais à 10 ° environ. Lors du tournage, une succession de petits "chariotage avant" suffit, sans avoir besoin de "tourner conique". Vérifier que les cannelures ne sont pas trop profondes, et qu'il reste assez de matière (1,5 mm ) pour la résistance mécanique de l'embout. La confection des embouts cannelés est un bon exercice pour apprenti tourneur.

**Diamètre de perçage intérieur** de l'embout: 3,4 mm suffisent largement, compte tenu des faibles flux de vapeur

#### **Extémité à braser:**

Pour le brasage de l'embout annelé sur le raccord à joint plat, le jeu préconisé est de

- 0,1 mm pour le brasage à la baguette cuivre-phosphore, soit 0,2 mm sur le diamètre. Ces baguettes conviennent pour l'assemblage entre cuivreux, par exemple un tube cuivre sur un raccord laiton.

- 0,07 à 0,08 mm pour le brasage à la baguette cuivre-phosphore avec argent 6%, soit 0,14 à 0,16 mm sur le diamètre. Ces baguettes conviennent pour l'assemblage entre cuivreux, et sont plus faciles à mettre en oeuvre.

- 0,05 mm pour le brasage à la baguette avec argent 40%, soit 0,1 mm sur le diamètre Ces baguettes conviennent pour toutes les combinaisons entre cuivreux, acier et inox.

En pratique, la précision du diamètre des raccords sur lesquels sera brasé l'embout est parfois aléatoire. La solution est de laisser brute l'extrémité de l'embout cannelé destiné à être brasée, et de laisser au soudeur le soin de l'ajuster selon ses préférences. Pour réduire le diamètre, saisir l'embout dans un mandrin de perceuse, et "usiner" à la toile abrasive autant que besoin.

### **3- brasage**

Le brasage s'effectue au chalumeau aéro gaz de plombier. Un chalumeau oxygène-gaz est inutile, et même déconseillé pour un néophyte qui a toutes les chances de faire fondre une partie du raccord avant de l'avoir chauffé de façon homogène

On peut employer les trois précédés de brasage évoqués ci dessus, c'est parfois le jeu entre les deux pièces qui impose le choix de la baguette d'apport. C'est un excellent exercice pour un apprenti brasseur.

### **4 - Une solution intermédiaire**

Si l'on ne dispose pas d'un petit tour d'établi, une solution intermédiaire consiste à approvisionner des embouts annelés avec filetage mâle, puis à réduire le filetage à la lime et/ou avec une perceuse et de la bande abrasive comme décrit ci dessus, et à les souder sur des raccords à joint plat adéquats.

### **5 – Quelques configurations de raccords assemblés**



Douille annelée et raccord à joint plat Mâle, en attente de brasure  
 Dans le cas d'un filetage Male, il faut toujours conserver l'empreinte hexagonale pour la cle de serrage, afin de faciliter les montages / démontages



Douille annelée, et raccord à joint plat Femelle, en attente de brasure



Douille annelée du commerce, modifiée et brasée

### § 3 LES SERTISSAGES

Le sertissage du tuyau sur la douille du raccord peut s'effectuer de plusieurs façons: sertissage par colliers, sertissage par douille, et sertissage par douille présertie sur le raccord.

#### A) LE SERTISSAGE PAR COLLIERS

Il existe deux sortes de colliers de sertissage: les colliers à bande, et les colliers à oreille  
**Colliers à bande** la plage d'utilisation (diamètre extérieur du tuyau ) est gravée sur le collier. , et doit impérativement être respectée. Par exemple: serflex 10-16 mm. Préférer les colliers à bande pleine plutôt que les colliers ajourés, ils sont plus résistants et évitent l'extrusion du caoutchouc à travers la bande. Utiliser uniquement des colliers inox.

Afin de ne pas blesser le tuyau, cesser le serrage du collier lorsque le diamètre extérieur du collier est très légèrement en dessous du diamètre extérieur du tuyau.

**Colliers à oreille** La plage d'utilisation est également inscrite sur le collier. Pour ce tuyau Vapaliment Ø 6 mm, le collier 13-15 mm convient parfaitement. L'outil adapté pour le serrage est la pince coupante dite "tenaille russe", mais on peut aussi utiliser une tenaille de menuisier, une pince multiprise, ou le serrage à l'étau.

Le serrage est satisfaisant lorsque le diamètre extérieur du collier affleure avec le diamètre extérieur du tuyau.

Les colliers à oreille étant à usage unique, on peut préférer les colliers à bande démontables pour les premiers essais.

#### Les limites du sertissage par colliers

Lorsqu'il s'agit de tuyaux flexibles véhiculant de la vapeur, le sertissage par colliers n'est pas satisfaisant. En raison de la chaleur, l'élastomère du tuyaux se dilate puis se contracte fréquemment, et l'on s'aperçoit rapidement que le tuyau tourne librement autour de la douille annelée (sans cependant provoquer de fuite de vapeur, du moins au début...) Le sertissage par colliers n'est pas une bonne solution à long terme, il faut lui préférer un sertissage par jupe, en réservant le sertissage par colliers uniquement pour les tuyaux où transite de l'eau froide(alimentation de la pompe, ou bien entre la pompe et les clapets...)



Collier à oreilles



collier à bande ajourée



collier à crémaillère emboutie



Pince de serrage

## B) LE SERTISSAGE PAR DOUILLE SIMPLE

Une douille de sertissage, est un tube métallique qui enserre le tuyau sur toute la longueur de la douille annelée du raccord. Après installation du raccord et de la douille, cette dernière est comprimée à l'aide d'un appareil spécifique.

Le tuyau est donc serti sur une longueur beaucoup plus importante que les 5 ou 8 mm de largeur du collier, c'est une solution beaucoup plus satisfaisante. On peut distinguer deux sortes de douilles simples : les douilles "minces lisses" et les douilles "épaisses"

Nota : les douilles de sertissage ont aussi dénommées "jupes de sertissage". Par ailleurs, on peut remarquer que le même terme de "douille" est utilisé tant pour désigner la partie du raccord insérée dans le tuyau ("douille annelée"), que la pièce serti à l'extérieur ("douille de sertissage"), ce qui ne facilite pas la première approche de la question.

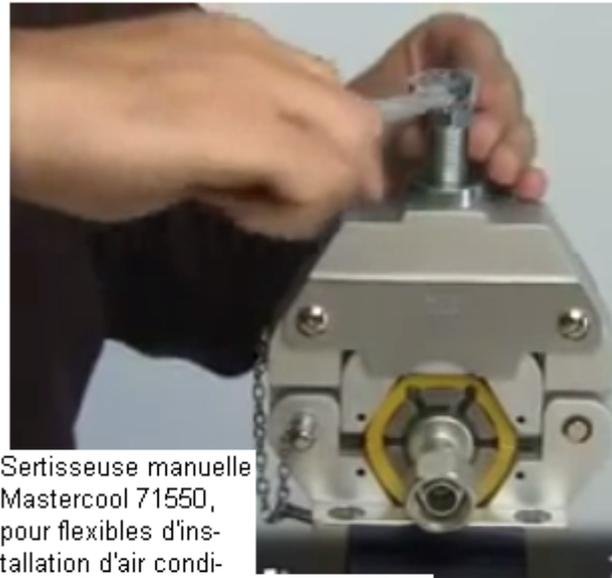
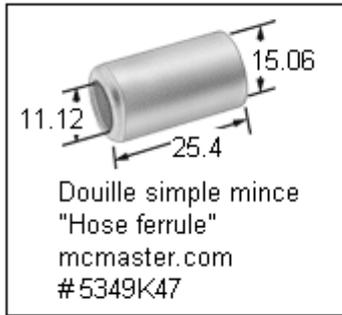
**Les douilles minces lisses** sont en tôle mince emboutie (acier, inox, laiton...), et quelque peu déformables à la main. Voir par exemple : mcmaster.com , hose ferrule # 5349K47

Il existe des petites machines à sertir manuelles convenant pour ce type de douilles, par exemple Mastercool 71550. Le choix des mors en fonction du diamètre à sertir est délicat, il est parfois nécessaire de modifier des mors existants pour obtenir un sertissage satisfaisant.

- introduire le tuyau dans la jupe de sertissage
- insérer le tuyau avec sa jupe sur la douille annelée du raccord. Après insertion, le  $\varnothing$  de la jupe de sertissage doit être parfaitement adapté, sans jeu, au  $\varnothing$  du tuyau
- procéder au sertissage.

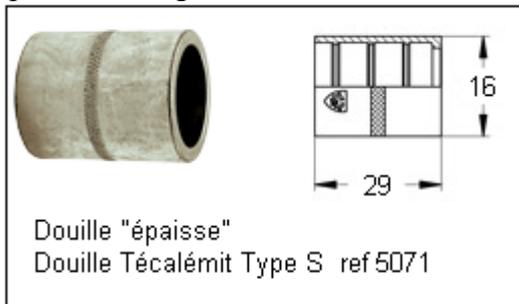
La pression de sertissage adéquate relève essentiellement du coup de main professionnel. Si l'on insiste trop, l'armature de toile intérieure du tuyau se casse, et le tuyau fait un quart de tour, on s'en rend compte en gardant une main sur le tuyau pendant le sertissage.

Il est avantageux de bien graisser le pas de vis de la sertisseuse manuelle.



Sertisseuse manuelle Mastercool 71550, pour flexibles d'installation d'air conditionné (les climatiseurs avec R 104 fonctionnent sous ~28 bar)

**Les douilles épaisses annelées** sont indéformables à la main, elles comportent souvent des anneaux intérieurs qui accrochent la paroi extérieure du tuyau, à l'instar de de la douille annelée du raccord. Elles nécessitent l'usage d'une machine généralement motorisée, en atelier, c'est un travail de professionnel spécialisé en sertissage de flexibles. Des informations sur les données de sertissage sont disponibles sur gates.com



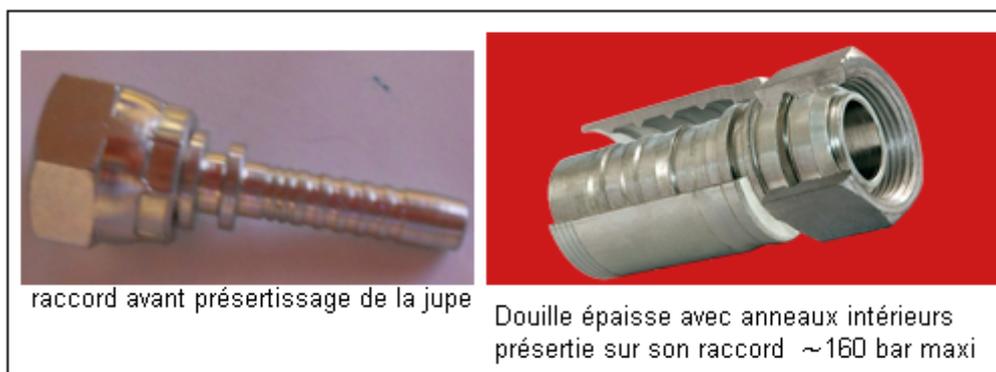
### C) LE SERTISSAGE PAR DOUILLE PRESERTIE SUR LE RACCORD

Dans ce cas, une extrémité de la douille est présertie sur le raccord métallique avant le sertissage du tuyau. Douille et raccord sont donc solidaires, et le “glissement” du tuyau sur la douille annelée hors du raccord devient quasiment impossible. Il s'agit donc d'une nette amélioration du système précédent.

On peut ici aussi distinguer les douilles préserties minces et lisses, et les douilles préserties épaisses et annelées. Le présertissage est effectué en usine de fabrication et non en atelier de sertissage du flexible, et il nécessite des raccords adaptés.

Noter que, sur les douilles simples, le léger épaulement en extrémité facilite leur mise en oeuvre, mais ne permet pas un accrochage sur le raccord lors du sertissage de la douille.

Il ne semble pas possible d'approvisionner des raccords présertis minces, par contre l'approvisionnement des raccords présertis, à sertir en atelier spécialisé, est faisable. Il faut alors réunir un ensemble de conditions: type de raccord (raccord à joint plat dans notre cas), type et diamètre de filetage, diamètre extérieur de la douille du raccord et diamètre intérieur de la douille à sertir.





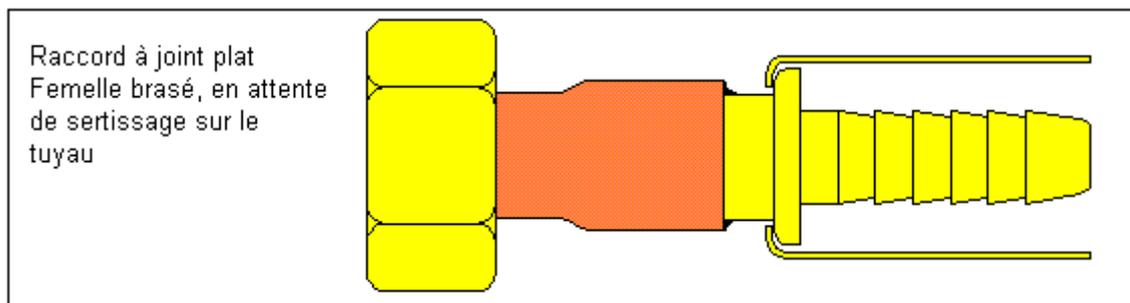
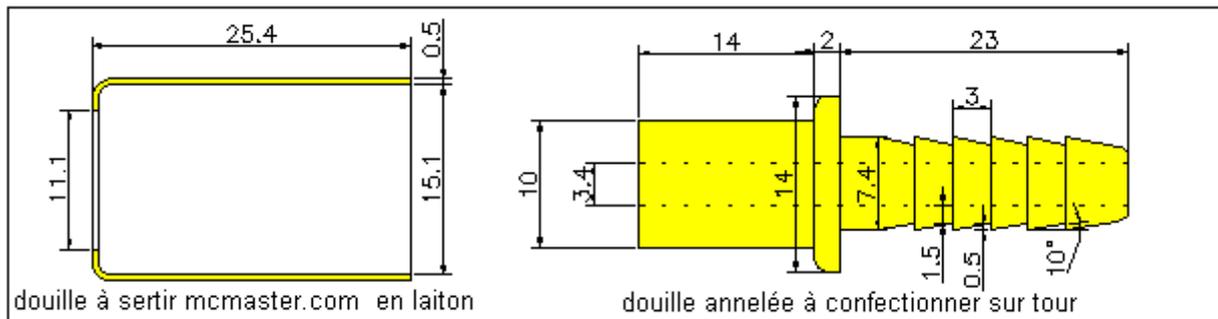
#### D) QUEL CHOIX FINAL ?

On verra ci-dessous que, par commodité d'approvisionnement, la même sorte de tuyau est utilisée pour l'alimentation en eau froide et pour la sortie de vapeur.

Lorsqu'il s'agit d'eau froide, même sous pression, les colliers de sertissage sont suffisants.

Lorsqu'il s'agit de vapeur, le sertissage par douille, si possible par douille présertie sur le raccord, est indispensable. Les embouts ci dessus sont une bonne solution.

On pourrait aussi envisager une autre solution: on a vu un peu plus haut que la meilleure méthode pour disposer d'un raccord parfaitement adapté aux besoins est de confectionner sur tour une douille annelée puis de la braser sur un raccord à joint plat. On peut alors confectionner la douille avec une petite collerette de façon à lui adjoindre, avant brasage, une douille à sertir de chez mcmaster # 5349K47.



On peut alors utiliser une sertisseuse manuelle telle que la Mastercool 71550, sous réserve de disposer de mors adéquats, ou de modifier les mors existants en fonction du diamètre de la douille

Mors Mastercool après modification (il est nécessaire de détrempier préalablement les mors d'origine en les chauffant)



Une dernière option serait de sertir des douilles épaisses avec une sertisseuse manuelle mais après avoir modifié les mors en supprimant deux indentations sur trois (pour avoir plus de puissance). Il faut alors effectuer le sertissage en plusieurs passes

**Une précaution élémentaire consiste néanmoins à disposer de flexibles de rechange.**

## E) COQUILLES DE SERRAGE POUR FLEXIBLES

Raccord vapeur type Boss

(Raccordements pour tuyaux industriels ERIKS)



Il existe des coquilles de serrage pour flexibles, mais pour les petits diamètres qui nous concernent, l'approvisionnement n'est pas aisé

## .§ 4 LES JOINTS PLATS

### 1-Le matériau

Les joints plats à insérer entre les raccords Mâle et Femellesont à confectionner dans du matériau spécifiquement prévu pour la vapeur, disponible en feuilles épaisseur 0,5 mm de préférence ou à défaut 1 mm, par exemple Latty gold 92 ou Tesnit, ou Garlock Blue Gard. C'est un matériau *fibré* et résistant à la chaleur jusqu'à 440° C (c'était une des applications de l'amiante). On peut se le procurer chez [solutions-elastomeres.com](http://solutions-elastomeres.com) / Etanchéité / feuilles à joints. Les feuilles de faible épaisseur sont expédiées en rouleau.

### **Les matériaux à ne pas utiliser:**

Il existe d'autres matériaux résistant à la chaleur, par exemple le Viton (alias FKM), ou le silicone (de couleur rouge, dont on fait maintenant des plats de cuisson pour pâtisseries). Ce sont des matériaux souples, mais *non fibrés*, et le serrage du raccord provoque un écrasement et un fluage du matériau (le diamètre de passage intérieur diminue) jusqu'à sa désagrégation si l'on insiste trop au serrage. Par contre ces deux matériaux sont nécessaires pour (re)garnir les clapets de la soupape de sécurité et de la soupape de régulation, mais ils sont alors enserrés dans une cuvette, qui empêche tout fluage. Les joints toriques, même en EPDM, ne conviennent pas non plus pour notre usage (ou alors à titre de dépannage ?).

## 2- la confection des joints

Les joints se confectionnent avec un emporte pièce de 5 ou 6 mm, et un emporte pièce de 15 mm. Il est judicieux de tracer l'emplacement du joint par deux traits en croix, de commencer par évider l'intérieur, puis de détourer l'extérieur. Il est impératif de travailler sur une pièce de bois *dur* (chêne, hêtre). Si l'on utilise du sapin ou du contre-plaqué, la feuille se déforme mais n'est pas coupée franchement.

On peut aussi achever la découpe de l'extérieur avec des ciseaux, une fois que la feuille a été bien marquée à l'emporte pièce, ou la parachever avec de la feuille abrasive.

Le diamètre de 5 ou 6 mm est beaucoup plus petit que celui des joints fibrés usuels en plomberie (9 mm). Mais ce petit diamètre est suffisant pour notre usage, et si l'on découpait l'intérieur avec un emporte-pièce plus grand, le joint risquerait d'être trop fragilisé.



Emporte pièces    Otelo.fr  
Ref 64056015

## 3 Les joints en plomb

Les couvreurs ont souvent un peu de plomb en feuille, épaisseur 1,5 mm, dans le fond de leur atelier. Avec une perceuse, des ciseaux et un peu de bande abrasive, on peut très bien confectionner un joint artisanal. On peut aussi récupérer un peu de plomb dans un garage automobile, près de la machine à équilibrer les roues, le fondre et l'étaler sur une plaque, le marteler jusqu'à l'épaisseur voulue, et y découper un joint. Il est préférable de s'entraîner un peu, on n'est pas certain de réussir du premier coup...

Rappel: le circuit de vapeur en tant que fluide thermique n'est jamais en contact avec le produit en cours de cuisson ou de stérilisation

## 4 Les solutions de dépannage

La règle, c'est d'abord de ne pas être en panne de joint. Des joints, ou de la feuille à joints, cela se stocke, et c'est facile à expédier... comme une lettre à la poste.

Il ne faut pas qu'une panne de joint arrête une installation. Des solutions de dépannage existent

- le joint en plomb, à confectionner comme ci dessus
- le joint fibré pour eau froide, ou pour eau chaude (joint 3/8" "12\*17")
- le joint "CNK" agréé Gaz de France, disponible dans tous les magasins de bricolage, qui n'est pas prévu pour la vapeur, mais qui résiste à une température de 350° C
- le cuir est aussi une solution, mais la tenue du cuir dépend beaucoup des qualités de tannage, il risque de fluer, de se désagréger sous l'effet de la chaleur et de venir encombrer le circuit de vapeur et ses organes de régulation.

## 5-Les joints sous le bouilleur

Il faut porter une attention particulière aux deux joints plats d'alimentation / purge, situés en dessous du bouilleur, et donc soumis en permanence au rayonnement solaire concentré. Les joints Latty gold 92 ont pour le moment donné satisfaction. Une autre solution consisterait à utiliser des joints en plomb, dont le point de fusion est de 327° C, mais ce niveau de température est moins élevé que les 440° C du Latty gold.

## § 5 L'ISOLATION DU TUYAU VAPEUR

C'est un problème... qui n'a toujours pas trouvé de solution définitive. Il est pourtant indispensable d'isoler le tuyau pour ne pas gaspiller immédiatement l'énergie que l'on vient de recueillir. Pour le moment, on utilise de la gaine isolante pour tuyaux de chauffage en mousse, disponible en grandes surfaces. Ce matériau a l'avantage d'être peu cher, mais il n'est pas adapté à la vapeur, et s'il est malencontreusement exposé au rayonnement solaire concentré, il fond... comme neige au soleil.

Il existe plusieurs qualités d'isolants, il semble que les gaines en mousse de caoutchouc (?) résistent le mieux à la chaleur.

Une bonne solution est probablement la gaine de protection en silicone-verre Thermogaine, fabriquée par Hutchinson, disponible chez Anfray.fr La dimension 16x25 convient pour du tube Ø 15 mm extérieur. Son prix est particulièrement élevé. Il s'agit d'une gaine de protection, et non pas vraiment d'isolation, mais on peut lui rajouter de la gaine isolante classique.

Thermogaine  
Hutchinson



Pour le maintien de l'isolation autour du tuyau de vapeur, il est nécessaire d'utiliser de la bande adhésive dont la colle résiste à la chaleur. Par exemple:

- Acrylic Scotch 3M N° 425
- Silicon Scotch 3M N° 363

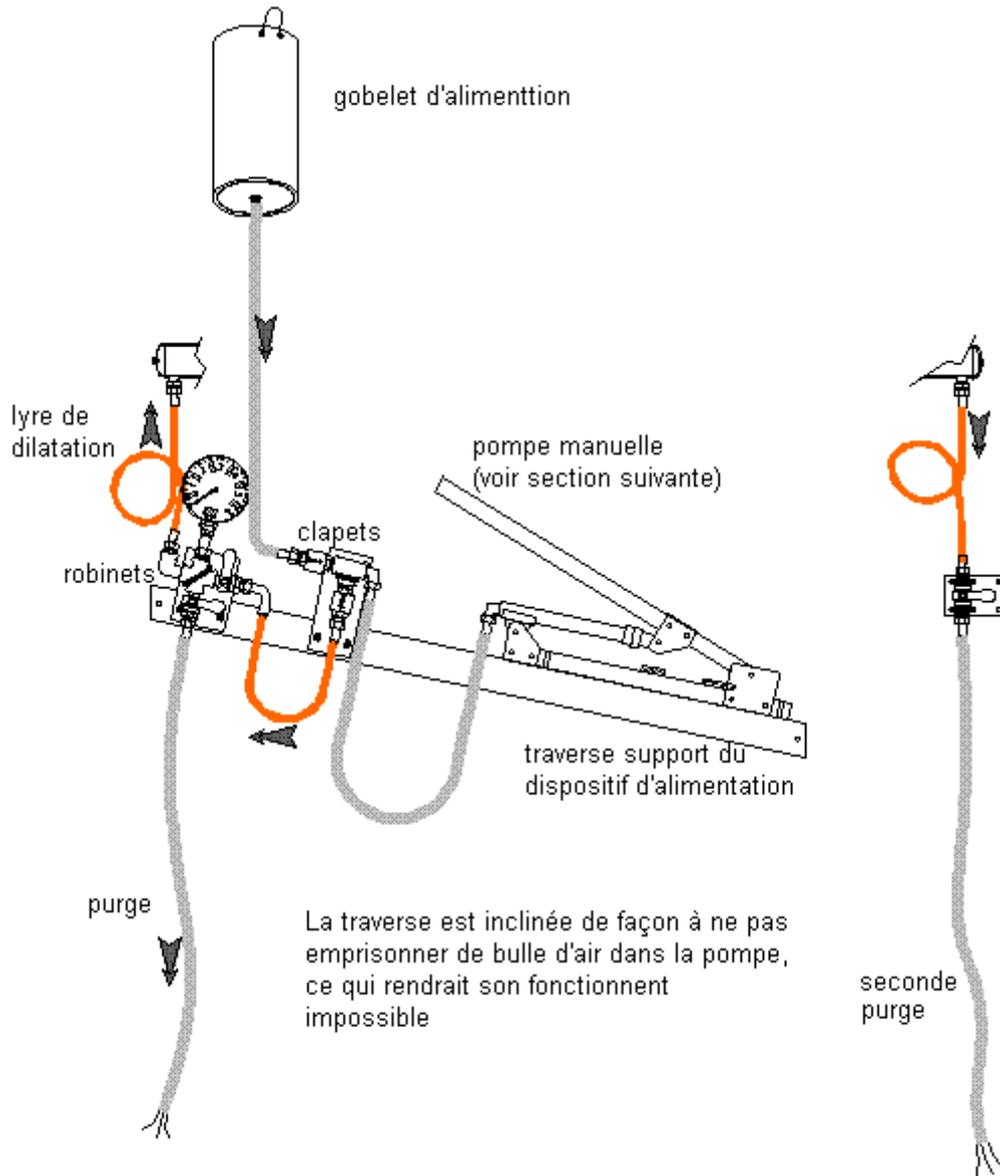
La référence 425 en largeur 2 pouces devrait convenir; cette bande, une fois refendue, conviendrait aussi pour la fixation des toles miroir sur leur support. Voir MSCdirect.com, puis "foil tape"

## § 6 FILTRES

En raison d'inévitables entrainements d'impuretés et dépôts provenant de l'eau fraîche introduite dans le bouilleur, l'installation d'un filtre sur le circuit de vapeur serait certainement une sage précaution. Par exemple: fabriquer un filtre "volant" à installer sur le tuyau en aval du gobelet (à l'instar de filtres à essence sur certaines tondeuses à gazon), démontable en deux parties pour être facilement nettoyé. Comme élément filtrant, en plus de grillages type "tamis à farine", on peut utiliser du textile synthétique non tissé genre Bidim ou autre, connu également sous le nom de "feutre de jardin" dans toutes les jardineries.

**SECTION V**  
**DISPOSITIF D'ALIMENTATION ET DE PURGE**  
**DE LA CHAUDIERE**

**§ 1 VUE D'ENSEMBLE DU DISPOSITIF D'ALIMENTATION ET DE PURGE**



Par commodité, les composants du dispositif d'alimentation sont installés sur une traverse qui sera ensuite fixée sur la charpente du capteur.

Une bonne partie des filetages mâles et femelles sont parallèles, ce qui nécessitera, après montages à blanc, d'effectuer des étanchéités à la résine (GEB ou Loctite 272) ou à l'étain ou à l'argent 40% comme indiqué en tête de chapitre. Nota: les assemblages à la résine sont très difficilement démontables.

## §2 LE GOBELET D'ALIMENTATION

Un volume de l'ordre de 2 litres convient. Un bon choix: du tube en PVC translucide de 1/2 pouce/100 mm intérieur, longueur 27 à 29 cm ( voir: "regal plastic"). Pour le fond, le meilleur choix est du PVC plat à découper à la scie, à la lime ou au tour, et à coller. A défaut n'importe quel autre matériau, collé au mastic-colle identique à celui utilisé pour les miroirs, conviendra.. Dans ce dernier cas, pour une bonne étanchéité, chanfreiner largement la pièce du fond.

Pour traverser le fond, on peut utiliser de la tige filetée de 12mm ou plus, à couper et percer. En bout de la tige filetée, braser (par exemple) un raccord mâle à joint plat 3/8". La tige filetée peut dépasser quelque peu à l'intérieur du gobelet, créant ainsi une petite "zone de décantation" où viendront s'accumuler les éventuels petits cailloux égarés dans l'eau à introduire dans la chaudière. On peut recouvrir l'extrémité de la tige filetée avec un petit filtre (métallique ? textile ?), On peut aussi recouvrir l'ouverture du gobelet avec un filtre, et lui confectionner un couvercle pour limiter les entrées de poussière.

## §3 LES CLAPETS

Lorsque l'utilisateur manoeuvre la pompe alimentaire, tout le corps de pompe bascule légèrement. Il a donc semblé préférable de désolidariser les clapets de la pompe, et de les installer sur une platine qui elle même est fixée sur la traverse.

Les clapets sont du type "clapet anti-retour 3/8", le corps est en laiton, les clapets proprement dits sont en Nylon, les filetages sont Femelles. L'approvisionnement est assez aisé chez les distributeurs de plomberie. Il existe des clapets entièrement en bronze, y compris le clapet proprement dit, mais ils ne sont pas adaptés à notre usage.

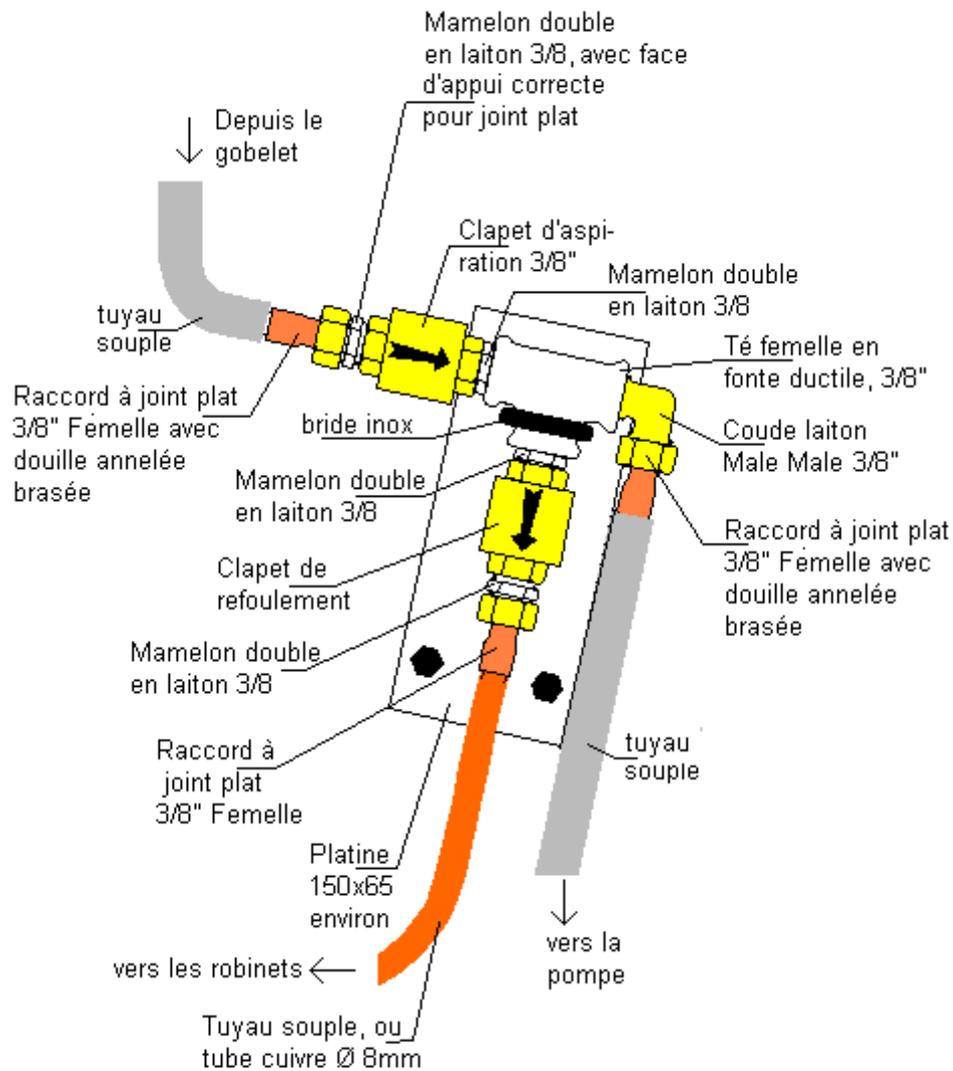
Les clapets sont vissées sur un raccord en T, lui même fixé sur la platine par une bride confectionnée dans de la tige filetée inox M5 ou M6.

Pour la platine, de la tôle identique à celle des platines de la charpente, ou mieux de la tôle alu epaisseur 2 mm, conviendraient.

Les clapets conviennent très bien pour notre usage, mais ils ne sont pas prévus pour équiper une pompe, leur étanchéité n'est pas forcément parfaite, et les clapets nylon ne supporteraient pas un refoulement d'eau chaude provenant de la chaudière. La véritable coupure du circuit, entre la pompe et le bouilleur, est assurée par un robinet. Lorsque l'utilisateur veut introduire de l'eau fraîche dans la chaudière, il ouvre d'abord le robinet, pompe la quantité d'eau voulue, puis referme le robinet.



Clapet anti retour



**Veiller particulièrement à la longueur des filetages mâles des mamelons doubles, qui parfois viennent en butée à l'intérieur des clapets, avec risque de détérioration. Si besoin, raccourcir les filetages mâles à la lime**

## §4 LES ROBINETS

Par commodité, les robinets ont été désolidarisés des clapets, les robinets et les clapets étant reliés par un tube de cuivre ou un tuyau souple, mais ce choix peut être discuté.

Un premier robinet sert à isoler la pompe, afin que ses clapets ne soient pas en charge de façon permanente, le second robinet sert à la purge du bouilleur, en fin de journée, alternativement avec l'autre robinet de purge placé à l'autre extrémité du bouilleur.

Les robinets "quart de tour à sphère" sont les mieux adaptés pour notre usage. Les robinets de dimension Gaz 1/4" étant très difficiles à approvisionner, on utilise des robinets Gaz 3/8" Male Femelle, filetage mâle conique. Si besoin, raccourcir ou modifier les petits leviers de manoeuvre. La tenue à la température d'un robinet dépend du matériau souple utilisé pour les joints et/ou la cage de la sphère. Des joints en PTFE conviennent très bien cf Legris.com 4902 10 17, mais ils ne sont pas faciles à approvisionner. A défaut, et compte tenu du fait qu'il ne s'agit pas d'une utilisation en service continu mais seulement pendant quelques secondes par jour, on pourra se contenter de robinets "pour eau chaude", dont les joints intérieurs sont en nitrile ou autre, par exemple Legris.com 4810 10 17

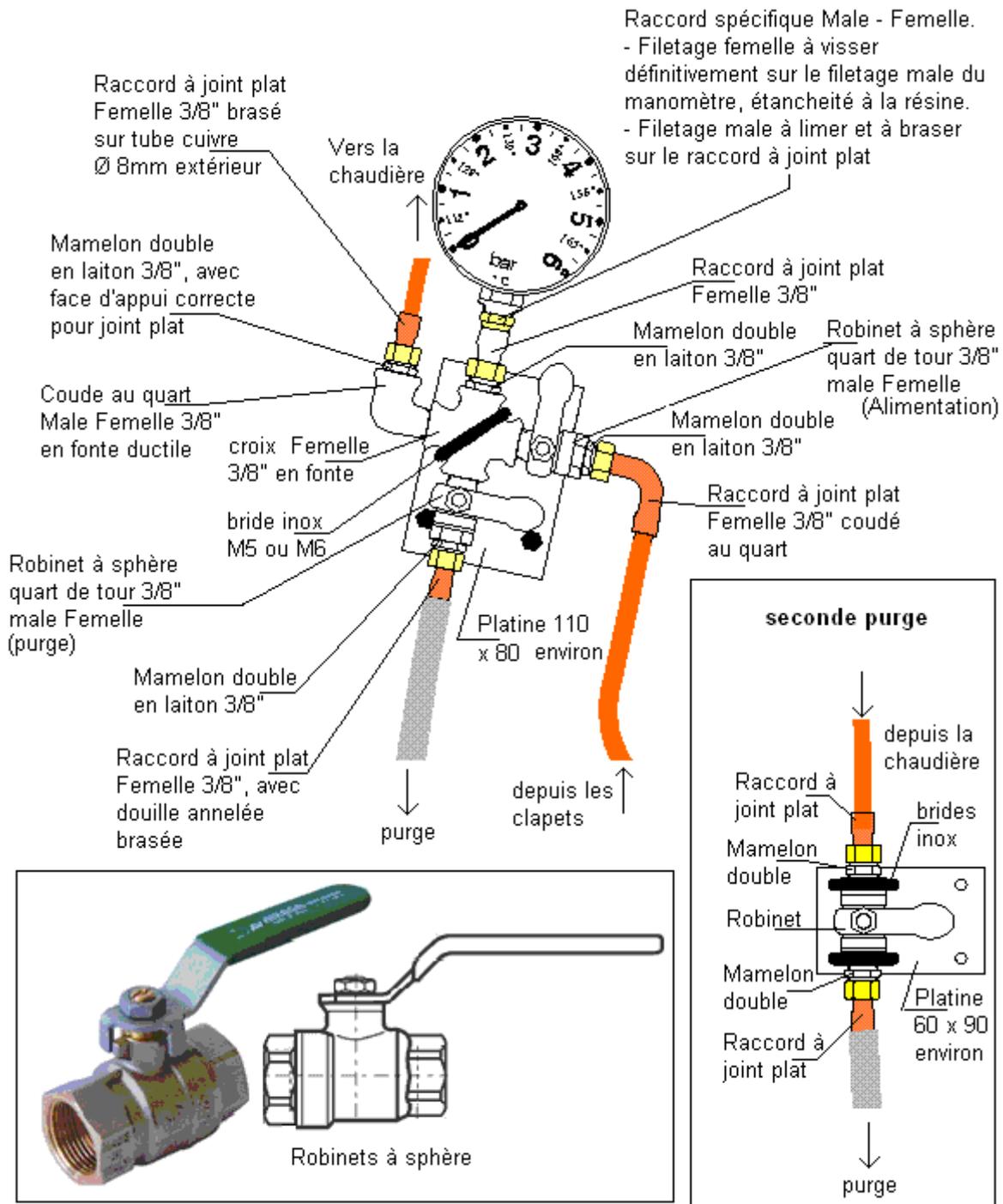
Un raccord en croix Femelle 3/8" en fonte ductile reçoit

- le robinet d'alimentation
- le robinet de purge
- le manomètre (évoqué précédemment)
- le départ vers la chaudière.

L'ensemble est fixé sur une platine en tôle à l'aide d'une bride formée dans une tige filetée inox M5 ou M6

Le raccord en croix peut être remplacé par deux raccords en Te si l'approvisionnement est trop difficile. Les robinets Male-Femelle peuvent bien sûr être remplacés par des robinets Femelle-Femelle, selon les disponibilités d'approvisionnement. Les robinets à sphère, au contraire des robinets à soupape, n'ont pas de sens préférentiel de passage du fluide. La poignée de manoeuvre des robinets est à orienter ergonomiquement.

Pour le départ vers la chaudière, il est préférable d'utiliser un coude au quart en fonte ductile ou en laiton (et non un coude en cuivre) en raison des efforts dus à la dilatation de la liaison avec la chaudière.

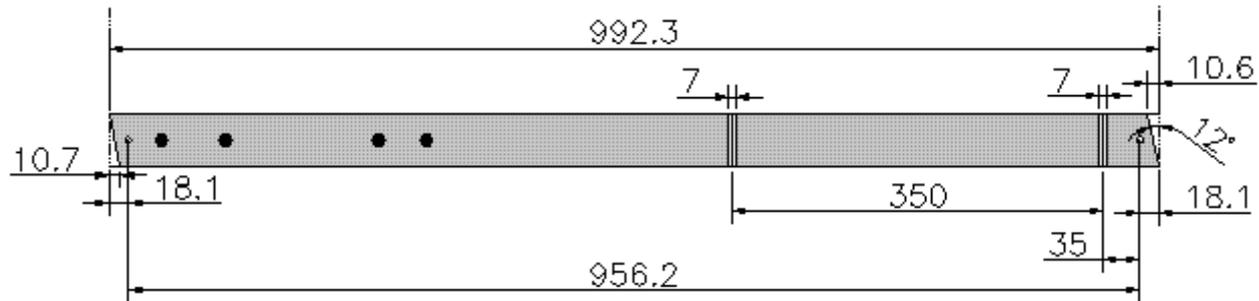


## §5 LA SECONDE PURGE

Le bouilleur n'étant jamais parfaitement de niveau, il est nécessaire d'installer une seconde purge. On pourrait se contenter de fixer le robinet sur la charpente à l'aide de deux colliers Serflex, mais à terme il ya risque de glissement en raison de la dilatation, et le tube en cuivre pourrait en faire les frais. La bonne solution est de fixer le robinet sur une platine avec des brides inox, et de fixer la platine sur la charpente.

## §6 LA TRAVERSE SUPPORT DU DISPOSITIF D'ALIMENTATION

N'importe quelle section de tube convient. Afin de faciliter la manoeuvre du levier de la pompe, et éviter que la main vienne buter sur la diagonale de la charpente, il peut être intéressant d'interposer une cale en tube carré de 25 x25 mm entre la charpente et la traverse.



## § 7 TUBES ET TUYAUX

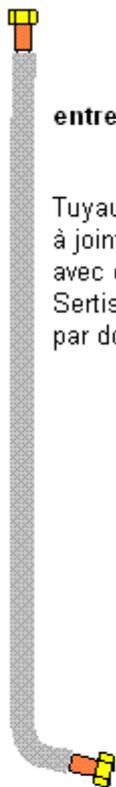
**Entre le gobelet et les clapets** n'importe quel tuyau conviendrait. Le plus simple est d'utiliser le même tuyau souple que pour la vapeur. On constate que le diamètre de 6 mm est tout à fait suffisant. Sur les raccords, des sertissages par colliers sont également suffisants.

**Entre les clapets et la pompe**, le tuyau est soumis à la même pression que la chaudière pendant le temps du pompage. Compte tenu du mouvement de la pompe pendant la manoeuvre, il faut obligatoirement utiliser un tuyau souple. Compte tenu de l'inévitable présence, à un moment ou à un autre, de bulles d'air dans le circuit, il est préférable d'utiliser un tuyau de petit diamètre, afin que les bulles d'air soient entraînées et chassées par l'eau (c'est en raison des bulles d'air que la pompe est inclinée vers l'arrière). Le même tuyau vapeur  $\text{Ø} 6$  mm convient donc très bien, avec si on le souhaite des sertissages par colliers puisqu'il s'agit d'eau froide.

**Entre les clapets et les robinets**, on peut installer de préférence un tube cuivre  $\text{Ø} 8$  mm extérieur, ou bien un tuyau vapeur avec sertissage par douilles. Ici aussi un petit diamètre s'impose à cause des éventuelles bulles d'air

**Entre les robinets et le bouilleur** il est impératif d'utiliser un tube de cuivre, et non pas un tuyau souple. En effet, en cas de rupture sur cette liaison, c'est un jet d'eau plus que bouillante qui est projeté sous une pression de plusieurs bar. C'est probablement là le principal risque du capteur. Un jet de vapeur proprement dit, suite à une rupture de canalisation en aval du bouilleur, serait moins dangereux en termes de brûlures.

Tube cuivre  $\text{Ø} 8$  mm extérieur, avec lyre de dilatation à former avec une cintreuse manuelle, par exemple cintreuse Virax 2511-08 Il faut obligatoirement utiliser une cintreuse adaptée au diamètre du tube. Au sujet des lyres de dilatation, on peut consulter le formulaire Sergot.

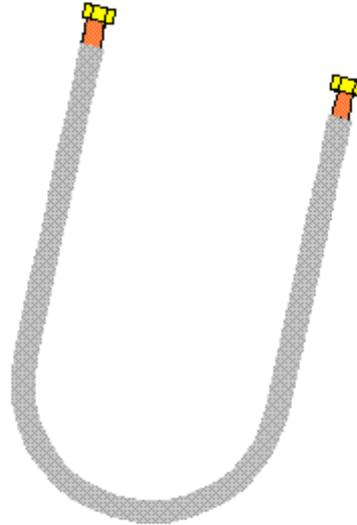


### entre gobelet et clapets

Tuyau "vapeur", deux raccords à joint plat Femelle 3/8" avec douille annelée brasée. Sertissage par colliers ou par douille

### Entre les clapets et la pompe

Tuyau "vapeur", deux raccords à joint plat Femelle 3/8" avec douille annelée brasée. Sertissage par colliers ou par douille



### seconde purge

Tube cuivre Ø 8 mm ext avec lyre de dilatation, brasé sur deux raccords Femelle à joint plat

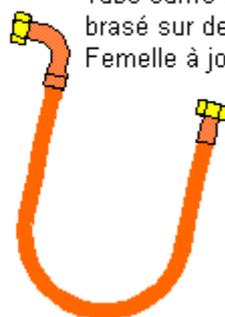


### Entre robinets et bouilleur



Tube cuivre Ø 8 mm ext avec lyre de dilatation, brasé sur deux raccords Femelle à joint plat

### entre clapets et robinet

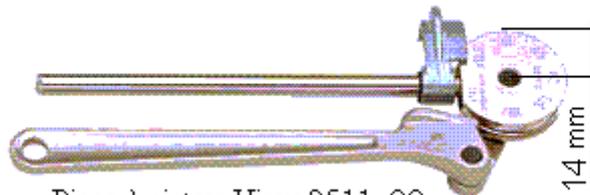


Tube cuivre Ø 8 mm ext. brasé sur deux raccords Femelle à joint plat 3/8"

### Evacuations des purges



Tuyau "vapeur" ou autre, avec raccord à joint plat femelle 3/8" et douille annelée brasée



Pince à cintrer Virax 2511-08

## § 8 D'AUTRES MOYENS D'ALIMENTATION

### A) POMPE SEMI ROTATIVE DU TYPE JAPY

Ce type de pompe existe en plusieurs dimensions, et permet de refouler de l'eau sous quelques bar (pompes-japy.fr), et on en trouve facilement sur les sites d'occasions. Pour un capteur de 2 m<sup>2</sup>, le plus petit modèle est déjà sur-dimensionné, mais c'est une solution à retenir pour des capteurs plus importants.

### B) LA BOUTEILLE ALIMENTAIRE

On dispose d'un récipient que l'on peut mettre sous pression, par exemple un pulvérisateur de jardin, dont la sortie est reliée au bouilleur via un robinet que l'on manoeuvre lorsque besoin. De fait ce n'est pas une solution très ergonomique.

### C) L'ALIMENTATION GRAVITAIRE

On dispose d'un simple récipient, identique au récipient d'alimentation de la pompe à piston plongeur. Le bouilleur ne peut être alimenté que si la pression est complètement retombée. Il faut alors surélever le récipient par rapport au bouilleur, ouvrir le robinet d'alimentation, et surtout ouvrir le robinet de fin de circuit sur le dispositif d'utilisation de la vapeur

En fait c'est une mauvaise solution, qui n'amène que des déconvenues à l'utilisateur néophyte: soit il reste un peu de pression, et l'opération est impossible, soit on oublie d'ouvrir le robinet de fin de circuit, ou bien quand l'eau commence à rentrer dans le bouilleur celui-ci se refroidit, se met en dépression et aspire d'un coup le contenu du récipient d'alimentation, le tout étant compliqué par les petites sections de tubes et tuyaux.

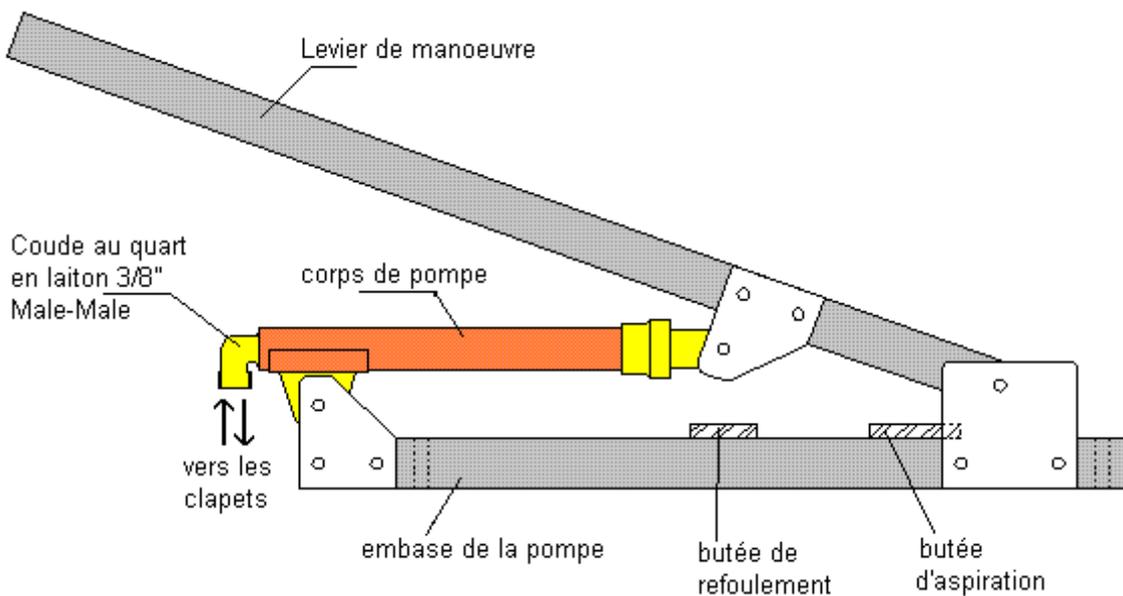
## SECTION VI

### ETUDE DE LA POMPE ALIMENTAIRE

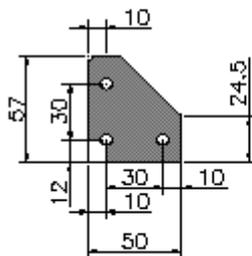
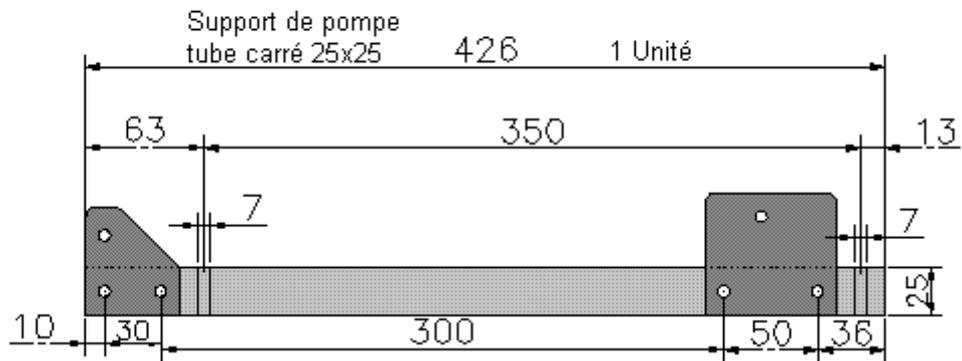
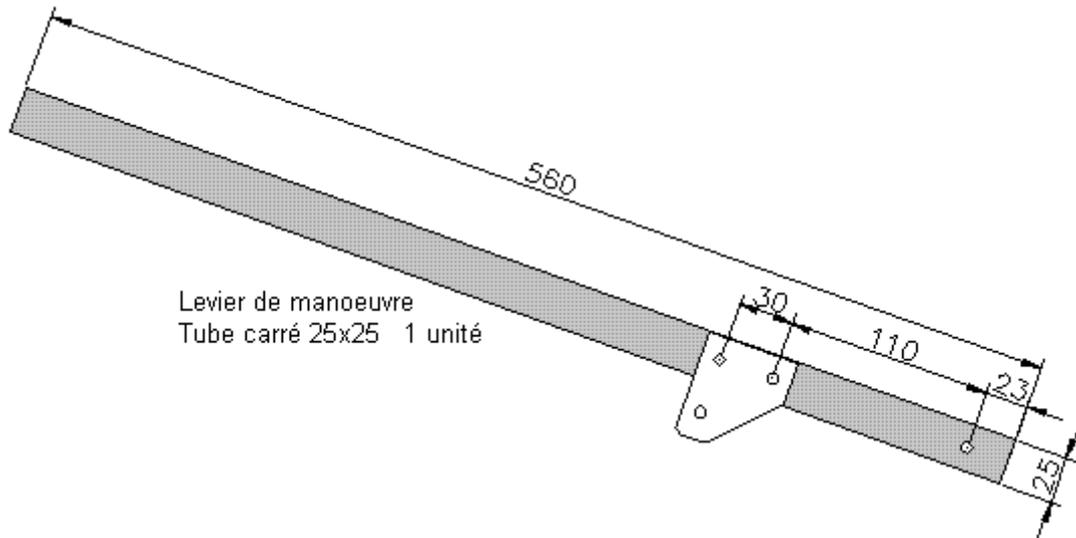
Toute chaudière nécessite d'alimentation. Ici le choix s'est porté sur une pompe alimentaire du type "à piston plongeur", à confectionner essentiellement à partir de composants de plomberie. Sa fabrication est un excellent exercice pour un apprenti plombier.

La pompe du type « à piston plongeur » présente , entre autres, le très grand avantage de contourner le problème de l'alésage du cylindre, dont le coût technique et économique serait rédhibitoire au vu de la rusticité du reste de l'installation.

#### § 1 VUE D'ENSEMBLE DE LA POMPE ALIMENTAIRE

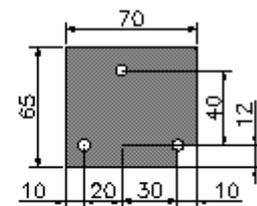


## § 2 LE LEVIER DE MANOEUVRE ET L'EMBASE DE LA POMPE



Flasques en tôle 4 Unités

En raison des manoeuvres fréquentes de la pompe, tous les écrous doivent être des écrous-frein

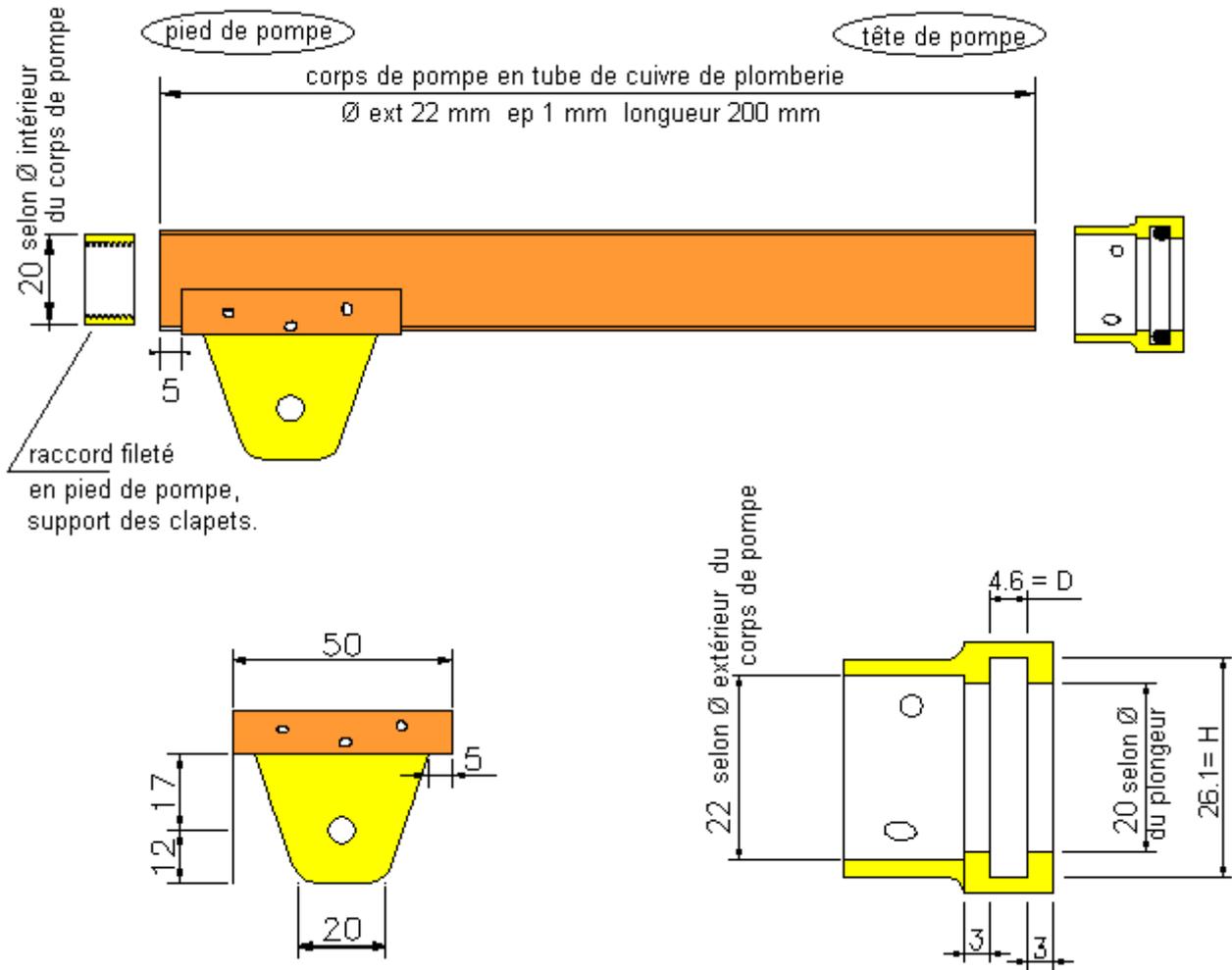


Flasques en tôle 2 Unités

Les axes proprement dits ne sont pas représentés. Ils sont à confectionner selon les matériaux et les moyens disponibles et selon les règles de l'art (une tige filetée ne peut pas servir d'axe...). L'extrémité du levier de manoeuvre pourrait être raccourcie et remplacée par une poignée en bois travaillée au ciseau à bois puis au papier de verre, et enfoncée de force dans le tube.

### § 3 LE CORPS DE POMPE

On constate qu'une barre ronde en laiton au  $\varnothing 20$  mm coulisse très bien dans un tube de cuivre  $\varnothing 22$  extérieur ep 1 mm. On utilise donc comme corps de pompe un tube de cuivre ordinaire de plomberie



**Support d'axe de la pompe**

**Support de joint torique**

Pour le brasage sur le corps de pompe le jeu préconisé est de

- 0.05mm pour le brasage à l'argent 40%,
- 0.07 à 0.08 mm pour le brasage à l'argent 6%,
- 0.1 mm pour le brasage cuivre -phosphore

#### A) RACCORD FILETÉ FEMELLE 3/8" BRASE A L'INTERIEUR DU PIED DE POMPE

Il est destiné à supporter un coude au quart Male Male en laiton 3/8"

On peut prélever le raccord fileté par exemple sur un Té Femelle G 3/8" en le découpant à la scie à métaux, puis en travaillant l'extérieur à la lime (ou sur un tour) en vue de son brasage à l'intérieur du corps de pompe.

## B) SUPPORT D'AXE DE LA POMPE

Pour répartir l'effort et ne pas déformer le corps de pompe, on soude préalablement le support d'axe sur un renfort, par exemple un demi tube de cuivre identique à celui du corps de pompe, longueur 50 mm environ

Support d'axe: si l'on a la chance de disposer d'une chute de métal cuivreux pour le support d'axe, il est possible de le braser sur le demi tube. Si l'on utilise un autre métal, acier, inox..., et compte tenu du fait que ce sont des pièces de petite taille, c'est une occasion de tenter une soudo-brasure avec un chalumeau aéro-gaz (celui utilisé pour les brasures de plombier). La soudo-brasure, qui nécessite l'utilisation d'un chalumeau oxy-gaz, est un mode d'assemblage tout à fait différent de la brasure. voir le Mémento sur le sujet.

Braser ensuite le demi tube  $\varnothing 22$  sur le corps de pompe. Pour faciliter le brasage, on peut faire quelques percements sur le demi tube, devant lesquels on présentera la baguette de brasure.

## C) LE JOINT TORIQUE, SON SUPPORT ET SA LUBRIFICATION

### **1 Le joint torique**

L'étanchéité entre le piston et la pompe est assurée par un joint torique. (d'autres solutions sont possibles: presse étoupe avec tresse, ou rondelles de cuir, etc...)

La documentation sur les joints toriques est disponible par exemple sur le site [oring.fr](http://oring.fr). C'est la même maison que [solutions-elastomeres.com](http://solutions-elastomeres.com) (Hutchinson / Total) qui diffuse également le joint en feuilles Latty pour la vapeur, utilisé pour confectionner les joints plats.. Sur [oring.fr](http://oring.fr), sélectionner "espace client", puis, en bas à droite, télécharger la fiche technique, qui contient la documentation technique complète et le catalogue des joints. C'est sur le même site que l'on peut commander les pochettes de joints.

Pour notre usage on a retenu le joint  $\varnothing$  intérieur  $d_1=19,80$  mm,  $\varnothing$  de tore  $d_2=3,6$  mm, dénommé R 16 chez le fabricant Le Joint Français.

Page 25 de la documentation: pour un montage dynamique dans l'alésage et pour un tore de 3,6 mm, la largeur de gorge D est de 4,6 mm, et la cote H = 26,16 mm

Lors de l'assemblage de la pompe, il est indispensable de lubrifier abondamment le joint torique et le piston plongeur.

**2 Le support de joint torique** en tête de pompe est la seule pièce mécanique de toute l'installation solaire, elle doit être réalisée sur un tour par un professionnel compétent, (alors que la confection des embouts annelés pour les raccords est à portée de l'apprenti)

S'il n'y a plus d'atelier de mécanique générale à proximité, on pourrait s'adresser à un mécanicien hobbyiste, on les retrouve sur des forums sur le Web Il faudrait peut-être alors lui fournir l'outil de tour adapté pour la confection de la gorge, dit "outil à chambrer droit", par exemple référence 35408DC (carré de 8 mm) chez [htk.fr](http://htk.fr), pour une petite dizaine d'€.

Le support de joint torique est à tourner dans du laiton, de façon à le braser ensuite sur le corps de pompe. Toutefois, si on envisage un brasage à l'argent 40%, l'acier inox conviendrait aussi.

L'aluminium, qui ne peut être brasé sur le cuivre, est à exclure.

Chez [tartaix.com](http://tartaix.com) on peut se procurer en petite quantité de l'ébauche de laiton  $\varnothing$  intérieur 20 mm et  $\varnothing$  ext 30 mm.

La partie du support destinée à être brasée peut être démaigrée afin d'éviter une grande différence d'épaisseur avec le corps de pompe, et donc de faciliter la chauffe lors du brasage. On peut aussi réaliser quelques percements Ø 3 mm pour faciliter la mise en oeuvre de la brasure.

### 3 La lubrification du joint torique

L'eau est le lubrifiant usuel des pompes à eau. Néanmoins le joint torique apprécie un minimum de lubrification. L'utilisation du suif de mécanicien est une solution très simple. L'intérêt du suif est entre autres sa bonne tenue à l'eau.

Pour confectionner le suif de mécanicien, il faut se procurer quelques centaines de grammes de graisse de mouton, à découper en petits cubes comme des lardons. Faire fondre à feu très doux dans une casserole, puis récupérer la graisse liquide dans des petits pots.

- on ne récupère en suif qu'une partie du poids initial de graisse
- il peut être nécessaire de laisser décanter, puis de refondre le suif, pour le séparer des impuretés.
- attention à la température élevée du suif liquide, qui peut éclater un petit pot en verre, ou faire fondre un petit récipient en matière plastique.

De temps à autre, le conducteur dépose un peu de suif sur le piston plongeur.

### D) NETTOYAGE DU CORPS DE POMPE AVANT MONTAGE DU PISTON

Une fois achevées les brasures et avant de monter le piston plongeur, il est indispensable de nettoyer parfaitement le corps de pompe. Une bonne méthode consiste à enrouler une feuille d'abrasif, sur quelques tours, sur un rond en bois ou en matière plastique diamètre 16 à 17 mm, longueur 25 cm environ

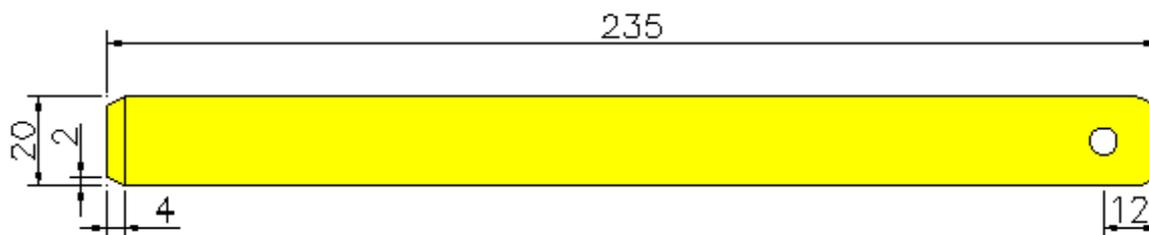
- démaigrir une extrémité du rond pour pouvoir la saisir dans un manrin de perceuse portative
- au départ, fixer la feuille sur le rond avec du ruban adhésif
- saisir la perceuse (à vitesse variable si possible) dans un étau
- nettoyer l'intérieur du corps de pompe avec des feuilles d'abrasif grade 400 à 600.
- viser une source lumineuse pour inspecter l'intérieur du corps de pompe

### § 4 LE PISTON PLONGEUR

Le piston plongeur est un tronçon de barre de laiton brut Ø 20 mm. L'état de surface des barres de laiton vendues dans le commerce semble satisfaisant pour notre usage. Il faut bien veiller à ne pas blesser ultérieurement la barre lors des manutentions, sans quoi elle serait à rejeter.

Lorsqu'on la saisit dans un étau, il faut utiliser obligatoirement des mors en bois (percer au Ø 20 mm une chute de chevron en bois, puis la refendre à la scie)

Pour l'approvisionnement en petite quantité, on peut s'adresser chez [Tartaix.com](http://Tartaix.com). Pour l'approvisionnement en barres de 3 m, qui peuvent être coupées et expédiées par transporteur, on peut s'adresser chez [cgmetaux.com](http://cgmetaux.com)



## § 5 LES BUTEES DE FIN DE COURSE

### **Fin de course d'aspiration**

Compte tenu de la longueur du plongeur, il faut limiter la course du levier de la pompe en fixant sur son support une pièce de bois ou de métal, à l'aide de rivets aveugles ou de vis autoforeuses ou autres, sur laquelle viendra buter le levier de manoeuvre...

### **Fin de course de refoulement**

Il s'agit ici d'éviter que, en fin de refoulement, l'effort ne porte sur le support de joint torique ou sur le piston plongeur, et donc sur le joint torique. L'effort doit porter sur les deux flasques du levier. La butée de fin de course doit donc être plus large que les 25 mm du support de pompe.

Une fois achevé le montage, vérifier que le piston plongeur, en fin de course, ne vient pas buter contre le pied du corps de pompe.

## § 6 LE NETTOYAGE DE LA POMPE

La pompe à piston plongeur telle que prévue ci dessus présente un inconvénient. Elle n'est pas capable d'évacuer une petite particule solide qui s'introduirait dans le corps de pompe. Il est prudent de prévoir la possibilité de déposer facilement le piston plongeur (axe avec goupille ....) et d'apprendre le geste au conducteur, en même temps que le geste de lubrification au suif.

## SECTION VII ÉPREUVE(S) D'ÉTANCHEITÉ, TARAGE DE LA SOUPAPE, CONTROLE DES BRASURES ET EPREUVE DE RESISTANCE

Petit rappel de physique: la vapeur d'eau est un gaz, donc elle est invisible. La "vapeur d'eau" que l'on voit (par exemple: le brouillard, ou la "vapeur" qui s'échappe d'une soupape), est en fait un nuage de gouttelettes d'eau déjà condensées et qui sont en suspension dans l'air. Il est donc possible qu'une faible fuite de vapeur dans une zone très chaude du capteur ne soit pas détectable. D'où la nécessité de l'épreuve d'étanchéité, en utilisant un gaz -de l'air- qui est beaucoup plus fuyard qu'un liquide.

### § 1 L'ÉPREUVE D'ÉTANCHEITÉ

#### A) LE PROCÉDE DE L'ÉPREUVE D'ÉTANCHEITÉ

Il consiste à mettre le circuit de vapeur sous pression d'air, de l'ordre de 3 bar, puis à surveiller le manomètre du circuit de vapeur. En cas de fuite, la baisse de pression est d'autant plus rapide que le volume est faible, et/ou que la pression est élevée

Sur l'ensemble du circuit, si le manomètre descend de un ou deux dixièmes de bar en un quart d'heure, c'est très bien, mais il est possible de faire mieux. Pour détecter les fuites, projeter de l'eau savonneuse (un quart de savon liquide ou de détergent pour vaisselle, et trois quart d'eau) avec un petit pulvérisateur à main comme ceux utilisés pour le produit de nettoyage des vitres, ou tout simplement avec la main.

Une fois le circuit mis en pression, il est préférable de débrancher la pompe, et de vérifier qu'il n'y a pas de fuite en bout de la valve.

#### B) LE MATÉRIEL DE TARAGE ET D'ÉPREUVE D'ÉTANCHEITÉ

Il faut considérer que la confection du matériel d'épreuve d'étanchéité fait partie intégrante de la confection du circuit de vapeur du capteur, de façon à en disposer autant que besoin tout au long du processus de fabrication.

**La pompe** une pompe pour pneumatiques de bicyclette dite "pompe de pied" convient parfaitement pour notre usage.

#### **La valve de raccordement**

Pour raccorder la pompe au circuit de vapeur, il faut effectuer un petit montage .

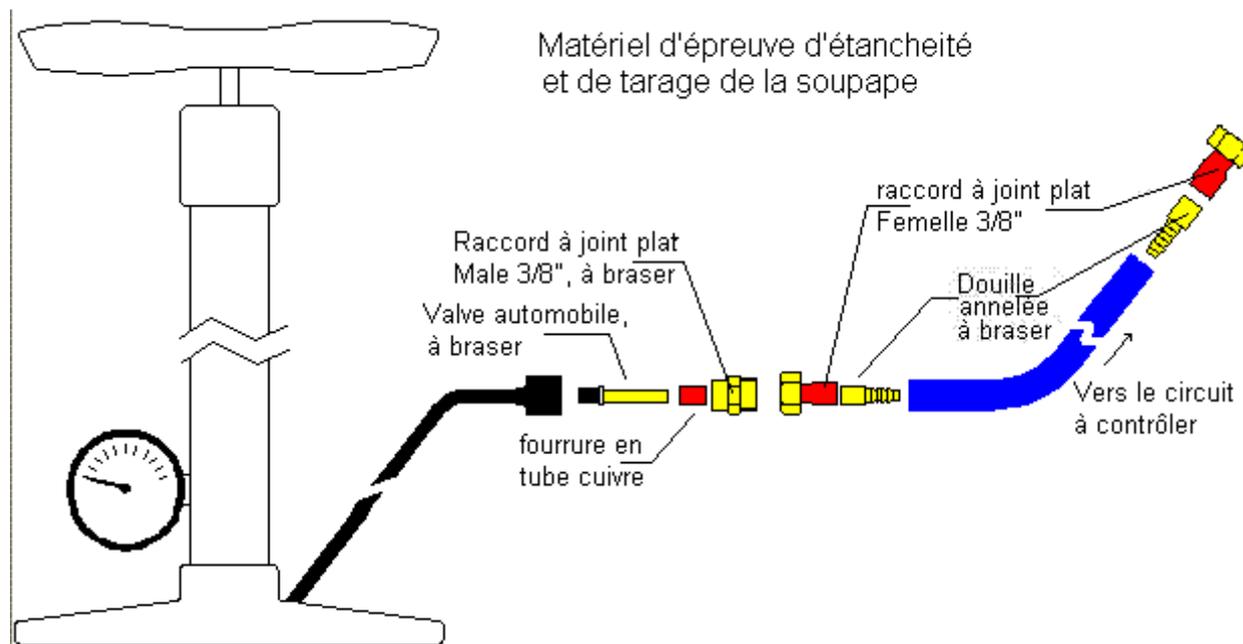
- se procurer une valve de pneumatiques pour véhicule automobile, dans un atelier de montage de pneumatiques, ou bien récupérer une valve sur une chambre à air.
- démonter la valve. Il faut pour cela disposer de l'outil adapté, que l'on peut confectionner dans une

chute de tige métallique ou dans un boulon (diam 4 ou 5 mm ?), limés au diamètre voulu, et à l'extrémité de laquelle on pratique une fente à la scie à métaux.. On peut aussi, pour quelques euros, se procurer un outil similaire de démontage des valves, dans les grandes surfaces spécialisées en pièces détachées pour automobile.

On constate que le joint souple d'étanchéité de la valve est installé sur le clapet que l'on vient de déposer. Il est donc possible de chauffer et de braser le corps de valve.

- enlever toute trace de caoutchouc adhérente au corps de valve, et réduire le diamètre sur un tour ou à la lime, pour le braser sur un raccord male à joint plat. Si besoin, interposer une fourrure en tube de cuivre Ø 10 mm entre la valve et le raccord.

On peut ensuite visser directement le raccord sur le circuit, ou bien l'équiper d'un tuyau, pour plus de facilité. Le tuyau de prise de vapeur conviendrait très bien.



### C) QUAND FAUT-IL EFFECTUER UNE EPREUVE D'ETANCHEITE

Pendant la confection du circuit de vapeur, le plombier novice peut procéder en atelier à des épreuves partielles sur des sous-ensemble du circuit pour s'entraîner et prendre de l'assurance sur la qualité de son travail.

Une fois le circuit installé sur site, l'épreuve est indispensable

- pour des raisons techniques évidentes
- pour des raisons psychologiques vis à vis des futurs utilisateurs ou bénéficiaires.
- par politesse vis à vis des autres personnes travaillant sur le projet, pour ne pas leur faire perdre leur temps. En cas de fuite de vapeur lors de la mise en chauffe du capteur en début de journée, c'est assurément la totalité de la journée qui est perdue pour toute l'équipe gravitant autour du capteur. Les fuites surviennent essentiellement lors de la mise en route du capteur, quand justement tout le monde attend de voir le capteur en fonctionnement. Après quelque temps, la corrosion aidant, les fuites sont extrêmement rares.

Une épreuve d'étanchéité est indispensable après une opération de maintenance. Rappel: la soupape de sécurité du bouilleur étant noyée dans l'isolation, une fuite de vapeur n'est pas forcément détectable rapidement.

Par contre il n'est pas indispensable d'effectuer une épreuve d'étanchéité à chaque fois que l'utilisateur final change de dispositif de cuisson, les joints plats étant suffisamment fiables.

## **§2 TARAGE ET VERIFICATION DE LA SOUPAPE**

### A) TARAGE DE LA SOUPAPE

L'opération s'effectue très simplement. Lors du montage de la soupape, installer le ressort correspondant à la plage de pression souhaitée. Faire monter la pression de vapeur en surveillant le manomètre. Régler la soupape autant que besoin, puis serrer le contre écrou.

Le composant le plus faible de l'installation est le tuyau de vapeur, prévu pour une Pression Maximum de Service de 6 bar/164°. On peut tarer la soupape à 5,4 bar, ce qui laisse un niveau de température largement suffisant pour procéder aux opérations de cuisson alimentaire et de stérilisation médicale.

Avant d'effectuer un tarage de la soupape à la vapeur, on peut effectuer un premier tarage à l'air comprimé.

### B) VERIFICATION DE LA SOUPAPE

La vérification du bon fonctionnement de la soupape est à effectuer à intervalles réguliers. Dans le cas d'un capteur de 2 m<sup>2</sup>, une vérification hebdomadaire, effectuée par l'utilisateur final, serait souhaitable.

Une vérification de soupape suppose de dégarnir partiellement et provisoirement l'isolation du bouilleur, et de déposer provisoirement la soupape de régulation de la vapeur pour la remplacer par un bouchon. Faire ensuite monter la pression de vapeur comme précédemment en surveillant le manomètre, et vérifier que le lever de soupape se produit à la pression souhaitée.

Dans le cas d'un capteur de 16 m<sup>2</sup> ou plus, une vérification hebdomadaire s'impose.

### § 3 LE CONTROLE DES BRASURES

Après exécution, les brasures font l'objet d'un contrôle visuel et d'une épreuve d'étanchéité, mais il arrive parfois au brasseur novice que du flux décapant s'invite au milieu de la brasure. La brasure paraît alors totalement étanche à l'air, mais lorsqu'elle est soumise à la vapeur, le flux décapant en excès fond, et une petite fuite scélérate apparaît. La solution est de tester systématiquement toutes les soudures à la vapeur. Si l'on dispose d'une petite chaudière à vapeur (récupérée dans une centrale à vapeur de repassage à usage familial), le test peut être fait en atelier. Sinon, il faut installer les raccords sur un capteur en fonctionnement, et pour cela disposer, dans sa caisse à outils, de tout un petit bric à brac de Tés, de raccords et de robinets-pointeau. Il faut lors de ce test faire transiter de la vapeur (et non des condensats liquides) par les raccords à vérifier.

### §4 L'EPREUVE DE RESISTANCE

#### A) EPREUVE D'ETANCHEITE et EPREUVE DE RESISTANCE

L'épreuve d'étanchéité du circuit de vapeur est bien distincte d'une épreuve de résistance qui concernait le bouilleur

- le propos est différent
- le fluide utilisé est différent: pour l'épreuve de résistance on utilise, par sécurité, un liquide incompressible (de l'eau) alors que pour l'épreuve d'étanchéité on utilise un gaz (de l'air), l'étanchéité au gaz étant beaucoup plus difficile à réaliser que l'étanchéité à l'air.
- le niveau de pression est différent. La pression de l'épreuve de résistance est une fois et demie la Pression Maximum de Service, alors que dans le cas de l'épreuve d'étanchéité elle est de quelques bar.
- le matériel de mise en pression est, en principe, différent, quoique l'on puisse à la rigueur réaliser une épreuve de résistance avec une pompe à air (en chargeant d'eau le volume à contrôler, et en ne faisant qu'un appoint minimum d'air comprimé pour atteindre la pression de contrôle)
- le manomètre de l'installation convient pour l'épreuve d'étanchéité, alors que pour l'épreuve de résistance, qui se déroule à une pression plus élevée, il faut disposer d'un autre manomètre (généralement: celui de la pompe), et déposer le manomètre à 6 bar du circuit de vapeur..
- Les soupapes de sécurité et de régulation sont à déposer avant une épreuve de résistance, et à reposer ensuite.

#### B) FAUT-IL EFFECTUER UNE ÉPREUVE DE RÉSISTANCE DE L'ENSEMBLE DU CIRCUIT DE VAPEUR ?

D'une façon générale, la dangerosité d'une installation sous pression d'un gaz est fonction du volume et de la pression. La dangerosité de l'explosion d'un gros pneu de tracteur gonflé à moins de 2 bar est sans comparaison avec l'explosion d'un pneu de bicyclette gonflé à 6 ou 8 bar.

Concernant le bouilleur, confectionné dans un tube qui a déjà été éprouvé à 50 ou 60 bar avant sa

sortie d'usine, la question de l'épreuve de résistance a déjà été évoquée précédemment  
Concernant les tubes de cuivre, on sait que la résistance d'un tube est d'autant plus élevée que son diamètre est réduit. Plusieurs centaines de bar sont nécessaires pour exploser un tube de cuivre Ø 10 mm.

Mais dans le cas d'une installation à vapeur, il faut surtout tenir compte du facteur température. Pour ce qui est du capteur de 2 m<sup>2</sup>, son effet est négligeable sur les éléments métalliques, mais il est très important sur le matériau des tuyaux souples. La tenue en pression du flexible de vapeur est de 20 bar à 95° C, et 6 bar à 164° C (plus un coefficient de sécurité de 3)

L'indispensable flexible vapeur est ses sertissages sont donc le maillon faible de la chaîne, pour lesquels il convient d'effectuer une épreuve de résistance, à froid, à une pression d'épreuve égale à 1,5 fois la pression maximale de service, soit  $1,5 \times 6 = 9$  bar.

## Section VIII LA REGULATION DE LA VAPEUR

Après sa sortie du bouilleur, la vapeur est dirigée vers un dispositif d'utilisation, peu importe lequel pour le moment (ce sera abondamment décrit dans la seconde partie "Utilisation de la vapeur"). La vapeur y restitue les calories qui lui avaient été fournies dans le bouilleur, retourne à l'état liquide sous forme de condensats. Mais compte tenu de la relation étroite entre la pression de la vapeur et sa température, il faut maintenir une certaine pression à l'intérieur du circuit de vapeur.

La régulation de la vapeur s'effectue en aval du dispositif d'utilisation de la vapeur, au moment où les condensats sortent hors du circuit de vapeur pour s'échapper à l'atmosphère.

Dans l'industrie, cette régulation s'effectue à l'aide d'appareils dénommés purgeurs, et surnommés "boîtes à chagrin" (dixit le formulaire Sergot) tant ils sont source de dérangements. On trouvera sur internet toute la documentation sur le sujet (purgeurs Armstrong). Mais la plus petite dimension de ces appareils est encore beaucoup trop grande et inutilisable pour notre propos. Le capteur ne joue pas dans la cour des grands.

Le choix s'est porté sur un dispositif de régulation beaucoup plus simple et plus répandu, que l'on retrouve sur tous les autocuiseurs ménagers: la soupape de régulation. Il existe sur les autocuiseurs deux sortes de soupapes, les soupapes-poids et les soupapes à ressort, les soupapes poids servant au fonctionnement usuel, les soupapes à ressort étant généralement dédiées au fonctionnement de secours. Mais une soupape-poids ne fonctionne correctement que si elle est parfaitement verticale, ce qui ne serait pas toujours le cas si le support du récipient de cuisson est solidaire du capteur.

Le dispositif de régulation, installé en sortie du circuit de vapeur est donc une soupape à ressort, identique à la soupape de sécurité installée sur le bouilleur, qui prend alors le nom pompeux de soupape de régulation. Elle est doublée par un robinet pointeau manuel

### § 1 REGULATION DE LA TEMPERATURE

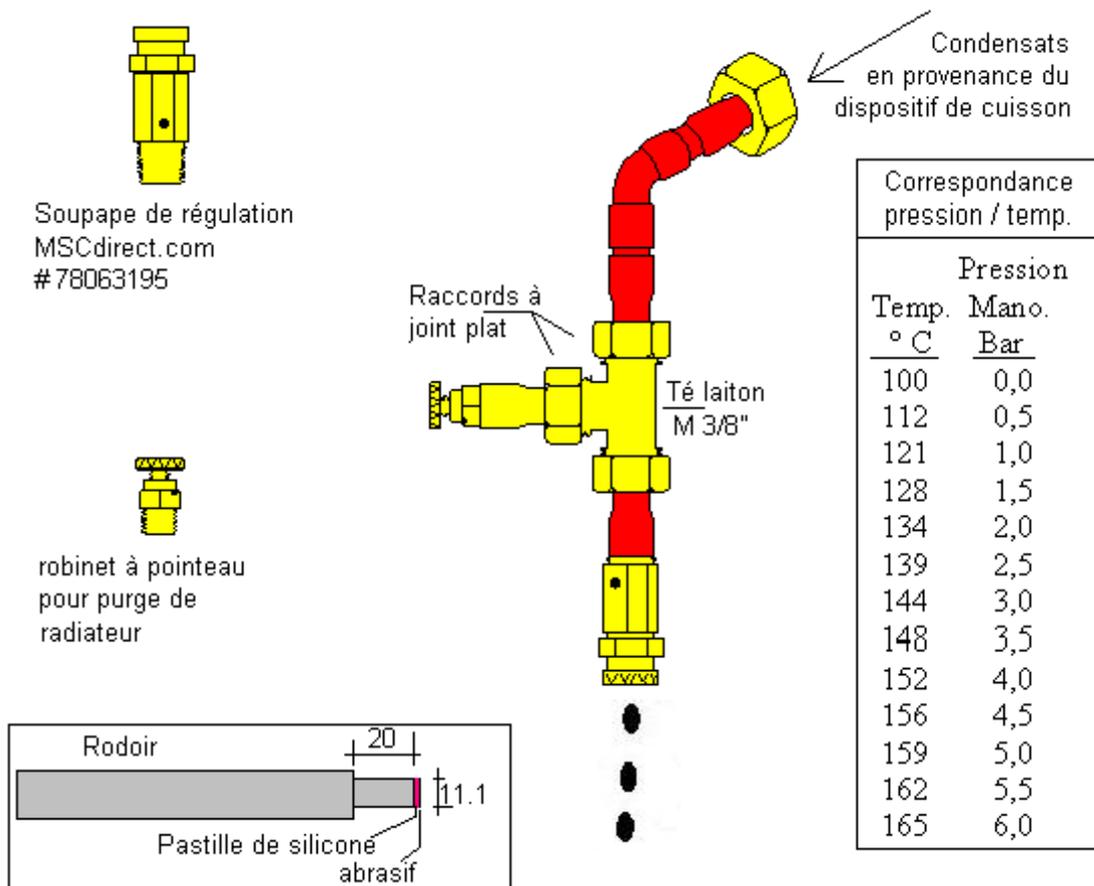
#### A) LE MATERIEL

**Soupape de régulation:** voir section III – Equipement du bouilleur

**Robinet manuel:** c'est un robinet-pointeau de purge de radiateur. Outre son prix et le fait qu'il soit parfaitement étanche, l'avantage du pointeau est d'éviter l'utilisation d'un joint souple, et de pouvoir effectuer un réglage au goutte à goutte.

Pour braser le robinet sur un raccord à joint plat il peut être nécessaire d'intercaler une fourrure en tube de cuivre Ø 10 mm. Après brasage, vérifier que l'orifice d'écoulement n'est pas obstrué. Si besoin, utiliser un foret Ø 2 ou 2,5 mm.

Les robinets de purge de radiateur dits "automatiques" ne conviennent pas.



## B) LE FONCTIONNEMENT

Le conducteur ajuste sa soupape en fonction de la température souhaitée. Le delta de température est de l'ordre de 20° C entre la température dans le circuit de vapeur d'une part, et la température à l'intérieur du récipient de cuisson ou de stérilisation d'autre part. Le conducteur règle donc sa température de fonctionnement du capteur à environ 120°C/1 bar dans le cas d'une cuisson à l'eau bouillante à 100°C, ou 144° C/3 bar dans le cas d'une stérilisation à la vapeur à 121° C.

Une fois la soupape réglée, *l'utilisateur n'a plus à y toucher*, y compris d'une cuisson à l'autre. Les condensats s'échappent goutte à goutte, au rythme d'environ une goutte par seconde.

L'absence de condensats signale un dysfonctionnement (usuellement: un à-sec de la chaudière...).

Le robinet pointeau permet aussi un réglage au goutte à goutte, mais en l'absence "d'automatisme" (le ressort de la soupape) il revient au conducteur de le surveiller fréquemment. L'utilisateur a le choix entre la régulation manuelle et la régulation automatique. Le robinet pointeau permet en outre de décompresser le circuit de vapeur si besoin, et de le purger de temps à autre.

## C) LA TEMPERATURE DE FONCTIONNEMENT

Un delta T de l'ordre de 20° entre le circuit de vapeur et l'intérieur du récipient étant suffisant, il est non seulement *inutile* mais encore *nuisible* d'essayer de fonctionner à un niveau de température plus élevé. En effet, pour le capteur comme pour toute autre machine thermique, les

pertes sont d'autant plus importantes que le niveau de température est élevé. Le delta T de 20° C étant suffisant -ce fut la divine surprise lors des premiers essais !-, il est inutile d'aller gaspiller une énergie thermique si chèrement gagnée.

A titre indicatif: la cantine d'un des plus grand lycées de l'Ouest de la France, assurant plusieurs milliers de repas chaque jour, est équipée de grand récipients de cuisson à double fond alimentés en vapeur par des chaudières fonctionnant à 300 millibar.

Les niveaux de température dont on dispose dans la vie quotidienne pour la cuisson alimentaire - plusieurs centaines de degrés dans le cas du bois, plus de 1200° dans le cas du gaz- sont une aberration du point de vue énergétique. Il suffit de mesurer la quantité d'énergie consommée (par exemple en pesant une petite bouteille de gaz de camping) par rapport à l'effet obtenu (montée à l'ébullition de quelques litres d'eau) pour s'en rendre compte.

## § 2 LA REGULATION DE LA PUISSANCE

Il n'y a pas de régulation de puissance, comme on a l'habitude de le concevoir par exemple avec un brûleur à gaz ou une plaque électrique.

- pendant la période de montée en température du récipient de cuisson ou de stérilisation, toute l'énergie disponible est facilement absorbée.  
- une fois arrivé à température, dans le cas d'une cuisson à l'eau, on peut souhaiter une ébullition moins violente. Ou bien, dans le cas d'une stérilisation, on essaie d'éviter un levé de la soupape de sécurité du stérilisateur. La solution alors n'est pas d'ouvrir le robinet -pointeau pour laisser échapper de la vapeur, ni de couvrir les miroirs ou de les enlever. La solution est d'alimenter le bouilleur en eau fraîche à l'aide de la pompe, afin d'anticiper les besoins pour la montée en température de la séance suivante. Au temps des locomotives à vapeur, les mécaniciens mettaient à profit les déclivités de la ligne pour alimenter leur chaudière à bon escient.  
En résumé: il n'y a pas de régulation de la puissance du capteur, il faut en permanence mettre à profit toute l'énergie solaire disponible. Les flux énergétiques en jeu sont trop peu élevés pour se permettre d'en perdre.

Si de la vapeur (et non des condensats) s'échappe du dispositif de régulation, cela signifie que le dispositif d'utilisation n'absorbe pas toute l'énergie fournie par le capteur. Cela peut signifier que l'échangeur est sous dimensionné (ou bien... que le récipient de cuisson est vide..)

## §3 L'ENTRETIEN DE LA SOUPAPE

La vapeur transitant par la soupape n'est pas exempte d'impuretés provenant de l'eau introduite dans le bouilleur.

**Le remplacement du clapet** Le clapet souple qui appuie sur le siège de soupape est une pastille de silicone diamètre 10 mm, épaisseur 3,2 mm. Le silicone en plaques est aisément disponible (cf les moules à gateaux souples, de couleur rouge, disponibles dans les rayons d'ustensiles de cuisine), et se découpe à l'emporte pièces de 10 mm. Pour ce qui est de l'épaisseur, la précision n'est pas impérative, si besoin on peut superposer deux épaisseurs, ou caler le silicone avec une rondelle découpée dans de la feuille de joint pour raccords.

### **Le rodage du siège du clapet**

Il faut confectionner un rodoir dans une petite pièce de bois (ou de plastique, ou d'aluminium) longueur 12 à 15 cm, tournée à son extrémité au diamètre 11,1 mm sur 20 mm. Sur cette extrémité coupée parfaitement d'équerre, coller une pastille de silicone puis une pastille de feuille abrasive grade 600 environ. On peut ainsi roder parfaitement le siège du clapet.

## **Section IX DISPOSITIF DE MESURE DES PERFORMANCES**

Il s'agit ici de mesurer les performances de la *production* de vapeur. La mesure des performances de l'*utilisation* de la vapeur sera effectuée ultérieurement. Pour un bon usage de l'énergie, et de l'énergie solaire en particulier, il est indispensable de bien distinguer l'une de l'autre. L'énergie solaire "ça marche toujours un peu", cela fait sa force mais aussi sa faiblesse. La mesure des performances est indispensable si l'on ne veut pas se contenter d'un à peu près.

La mesure des performances, comme l'épreuve d'étanchéité, doit être effectuée avant toute remise de l'installation. à son utilisateur. La confection du dispositif (très simple!) de mesure des performances fit partie intégrante de la confection du circuit de production de vapeur.

### A) BREF EXPOSE DE LA METHODE

Il existe plusieurs méthodes de mesure de production de vapeur d'une chaudière, qui seront évoquées dans le Memento, mais il en est une particulièrement simple et précise, tout à fait adaptée au petit capteur de 2 m<sup>2</sup>. Elle sera détaillée au chapitre VI, il s'agit de faire débiter de la vapeur par le capteur, de la condenser à l'aide d'un échangeur immergé dans l'eau froide, et de mesurer la quantité de condensats produits. A l'aide de la table de vapeur, on peut alors calculer la puissance de l'installation. Connaissant l'ensoleillement, on peut calculer son rendement. Pour un capteur de 2 m<sup>2</sup>, dans de bonnes conditions de fonctionnement, l'ordre de grandeur est de 0,250 kg de condensats en un quart d'heure.

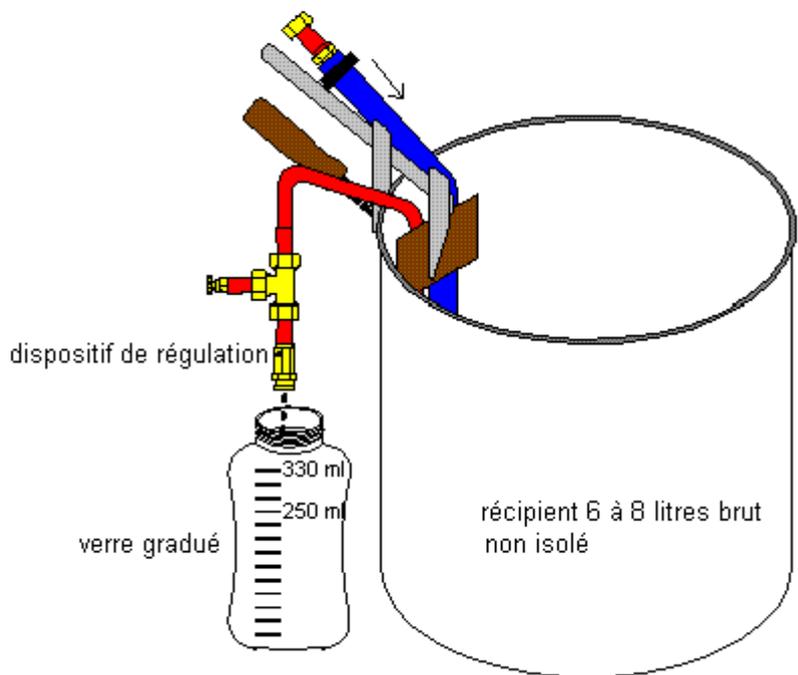
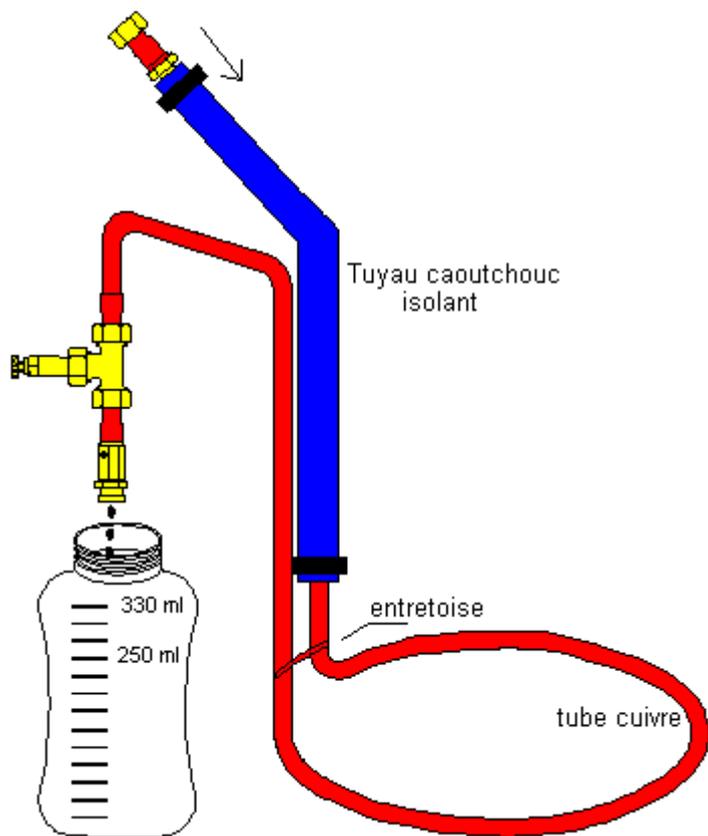
### B) LE DISPOSITIF

Il consiste en

- un récipient de 6 à 8 litres de volume total, contenant quelques litres d'eau froide
- un échangeur tubulaire en cuivre, à immerger dans le récipient, afin de condenser toute la vapeur débitée par le bouilleur
- un dispositif de régulation en sortie de l'échangeur, strictement identique à celui décrit à la sous section précédente
- un récipient mesureur, en l'occurrence: un verre mesureur de ménage, ou un biberon gradué, de contenance un quart ou un tiers de litre.

### C) LE TUBE ECHANGEUR IMMERGE

C'est un tube de cuivre Ø 8 mm, identique à celui utilisé pour le circuit de vapeur, formé en boucle pour être introduit dans un récipient de 6 à 8 litres (dimensions du récipient: 20 à 24 cm de diamètre, hauteur environ 20 cm). On peut commencer par faire un gabarit en fil de fer, le premier échangeur est rarement le bon..... Pour cintrer le tube, on peut utiliser une pince à cintrer à petit rayon du type Virax 2511-08. Pour donner plus de maintien à l'échangeur, on peut relier les deux branches en partie basse par une entretoise en gros fil de cuivre ou par une chute de tube de cuivre aplatie au marteau



Le coefficient d'échange thermique entre la vapeur et l'eau à travers un tube de cuivre est excellent, c'est même le meilleur qui soit, au point que l'on constate une ébullition violente autour des premiers centimètres du serpent in pénétrant dans le liquide. Il est donc nécessaire d'isoler la partie plongeante du serpent in, par exemple avec un tuyau en caoutchouc, afin de conduire la vapeur jusqu'au fond du récipient et de chauffer la partie inférieure de la masse d'eau, et d'éviter ainsi une stratification des niveaux de température à l'intérieur du récipient, et donc un très mauvais refroidissement de la vapeur.

Afin d'isoler la partie plongeante de l'échangeur, on peut la réaliser en tube de cuivre Ø 4,8 mm, communément utilisé pour les circuits hydrauliques de freinage de poids lourds, à approvisionner dans un garage, dans une casse automobiles, ou dans un magasin de fournitures automobiles. Il est alors possible de l'isoler avec du tuyau vapeur Ø 6 mm intérieur, et de confectionner la suite du serpent in en tube Ø 8 mm.

La fixation de l'échangeur sur le récipient, par exemple avec un serre joint, doit être réalisée avec soin, sous peine de donner lieu à des situations ubuesques et de décourager toute velléité d'effectuer correctement des mesures de performances. Un récipient lourd, par exemple un autocuiseur de 8 litres, donc assez stable, serait aussi un bon choix.

#### D) REMARQUES

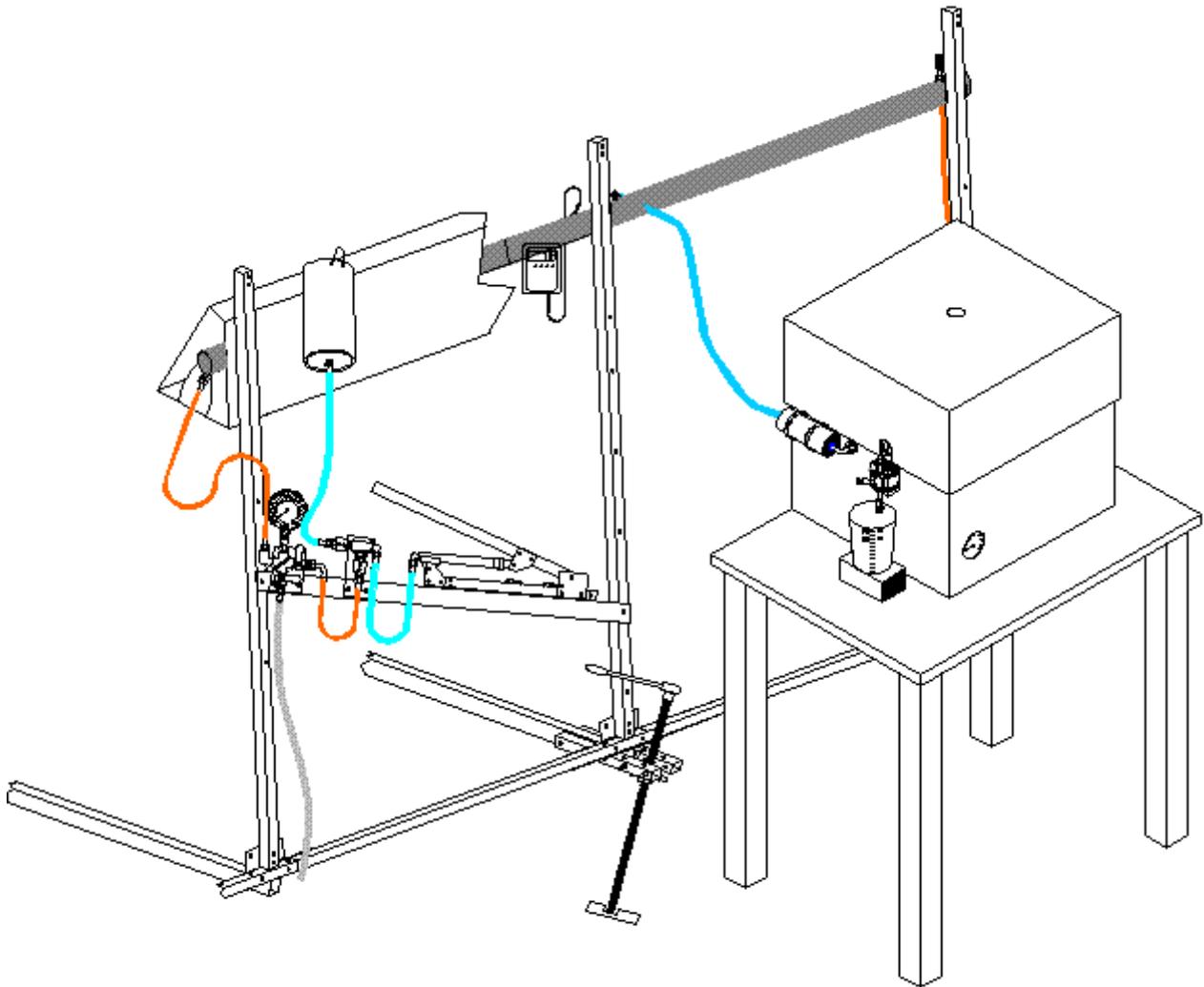
**Remarque 1-** il est indispensable que toute la vapeur soit condensée; si de la vapeur s'échappe en sortie du dispositif de régulation, les résultats sont faussés et inférieurs à la réalité. Si l'eau de refroidissement devient trop chaude, on peut en prélever une partie avec une petite casserole, et rajouter de l'eau froide.

**Remarque 2-** ce principe de mesure des performances par la pesée des condensats est utilisable par l'utilisateur final de l'installation solaire, qui peut à tout moment recueillir et mesurer les condensats issus de son dispositif de cuisson ou de stérilisation, et vérifier ainsi le bon fonctionnement de l'installation.. En cas de contre-performance cela permet une première approche du problème: s'agit-il de la production, ou de l'utilisation de la vapeur ?

**Remarque 3-** le dispositif de serpent in immergé décrit ci dessus est aussi le dispositif le plus simple pour l'utilisation de la vapeur lorsqu'il s'agit d'effectuer des cuissons à l'eau (soupes, viandes bouillies, pasteurisation, bière de mil...), ou dans le cadre d'un processus de production de bio-diesel, etc... Mais dans ce cas, le récipient doit être installé dans un caisson isolant, car le propos est alors de chauffer un liquide, et non de refroidir de la vapeur.

**Remarque 4 -** un échangeur immergé en cuivre utilisé pour une cuisson alimentaire doit être préalablement étamé, en raison de la toxicité de la réaction entre le sel de cuisine et le cuivre . Sur l'étamage, consulter le Memento / brasage.

## SECTION X INSTALLATION DU CIRCUIT DE PRODUCTION DE VAPEUR SUR LE CAPTEUR



### **Ci dessus: une première version.**

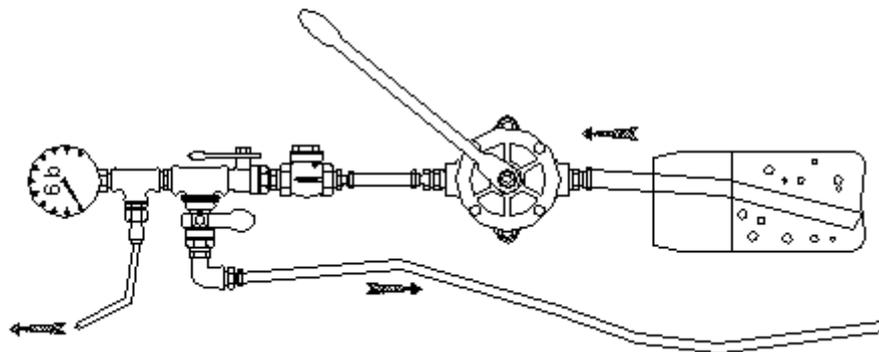
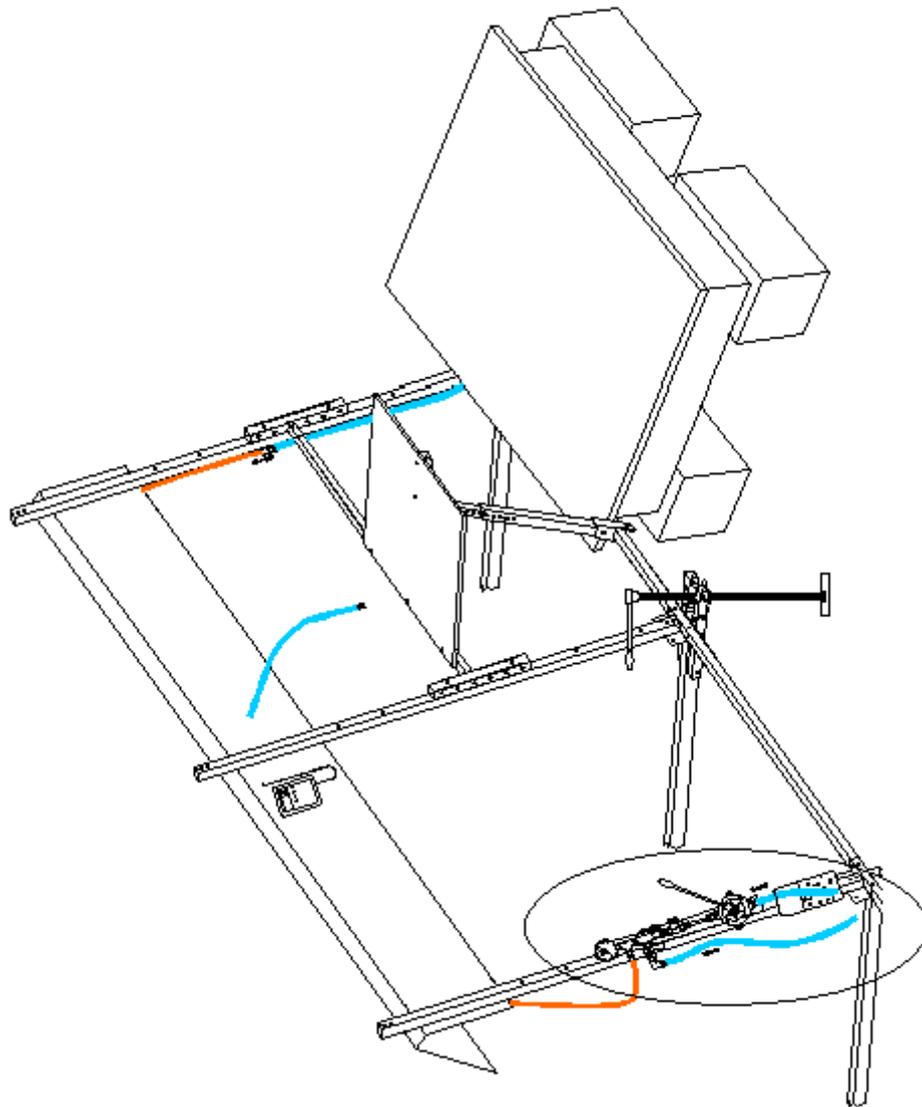
Des percements espacés de 20 cm sont disposés sur tous les montants Nord de la charpente, à toutes fins utiles. On y fixe la traverse-support du dispositif d'alimentation.

Le caisson isolant contenant le récipient de cuisson est posé sur une table

### **Ci dessous: une autre version**

L'alimentation s'effectue à l'aide d'une pompe semi-rotative type Japy

Le récipient de cuisson sera installé sur une tablette réglable fixée à la charpente, une petite estrade permet à l'utilisateur de travailler à bonne hauteur.



## Section XI RECAPITULATION DES APPROVISIONNEMENTS

Liste indicative des approvisionnements nécessaires pour la construction du circuit de production de vapeur, non compris les approvisionnements pour les circuits d'utilisation de la vapeur

Dans le cadre d'une construction à l'unité, et hors d'un milieu professionnel, ce qui manque le plus c'est le "fonds d'atelier", tout le petit bric à brac accumulé au fil des ans, sans lequel on perd un temps abominable à courir derrière une cale de bois, un fil de fer très fin, ou une chute de tube. Il ne faut pas baisser les bras pour autant, cela fait partie du jeu.

### § 1 RACCORDS DE PLOMBERIE

La dénomination d'un filetage vaut également pour la dénomination du tube correspondant: un filetage 3/8" correspond à un tube 3/8"

Diamètre extérieur du tube en mm	Dénomination en pouces du tube et de son filetage	dénomination "chauffage" (obsolète)	diamètre indicatif du filet*	
			extérieur male	intérieur femelle
10,2	G 1/8"	5 x 10	9,75	8,6
13,5	G 1/4"	8 x 13	13,15	11,5
17,2	G 3/8"	12 x 17	16,66	15

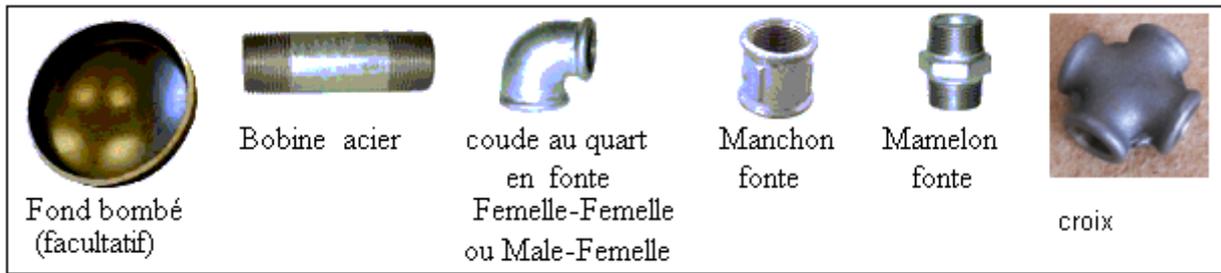
\*Les diamètres de filet figurant sur le tableau ci dessus ne sont que des indications pour repérer rapidement un filetage à l'aide d'un pied à coulisse

Les filetages Gaz mâles sont coniques dans le cas de raccords en acier ou en fonte malléable, et ils sont cylindriques dans le cas de raccords en laiton.

Les filetages Gaz femelles sont toujours cylindriques,

#### A) RACCORDS EN ACIER, EN FONTE MALLEABLE, OU EN INOX

- **Fonds bombés** pour tube 40 x 49, si possible galvanisés, pour le bouilleur, 2 unités (non indispensables)
- **Bobines acier doubles 1/4"**, longueur 60 à 80 mm, galva ou non, à couper pour les bossages de chaudière, 3 unités (à défaut, approvisionner des bobines simples)
- **Bobine acier double 3/8"**, longueur 60 à 80 mm, 1 ou 2 unités
- **Coude au quart en fonte malléable Male-Femelle 1/4"**, galva si possible, pour prise de vapeur, 1 ou 2 unités
- **Coude au quart en fonte malléable Male Femelle 3/8"**, galva si possible, pour les robinets, 1 ou 2 unités
- **Croix femelle en fonte 3/8"** pour robinets, 1 unité (à défaut: approvisionner deux Tés et un manchon supplémentaires)



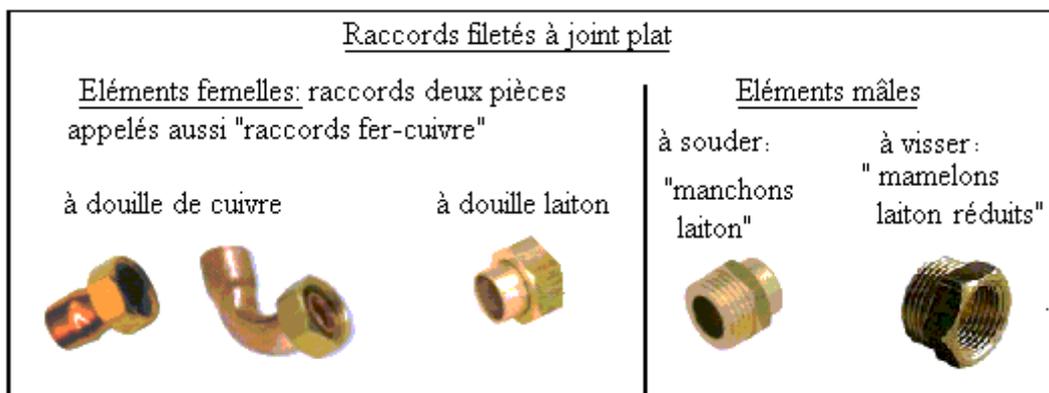
- **Té en fonte femelle 3/8"**, 1 ou 2 unités
- **Manchon en fonte galva 1/4"** 1 ou 2 unités
- **Manchon en fonte galva 3/8"** 1 ou 2 unités
- **Mamelons double en fonte galva 1/4"** 1 ou 2 unités
  - **Mamelons doubles en fonte galva 3/8"** quelques unités, selon les possibilités d'approvisionnement des robinets en male-femelle ou enfemelle-femelle

**B) RACCORDS A JOINT PLAT 3/8"**

**1- raccords à joint plat femelles 3/8"**

dits aussi "raccords fer cuivre", raccords deux pièces", ou raccords à écrou prisonnier", "raccord à écrou tournant"etc... Ne pas confondre avec les raccords à joint sphéro-conique ou autres

- **avec douille droite à souder Ø 8 mm**, en cuivre ou en laiton, sur lesquels seront brasés les tubes de cuivre, une ou deux douzaine. Leur approvisionnement est difficile(castorama.fr 510124 ?). A défaut, utiliser des raccords Ø 10, et rajouter une fourrure Ø 10 sur le tube Ø 8
- **avec douille droite à souder Ø 10 mm**, en cuivre ou en laiton, sur lesquelles seront brasées les douilles annelées pour tuyaux souples, et les tubes de cuivre 8 mm. Approvisionner largement, une à deux douzaines.
- **avec douille droite à souder Ø 12 mm** (soupape, manomètre...), une douzaine
- **avec douille Ø 14**, quelques unités
- **avec douille coudée au quart Ø 12**, quelques unités (n'existe pas en Ø 10)



## 2- raccords à joint plat *males 3/8"*

**a souder**, dits aussi "manchons laiton"

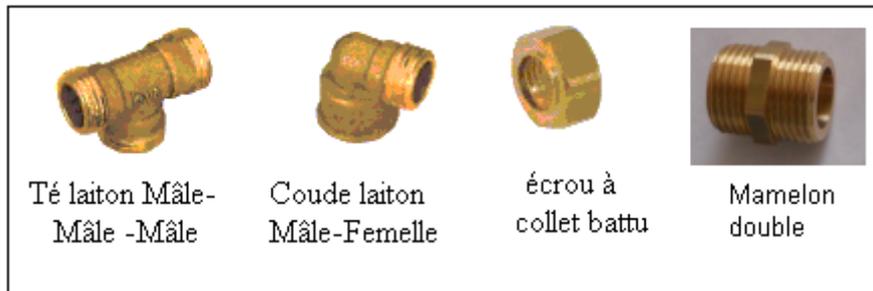
- Ø 10 une douzaine
- Ø 12 une demi douzaine

**à visser**, dits aussi "mamelons laiton réduits Male 3/8"- Femelle 1/4": une douzaine.

Dans tous les cas, il faut vérifier que la face d'appui du joint plat est correcte, et particulièrement dans le cas des mamelons réduits.

### C) AUTRE RACCORDS EN LAITON 3/8"

- **-Tés laiton Male 3/8"** quelques unités
- **-Tés laiton Femelle 3/8"** quelques unités
- **-Coudes laiton Male-Femelle 3/8"** quelques unités
- **-Ecrus à collet battu 3/8"**, pour protection des filetages males en attente, une douzaine.
- **-Mamelons doubles en laiton 3/8"**, une douzaine (ce raccord est bien utile quand on se retrouve avec deux raccords femelle à joint plat qu'il faut assembler)



## §2 PRODUITS SEMI-FINIS

### A) TUBE ACIER

**Tube acier galvanise 1" ¼ 40X49** pour la confection du bouilleur, 1 longueur de 6 mètres. La chute servira pour le système de pointage du capteur.

### B) TUBE CUIVRE

Le tube de cuivre est vendu soit en couronne, soit en barre droite. Le cuivre en couronne est recuit, donc facile à cintrer. Le cuivre en barre est ecroui, rigide, et nécessite un recuit (chauffer au rouge la partie à cintrer, puis la refroidir rapidement par exemple à l'aide d'un chiffon mouillé).

**Tube cuivre Ø 8 mm** extérieur recuit, en couronne: c'est le tube de cuivre "de base" pour le circuit de vapeur. Dans ce petit diamètre il est difficile à approvisionner... sauf en couronne de 50 mètres. (voir: Leroymerlin.fr 68435080 ?)

A défaut, approvisionner de la barre droite, ou du tube Ø 10 mm.

**Tube de cuivre Ø 10 mm** une petite longueur, pour faire des fourrures

**Tube de cuivre Ø 12 mm** une petite longueur – pour s'entraîner à le braser sur du tube Ø 10 mm.

**Tube de cuivre Ø 22 mm**, pour la pompe, quelques décimètres, chez un plombier complaisant ? Le tube doit n'avoir subi aucune déformation.

**Tube de cuivre Ø 4,8 mm** (circuit de freinage automobile) quelques décimètres

### C) TUYAU SOUPLE POUR VAPEUR

**Tuyau Ø 6 mm** intérieur, 6 bar/ 164° C. Par exemple: Vapaliment chez Anfray.fr

**Protection isolation** pour tuyau de vapeur Thermogaine 16 x25 chez Anfray.fr

### D) JOINT EN FEUILLE

**Joint en feuille** pour raccords à joint plat, par exemple Latty Gold ep 0,5 mm chez Anfray.fr ou chez Solutions-elastomeres.com

**Viton ou Silicone** ep 3 mm (ou deux fois 1,5 mm) pour le clapet de soupape, rayon ménager/moules à pâtisserie

### E ) LAITON

**Barre laiton Ø 10 mm** (ou 8 mm, selon disponibilité des raccords ?) en longueurs de 3 m chez cgmetaux (possibilité de coupe et d'expédition)

**Barre laiton Ø 20 mm** en barres de 3 m chez cgmetaux.com, ou en petites quantités chez tartaix.com. Les barres doivent n'avoir subi aucun choc ou déformation.

**Ebauche 20-30 mm** pour le support de joint torique de la pompe, chez Tartaix.com

F) JOINT TORIQUE pour la pompe, par exemple chez solutions-elastomeres.com

## §3 QUINCAILLERIE

**Colliers à bande**, notamment pour Ø 15 mm. De préférence: des colliers larges, à bande pleine emboutie (et non à bande perforée), quelques dizaines

**Colliers à oreilles "13-15 mm"** quelques dizaines

**Jupes de sertissage** (le cas échéant). Pour tube Vapaliment: McMaster.com #5349K47

**Ruban Teflon**

**Resine GEB** ou Loctite frein-filet (référence 272 ?) pour l'étanchéité des filetages parallèles. (vérifier la tenue à la température)

**Abrasifs en feuilles toilées** du grain 80 au grain 600 ou 800

**Acide chlorhydrique** pour décaper le zinc (disponible en grandes surfaces)

**Suif** pour la lubrification du joint torique

**Eau savonneuse** pour l'épreuve d'étanchéité

## §4 COMPOSANTS DU CIRCUIT DE PRODUCTION DE VAPEUR

**Clapets anti-retour en laiton 3/8"** 2 Unités

**Robinets à sphère "quart de tour" 3/8"**, de préférence Male-Femelle, avec joints EPDM pour une bonne tenue à la température, par exemple Legris.fr 4902 10 17 (n'existe qu'une femelle-femelle); 3 unités

**Robinets à pointeau** pour purge de radiateur, (modèle simple uniquement, sans purge automatique), une demi-douzaine

**Thermomètre digital** 260° C maxi, par exemple Manutan.fr 1888M421, 2 ou 3 unités

**Soupapes** MSCdirect.com #78063195 au moins une demi-douzaine

**Manomètre 0-6 bar**, Ø 80 mm si possible, de qualité industrielle (un manomètre spécifique pour

vapeur n'est pas indispensable) Une unité

**Verre gradué** contenance 1/3 de litre (par exemple: un biberon)

**Pompe pour pneumatiques** de bicyclette "de pied", 11 bar

**Valve de pneumatique** automobile (de récupération ?) pour matériel d'essais sous pression 2 unités

**Appareil de mesure de l'ensoleillement** Daystar (voir chapitre VI)

## § 5 PETIT OUTILLAGE

**Emporte pièces** Ø 15 et Ø 6 pour découper les joints plats, et Ø 10 pour les garnitures de clapets des soupapes

**Cintreuse manuelle à petit rayon** pour tube Ø 8 mm, par exemple Virax 2511-08

**Tarands et Filières** au pas du gaz -BSP. Il est utile de disposer de tarands et filières pour réparer ou nettoyer des filetages de raccords. En l'occurrence, et s'agissant surtout de laiton, l'outillage de bricolage est suffisant, disponible en coffrets (par exemple: leroymerlin.fr coffret Tivoly 60186910 ?, ou :Brico-depot))

**Un jeu de petites limes** "de précision". Pour du laiton, la qualité "bricolage" sera suffisante.

**Sertisseuse** pour tuyau de vapeur ?

## § 6 MATERIEL DE BRASAGE

**Chalumeau aerogaz** 300grammes/heure minimum, type Chalutorch Profil de Camping Gaz (Castorama 210016 ) avec brûleur à flamme enveloppante type Camping Gaz FC 350 (leroymerlin.fr 63882994)

**Bouteille de gaz propane** Camping gaz avec robinet relais Camping Gaz (leroymerlin 60345586.) Il est inutile de s'encombrer d'une bouteille de butane de 13 kg. Notez que le gaz propane nécessite un détendeur, le gaz butane ne nécessite pas de détendeur. Voir le Memento sur le sujet.

**Baguettes de brasage fort au cuivre-phosphore** pour assemblage du cuivre et du laiton, ( par exemple: Castolin 5246RB, chez Brico depot 210534) et décapant correspondant Castolin 808

**Baguettes de brasage fort au cuivre/phosphore/argent 6%** pour assemblage du cuivre et du laiton, (par exemple Castolin baguettes 808 chez Brico depot 210532) et décapant correspondant Castolin 808

**Baguettes de brasage fort à l'argent 40 %** pour cuivreux, acier, inox, ( par exemple Castolin 3217 dénommée auparavant 1665 chez Brico depot ref 210515) et décapant correspondant Castolin 3217

(Pour faire des essais de soudo-brasure sur de très petites pièces avec un chalumeau aéro gaz au lieu d'un chalumeau oxy gaz: baguettes de soudobrasage Castolin 146 XFC avec décapant 146. Voir le Memento sur le sujet)

## Section XII UTILISATION DE LA VAPEUR UN BREF APERÇU

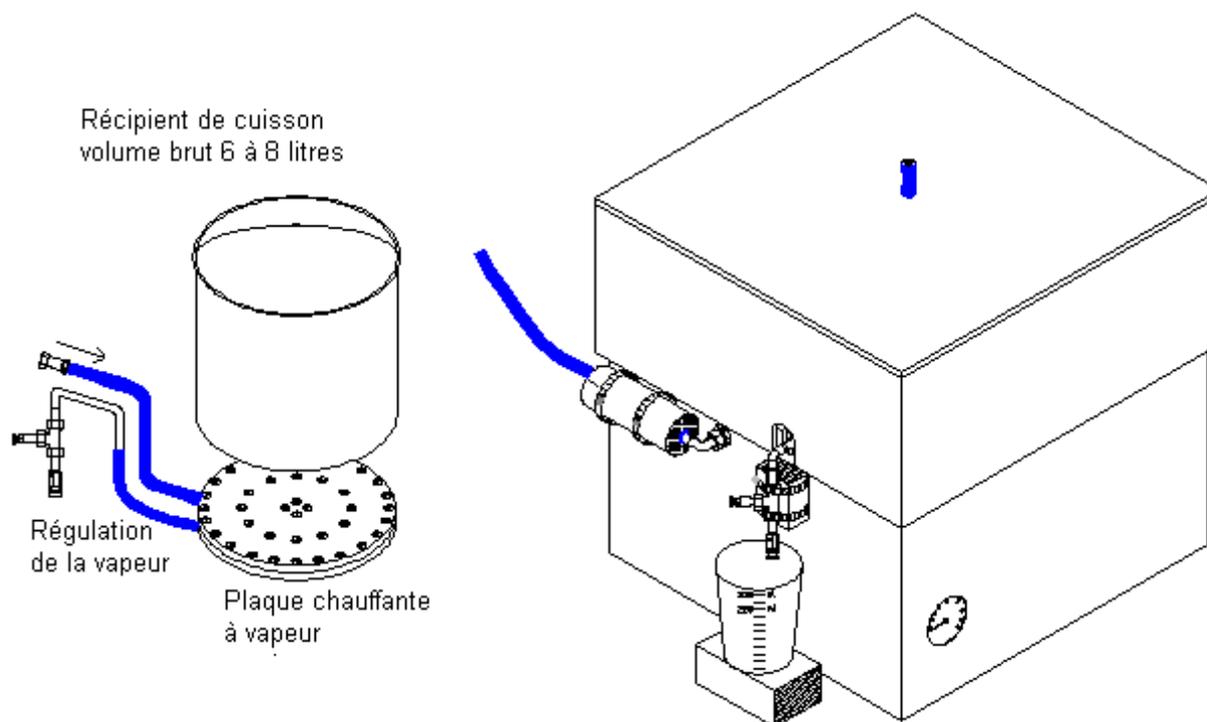
C'est à l'extrémité du tuyau de vapeur en sortie de chaudière que s'arrête le circuit de production de vapeur, et que commence le circuit d'utilisation de la vapeur, qui fait l'objet de la seconde partie de la documentation . On va , ne serait-ce que par curiosité, y faire une petite incursion.

Il existe différentes manières d'utiliser l'énergie thermique de la vapeur, par exemple à l'aide d'un serpentin immergé comme indiqué à la section IX, ou dans des récipients à double enveloppe, etc...

A la suite du développement du capteur, a été conçu et mis au point un procédé original: il s'agit de faire transiter la vapeur à l'intérieur d'une plaque en aluminium, sur laquelle est posé le récipient de cuisson, le tout étant enfermé dans un caisson isolant. On peut faire l'analogie avec une plaque de cuisson électrique. Afin d'améliorer le transfert thermique on répand une cuillerée d'huile alimentaire entre la plaque et le fond du récipient;

### A) CUISSON ORDINAIRE

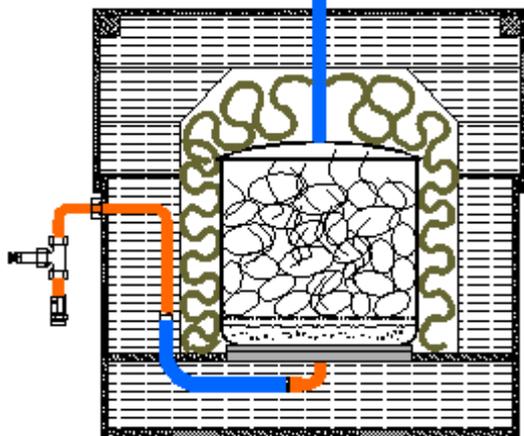
Le récipient de cuisson est un récipient ordinaire avec couvercle, léger si possible pour limiter l'inertie thermique, avec un fond plat adapté à la cuisson sur plaque électrique. Diamètre 20 ou 22 cm, hauteur 19 à 21 cm environ, soit 7 à 8 litres de volume brut.



Dans le cas d'un capteur de 2m<sup>2</sup>, pour une cuisson typique de Quatre kilogrammes de légumes cuits dans la vapeur à pression atmosphérique, avec un demi-litre d'eau en fond de récipient, le temps de montée en température de l'ensemble jusqu'à 100° C est de trois quarts d'heure. Après la montée en

température, le temps de cuisson est bien sûr identique quelle que soit la source d'énergie. Sur la cuisson au "cuit vapeur" à pression atmosphérique, consulter par exemple seb.fr.

Si l'on souhaite immerger totalement les légumes dans l'eau (ce qui est une habitude solidement ancrée, tout en étant un non sens sur le plan thermique, culinaire et diététique), le temps de montée en température est plus élevé, car l'eau est l'élément qui nécessite la plus grande quantité d'énergie thermique par unité de poids.



## B) LA STERILISATION MEDIALE

Le capteur n'étant pas avare en niveau de température -c'est bien là son point fort- on peut remplacer le récipient de cuisson à l'eau par un auto-cuiseur dit "cocotte minute", dont la soupape régule la pression /température (intérieures à l'autocuiseur) à 0,5bar/112° C.

On peut aussi installer, à la place de l'autocuiseur, un stérilisateur médical qui fonctionne à 1 bar/121° C

Ci contre: stérilisateur All American 1915 X  
(Wafco.com)

Compte rendu du fonctionnement de la stérilisation:  
<http://www.ajtmh.org/content/87/4/602.abstract>

