FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

1. AVERTISSEMENT

Dans ce document nous ne visons pas l'exhaustivité, nous restons focalisés sur les seules solutions techniques qui ont donné ou nous donnent satisfaction.

Même lorsque l'on est un modéliste vapeur confirmé, la conception et l'optimisation du brûleur de la chaudière amène son lot d'incertitudes et de tâtonnements. Les contraintes dimensionnelles et thermiques imposent à peu près pour chaque projet de se creuser la tête afin de trouver un bon compromis.

Pour faire simple on posera que dans notre pratique nous employons deux grands types de combustibles :

- alcool à brûler
- butane ou mélange butane – propane

Chacun d'eux impose une technologie particulière de réservoir et de brûleur. Les brûleurs gaz font désormais partie de la pratique courante, la chauffe à alcool ayant considérablement régressé ces dix dernières années. Dans cette fiche, nous traiterons des brûleurs gaz.

(Les bruleurs alcool font l'objet d'une autre fiche technique FTe11)

Les auteurs de cette fiche ne seront pas tenus responsables de quelque dommage que ce soit, direct ou indirect, dû à une mauvaise interprétation des données ou informations que nous fournissons.

2. SOMMAIRE

1.	Avertissement	1
2.	Sommaire	1
3.	Avant tout déterminer les besoins thermiques	2
4.	Chauffage au gaz	3
5.	Chaîne de chauffage gaz	5
6.	Réservoir de gaz	6
7.	Vanne coupe circuit RC	11
8.	Remplissage des réservoirs de gaz	12
9.	Anatomie d'un brûleur	18
10.	Brûleur torche	21
11.	Brûleur céramique	30
12.	Brûleur Center flow	37
13.	Fabrication d'un injecteur	40
14.	Régulateur de gaz	44
15.	Vanne double de régulation gaz	51
16.	Clapet anti retour	54
17.	Détendeur de gaz	55

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

3. AVANT TOUT DÉTERMINER LES BESOINS THERMIQUES

Avant toutes choses il nous paraît indispensable d'acquérir quelques notions élémentaires sur les combustibles et la combustion.

Tout d'abord évitons la confusion courante entre Puissance thermique et Energie thermique. Une Puissance c'est une énergie divisée par une durée. L'unité d'énergie est le Joule (**J**). L'unité de puissance est le Watt (**W**) qui est un débit de 1 Joule par seconde.

Nous aurons ensuite à passer d'une puissance utile de chauffage à une consommation de combustible, puis à partir de là on dimensionne le brûleur.

Avant de rentrer dans le vif du sujet, gardons en tête qu'un combustible liquide ne brûle pas. Ce sont ses vapeurs qui s'enflamment à condition d'être correctement mélangées à un comburant, dans notre cas de l'air.

3.1. Définitions à connaître

Le point d'éclair ou point d'inflammabilité (*flash point*) est défini comme la température la plus basse à laquelle un corps combustible émet suffisamment de vapeurs pour former, avec l'air ambiant, un mélange gazeux qui s'enflamme sous l'effet d'une source d'énergie calorifique telle qu'une flamme pilote, mais pas suffisamment pour que la combustion s'entretienne d'elle-même. Pour une combustion maintenue sans appoint extérieur, il faut atteindre le point d'inflammation. Si l'inflammation ne nécessite pas de flamme pilote, on parle alors d'auto-inflammation.

Le point d'auto-inflammation *(auto-ignition)* est la température à partir de laquelle une substance s'enflamme spontanément en l'absence de flamme pilote. L'expression « point d'allumage spontané » est parfois utilisée.

- Donc ne pas confondre le point d'inflammation, qui est la température pour laquelle la combustion une fois amorcée peut continuer, avec le point d'éclair qui est la température pour laquelle un liquide produit suffisamment de vapeurs pour qu'elles s'enflamment momentanément en présence d'une source d'énergie calorifique conventionnelle.
- on retiendra aussi que le mélange combustible+comburant doit se présenter sous forme gazeuse homogène.

Le pouvoir calorifique inférieur (**PCI**) est l'énergie thermique libérée par la réaction complète de combustion d'un kilogramme de combustible sous forme de chaleur sensible, sans récupération de la chaleur de condensation des fumées (chaleur latente de la vapeur d'eau).

Les limites d'explosivité d'un gaz ou d'une vapeur combustibles sont les concentrations limites du gaz (dans l'air) qui permettent que celui-ci s'enflamme et explose.

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

L'intervalle d'explosivité est caractérisé par la limite inférieure d'explosivité (**LIE**) et la limite supérieure d'explosivité (**LSE**).

A des concentrations inférieures à la LIE le mélange est trop pauvre en combustible pour amorcer une réaction. Au-dessus de la LSE c'est le comburant (l'air dans notre cas) qui manque.

Substance	**Point éclair °C**	**Auto-inflammation (°C)**	**Limite d'explosivité dans l'air**	**Pouvoir calorifique inférieur (PCI)MJ/kg**
Gazole	55 ou moins	**257**	**0,6%-6,5%**	**44,8**
Butane	- 60	**425**	**1,8%-8,4%**	**45,6**
Propane	-104	**470**	**2,4 %-9,3 %**	**46**
Méthanol	12	**455**	**6,7-36,5%**	**19,94**
Ethanol (alcool à brûler)	13°C pur 17°C 95 %vol. 21°C 70 %vol.	**360 à 420 selon les auteurs**	**3,3-19 %**	**29,7**

Les concentrations sont données en pourcentage du volume dans l'air.

Diverses sources dont Wikipedia

4. CHAUFFAGE AU GAZ

Dans notre pratique on utilise presque exclusivement du butane. On pourra parfois faire le choix de mélange butane-propane qui est un mélange dans lequel le propane sert à entraîner le butane aux basses températures. Ce n'est pas la panacée, car à basse température, au début avec la cartouche neuve on brûle surtout du propane et donc peu à peu le mélange s'enrichit en butane qui ne se vaporise pas à basse température. Ces cartouches sont régies par la norme EN417 et utilisent un filetage de raccord spécial.

Contrairement à une croyance largement partagée, le butane et le propane ont quasiment la même puissance calorifique, des limites d'explosivités comparables et une masse volumique du même ordre de grandeur.

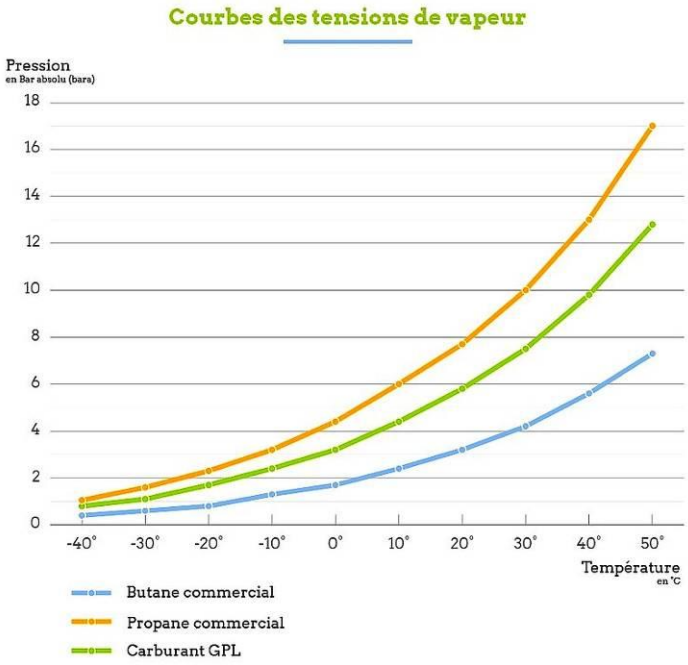
Ce qui les différencie intrinsèquement c'est leur tension de vapeur[(1)]. A 0°C le butane a une tension de vapeur de l'ordre de 1 bar A tandis que le propane est à 4,5 bar absolue. Comme la pression atmosphérique au sol est de 1 bar absolue, aucun

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

débit de gaz ne sortira de la bouteille de butane, tandis que celle de propane débitera à une pression de 4,5-1 = 3,5 bar.

A ce titre il faudra toujours fermer le robinet d'un réservoir de butane même si celui-ci ne débite pas car, à l'occasion d'une remontée de température du gaz, celui-ci pourra s'échapper.

Le graphique ci-contre représente la tension de vapeur en fonction de la température. Nos réservoirs de butane ou de propane sont rapidement soumis à de fortes pressions, même à des températures modérées. Des températures de 40 à 50°C sont vite atteintes dans l'espace restreint d'un modèle en fonctionnement.



4.1. Remarques

- On se souviendra que le butane et le propane sont plus lourds que l'air, ils s'accumulent dans les parties basses. C'est cette raison qui a fait que les adeptes du modélisme naval ont pendant longtemps été très méfiants à l'égard de la chauffe gaz.
- Butane et propane ont besoin de chaleur pour se vaporiser, environ 360 kJ/kg. Cette chaleur est prise sur la masse liquide. Ainsi on peut avoir de la pression au démarrage puis au fur et à mesure la température baisse dans le réservoir et par voie de conséquence la tension de vapeur diminue et le brûleur se met à cafouiller voire à s'éteindre. Avant de tout démonter et de suspecter le brûleur penser à ce point.
- La viscosité dynamique du butane (7,1524*10-5 Po) est très proche de celle du propane (7,876*10-5 Po), ce qui permet de conjecturer qu'un injecteur donné, alimenté avec la même pression en butane ou en propane se comportera de manière identique. Les éléments de la littérature dont nous disposons indiquent que, toutes choses égales par ailleurs, à injecteur identique et à pression égale le débit de propane sera de 10 à 15 % supérieur à celui du butane.

(1) La tension de vapeur est donnée en pression absolue. P_absolue= P_manomètre + P_atmosphérique

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

5. CHAÎNE DE CHAUFFAGE GAZ

5.1. Cas des bateaux en phase gazeuse

Dans le cas d'un soutirage en phase gazeuse et évidemment en fonction de la place dont on dispose, la chaine de chauffage gaz, se compose :

- D'un réservoir de gaz *(Voir chapitre 6)* qui se compose :
  - D'une valve de remplissage *(Voir chapitre 8)*
  - D'une vanne d'alimentation *(Voir fiche technique FTe04)*
- D'un robinet coupe-circuit *(Voir chapitre 7)*
- D'un régulateur de gaz *(Voir chapitre 14)*
- D'une vanne double de régulation brûleur *(Voir chapitre 15)*
- Du brûleur *(Voir chapitre 9 à 13)*

5.2. Cas des bateaux en phase liquide

Pour un soutirage en phase liquide, la chaine de chauffage gaz, se compose :

- D'un réservoir de gaz *(Voir chapitre 6)* qui se compose :
  - D'une valve de remplissage *(Voir chapitre 8)*
  - D'une vanne d'alimentation *(Voir fiche technique FTe04)*
- D'un clapet anti retour *(Voir chapitre 16)*
- D'un robinet coupe-circuit *(Voir chapitre 7)*
- D'un détendeur *(Voir chapitre 17)*
- Du brûleur *(Voir chapitre 9 à 13)*

5.3. Cas des locomotives

La température ambiante se trouve largement suffisante pour maintenir le réservoir de gaz sous pression. Le soutirage se fait essentiellement donc en phase gazeuse et de fait, la chaine de chauffage gaz, se compose :

- D'un réservoir de gaz *(Voir chapitre 6)* qui se compose :
  - D'une valve de remplissage *(Voir chapitre 8)*
  - D'une vanne d'alimentation *(Voir fiche technique FTe04)*
- D'un régulateur de gaz *(Voir chapitre 14)*
- Du brûleur *(Voir chapitre 9 à 13)*

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

6. RÉSERVOIR DE GAZ

6.1. Avertissement

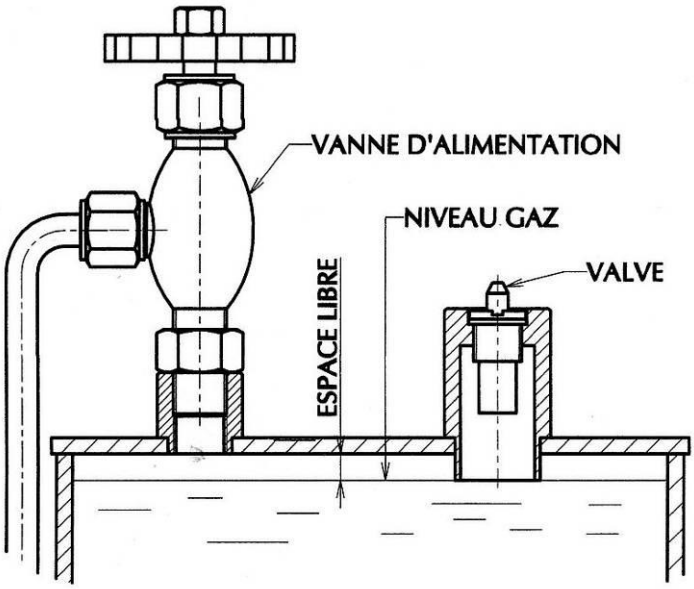
Dans ce document nous décrivons la manière dont nous procédons pour réaliser nos projets de brûleurs. Rien de plus. Le lecteur doit bien entendu avoir à l'esprit les risques liés aux réservoirs sous pression, particulièrement ceux contenant du gaz inflammable. Pour rappel un réservoir de propane à 15°C est à une pression de 7 kg/cm² et 12 kg/cm² à 50°C. Pour du butane ce sera respectivement 1,7kg/cm² et 5kg/cm².

A moins de posséder de très bonnes compétences il sera préférable de vous tourner vers un produit industriel certifié.

6.2. Réservoir de gaz

Il se compose d'un réservoir en cuivre ou en laiton brasé à l'argent et testé hydrauliquement. Il est équipé d'une vanne d'arrêt et d'une valve de remplissage.

Le réservoir ***ne doit pas être complètement rempli de gaz liquéfié*** sous peine d'une part, de voir le brûleur alimenté en gaz liquide avec les risques que vous imaginez, et d'autre part, lors du remplissage du réservoir, la température du gaz contenu dans le réservoir et celle du corps du réservoir lui-même descendent sensiblement au-dessous de la température ambiante. Il est clair que, lorsque le contenu du réservoir revient à la température ambiante, il se dilate. Si le réservoir est entièrement rempli, la pression hydrostatique créée peut devenir telle qu'elle provoque la déformation ou la rupture du réservoir.



Pour éviter ce risque, il faut donc prévoir des moyens pour empêcher un remplissage complet du réservoir et maintenir dans ce dernier un espace vide de liquide permettant la dilatation du gaz.

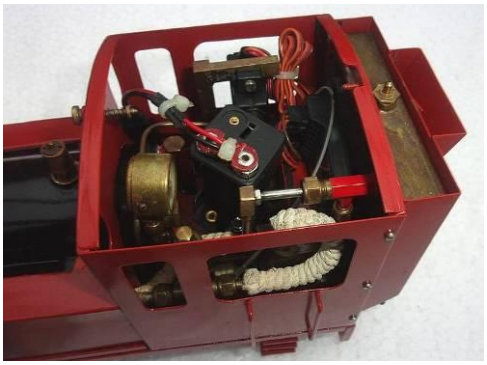
6.3. Test hydraulique

La cuve de gaz sera testée hydrauliquement suivant les prescriptions définies par la fiche sécurité "*FSe06_FICHE_ENTRETIEN*". La pression de référence sera de **6 bars** manométriques.

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

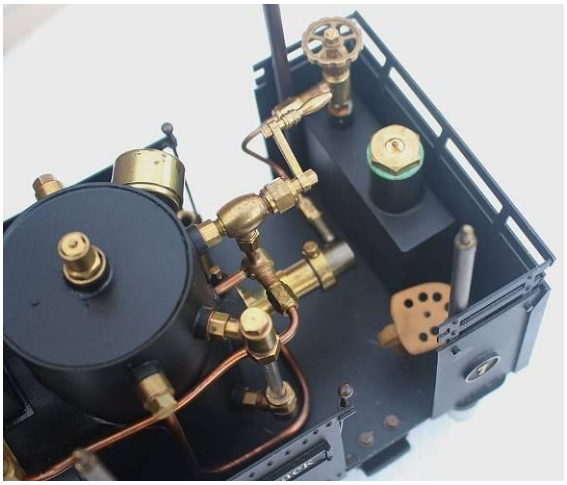
6.4. Types de réservoir

Traditionnellement, dans les navires en modèles réduits, les réservoirs de gaz sont réalisés à partir d'un tube cylindre en cuivre ou en laiton avec, à chaque extrémité, un fond bombé ou plan et le tout ***brasé à l'argent***. En ce qui concerne les locomotives en 45 mm, la forme du réservoir de gaz sera fonction de la place disponible dans la cabine. Il sera soit cylindrique avec une disposition verticale ou parallélépipédique.



Exemple de disposition du réservoir dans la soute à charbon de la locomotive dérivée de la locomotive CHARLINE 030 d'André LECOMTE.

*Un autre exemple de disposition du réservoir de gaz avec la locomotive ROMANE, chauffage au gaz, de **VAPEUR 45**.*

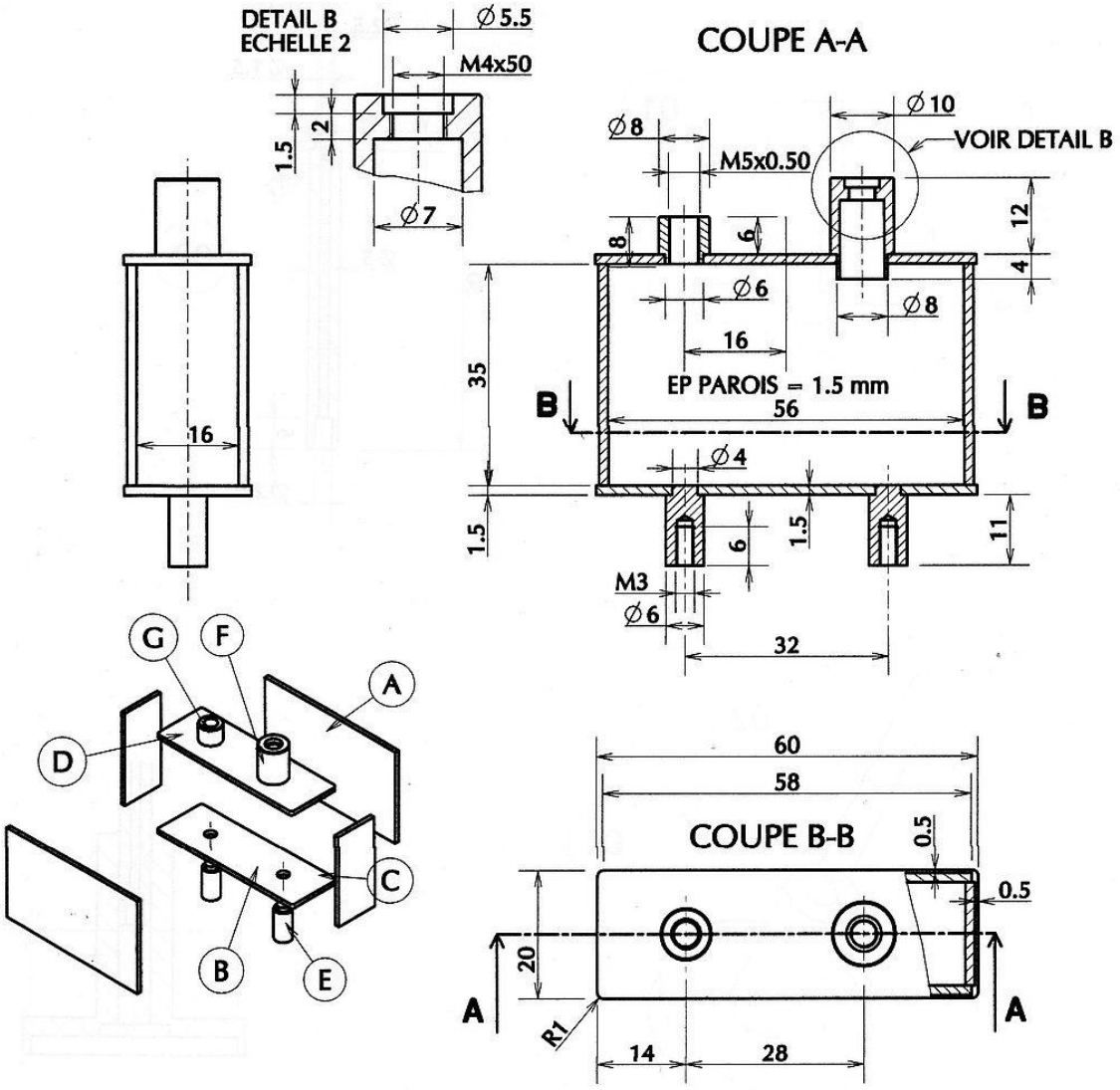


La locomotive LUMBER JACK de chez REGNER.

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

6.5. Exemple 1

Exemple de réservoir de gaz de la locomotive ROMANE d'une contenance totale de 31 cm^3 et 29 cm^3 utile ou 14.5 g de gaz.



6.6. Notes d'atelier :

Pour le brasage de cette cuve, nous procédons de la manière suivante :

- On commence par braser les deux flans Rep. **A** sur le fond Rep. **B**, en maintenant les flans à l'aide d'un serre joint métallique et en intercalant un jet de laiton ou d'acier de 16 mm de longueur. En vérifiant le bon équerrage et la position des éléments.
- On ajuste ensuite les deux flans Rep. **C**, on les intercale en les maintenant de la même manière.
- On brase ensuite les cinq éléments les uns aux autres.

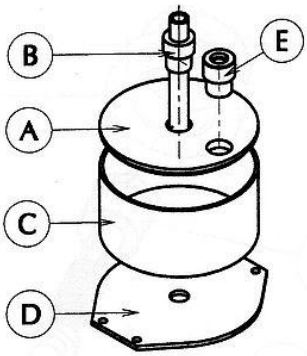
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

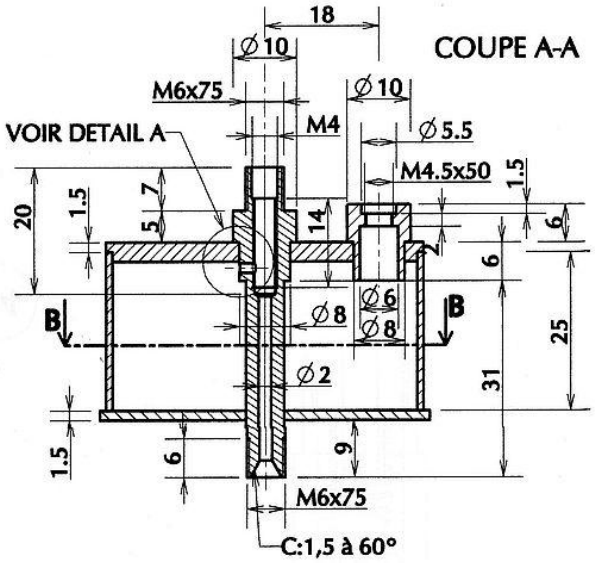
- On positionne cet ensemble sur le fond supérieur en plaçant également les deux supports Rep. **E**, on brase l'ensemble.
- Il nous reste à braser les viroles Rep. **F** et **G** sur la partie supérieure.

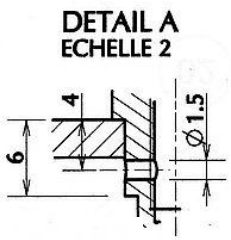
Décapage à l'acide sulfurique dilué ou à l'aide d'un produit passivant vendu à cet effet. *(Effectuer une dilution 1vol acide sulfurique du commerce + 8 volumes d'eau).*

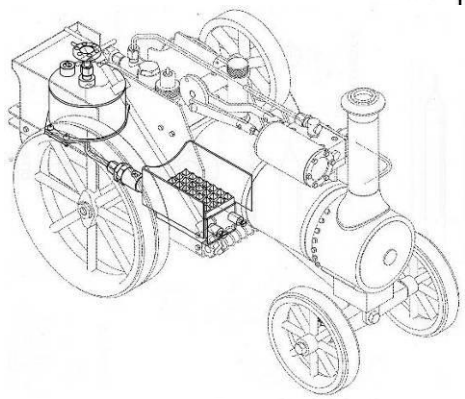
6.7. Exemple 2

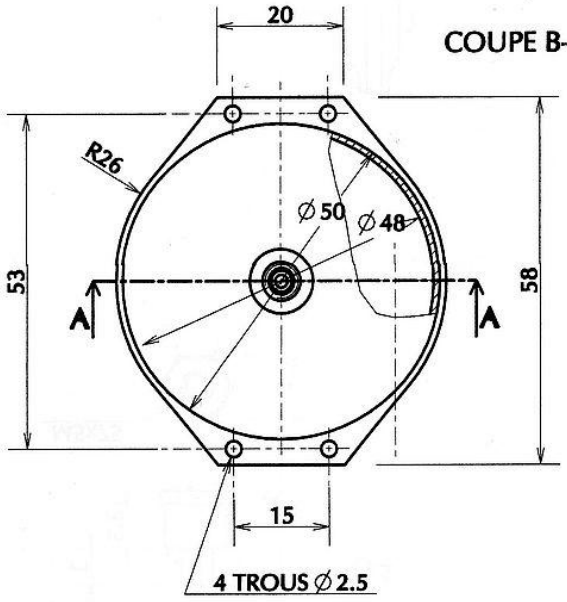
Un autre exemple de cuve de la Traction Engine, machine de **VAPEUR 45** d'une contenance totale de 45 cm^3 et 42.5 cm^3 utile ou 21 g de gaz.











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

6.8. Notes d'atelier :

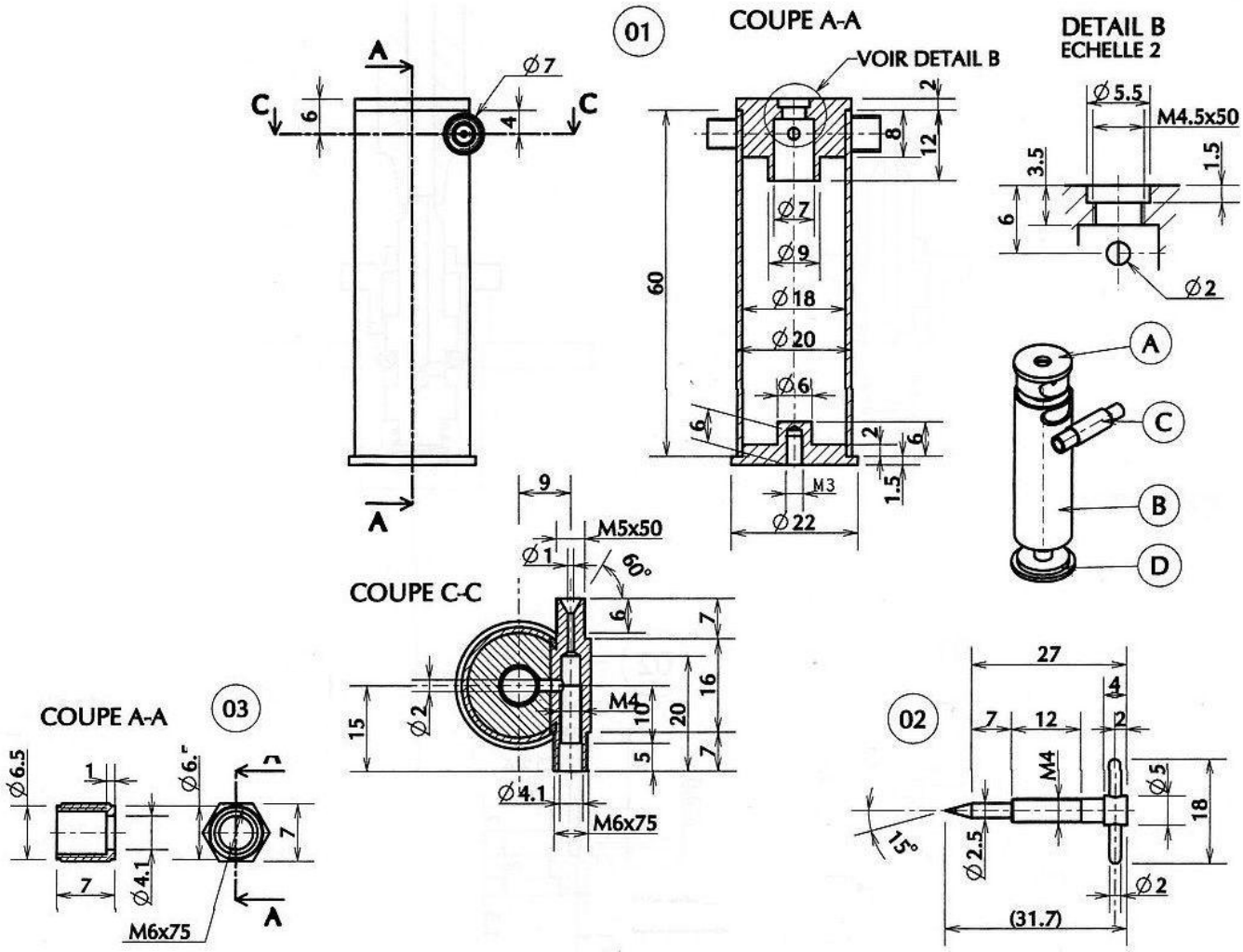
Pour le brasage de cette cuve, nous procédons de la manière suivante :

- On commence par braser le couvercle supérieur Rep. **A** avec le fourreau de vis Rep. **B**, en veillant à ne pas boucher le perçage de prise de gaz de 2 mm.
- On brase ensuite la virole Rep. **C** avec sur le couvercle.
- On positionne cet ensemble sur le fond inférieur Rep. **D**, on brase l'ensemble ainsi que le fourreau de vis.
- Il nous reste à braser la virole Rep. **E** sur la partie supérieure.

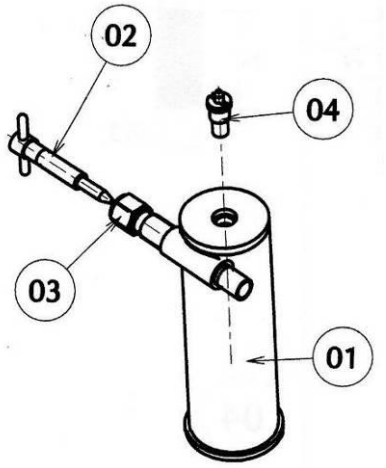
Décapage à l'acide sulfurique dilué ou à l'aide d'un produit passivant vendu à cet effet. *(Effectuer une dilution 1vol acide sulfurique du commerce + 8 volumes d'eau).*

6.9. Exemple 3

Exemple d'une cuve verticale d'une contenance totale de 15.7 cm^3 et 14.5 cm^3 utile ou 7 g de gaz.



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



Nomenclature :

01 – Cuve
02 – Robinet
03 – Ecrou presse étoupe
04 - Valve

7. VANNE COUPE CIRCUIT RC

N'ayant pas d'expérience dans le domaine de la vanne coupe circuit radio commandée, nous vous proposons une vanne du commerce de chez REGNER.

Caractéristiques de la vanne :

Avec cette vanne, vous disposez de trois options de fonctionnement différentes.

- Sans fonctionnement RC
- Avec fonctionnement RC et la flamme mini
- Avec fonctionnement RC et arrêt d'urgence

Sans RC :

Le servo est à zéro. La flamme se règle avec le volant.

Avec RC / flamme de secours :

Le servo est à zéro. La flamme mini est réglée via le volant. Puis contrôle via le servo.

Avec RC/arrêt d'urgence :

Le servo est ouvert pour alimenter le brûleur. Le volant est à zéro. Lorsque vous fermez le servo, la flamme s'éteint.

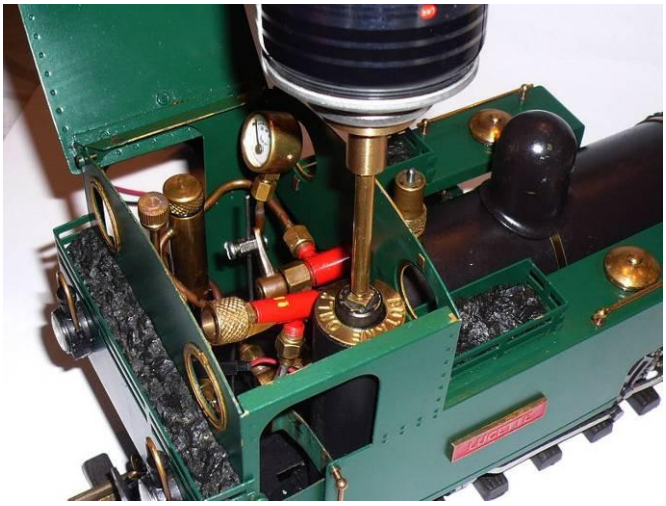
Notes *: le trim est réglé légèrement plus haut afin que vous n'éteigniez pas accidentellement la flamme pendant le fonctionnement. En position zéro plus trim, la flamme s'éteint.*

Le réservoir de gaz doit toujours être muni d'une vanne d'isolement, car la fermeture finale du gaz se fait toujours avec la vanne du réservoir.

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

8. REMPLISSAGE DES RÉSERVOIRS DE GAZ

En 45 mm, les locomotives à vapeur chauffage au gaz sont principalement alimentées par du butane. Nous trouvons dans le commerce des recharges pour briquet de 250 ml. Nous avons adopté ce mode de remplissage pour l'ensemble de nos réalisations fonctionnant au gaz.



Ci contre, le remplissage du réservoir de gaz de la locomotive ROUNDHOUSE. Pour mener à bien cette opération, il nous faut réaliser un adaptateur pour bouteille de gaz et le réservoir doit être équipé d'une valve de remplissage. ***Pour des raisons de sécurité nous nous fournissons auprès de distributeurs pour la valve de remplissage***, mais il est toujours possible de réaliser des valves donnant satisfaction.

Dans ce cas vous devrez alors parfaitement maîtriser la réalisation des ressorts et aucun à peu-près ne sera acceptable sur les tolérances d'usinage.

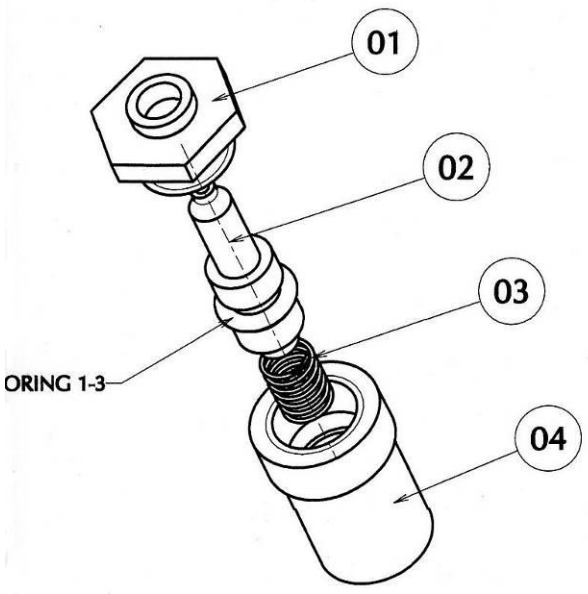
Nous allons étudier ci-après, deux valves de remplissage "maison", une valve du commerce, l'implantation de celles-ci et la description et de l'utilité de l'adaptateur sur la bouteille de gaz.

8.1. Valve de remplissage type "maison Rep A"

Composition de la valve Rep **A** :

Le système comprend les éléments suivants :

- Un capuchon, repère **01**
- Une aiguille, repère **02**
- Un ressort, repère **03**
- Une embase, repère **04**
- Un joint O-Ring 1-3



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

FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

Schéma 1

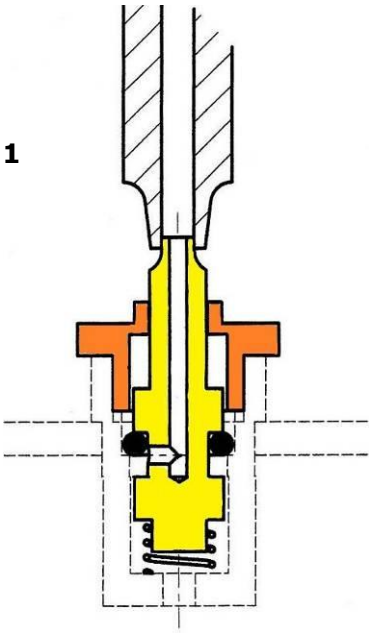
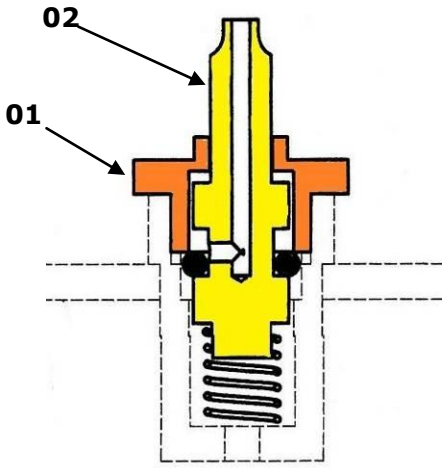


Schéma 2



Les vues ci-dessus, représentent schématiquement l'exécution d'une valve de remplissage.

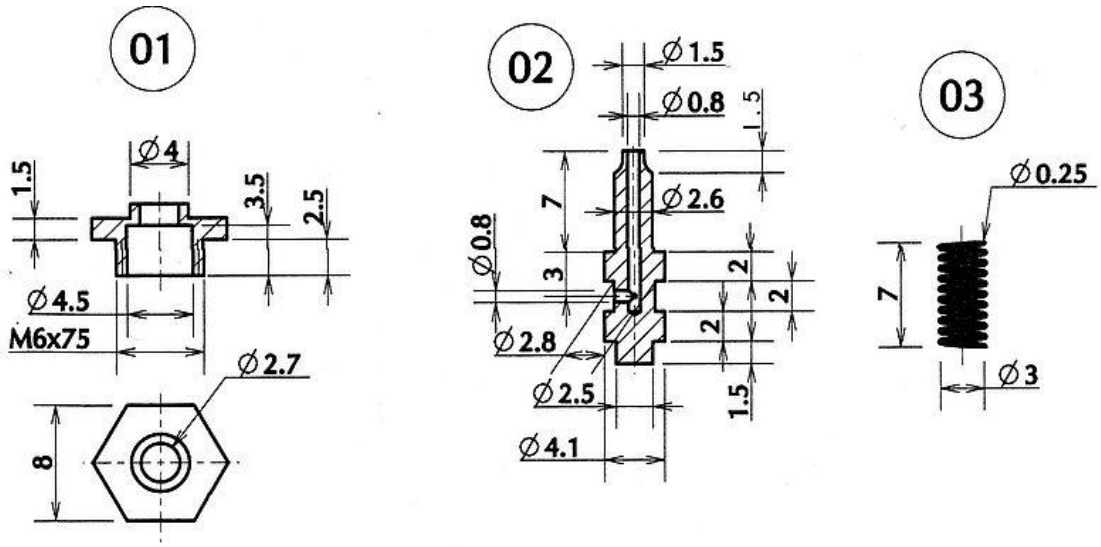
Schéma 1

En comprimant le ressort **03**, on éloigne l'épaulement de l'aiguille **02** de la face du capuchon **01**. L'intérieur du réservoir est alors relié à travers l'espace libre entre l'épaulement et la face du joint O-Ring

Schéma 2

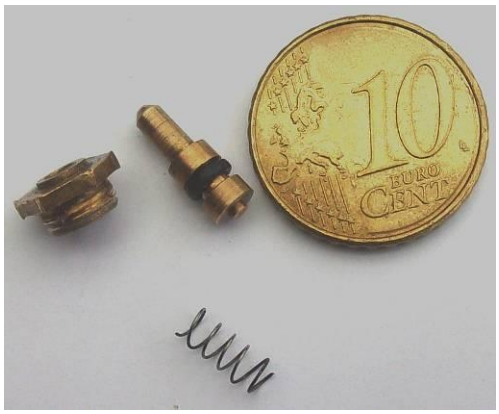
En relâchant la pression exercée sur l'aiguille **02**, le ressort **03** provoque la fermeture du canal d'admission en plaquant le joint O-Ring sur la face inférieur du capuchon **01**.

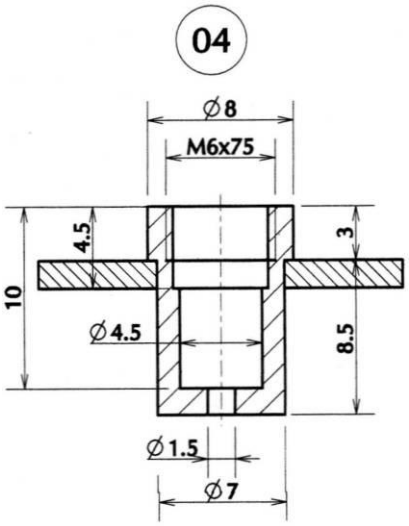
*Plan des pièces de la valve **A***



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

Dans cette configuration, l'embase Rep **04** fait partie intégrante du réservoir de gaz et est brasé à l'argent sur celle-ci.





Les pièces de la valve à coté de la pièce de 10 cts donnent une idée des dimensions.

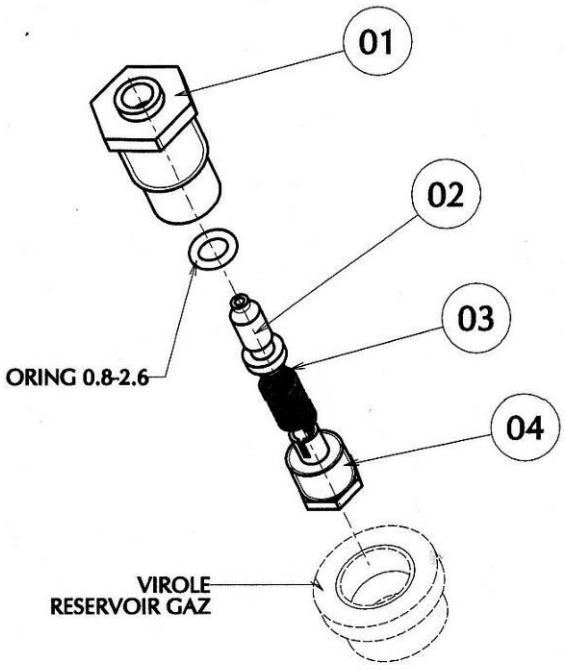
On monte le chapeau Rep. **01** de la valve sur la virole Rep. **04** au frein filet bleu.

8.2. Valve de remplissage type "maison Rep B"

*Composition de la valve Rep **B** :*

Le système comprend les éléments suivants :

- Un corps de valve, repère **01**
- Une aiguille, repère **02**
- Un ressort, repère **03**
- Un bouchon, repère **04**
- Un joint O-Ring 0.8-2.6



On trouve le joint O-Ring 0.8-2.6 principalement sur les briquets type BIC avec réglage de la flamme en façade.

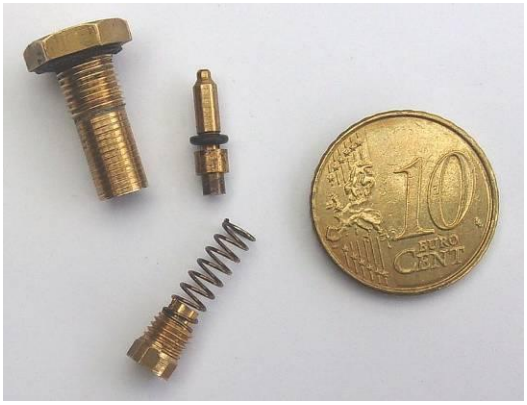
Le principe de la valve **B** reste le même que la valve **A**. La différence réside dans le fait que la valve est un ensemble qui se visse dans une virole du réservoir.

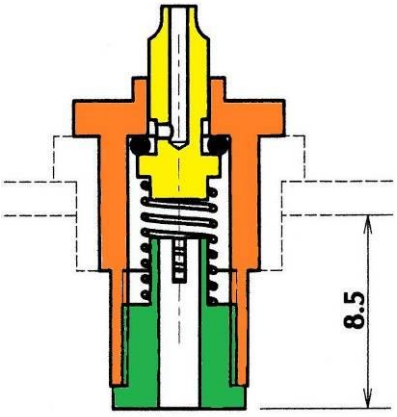
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

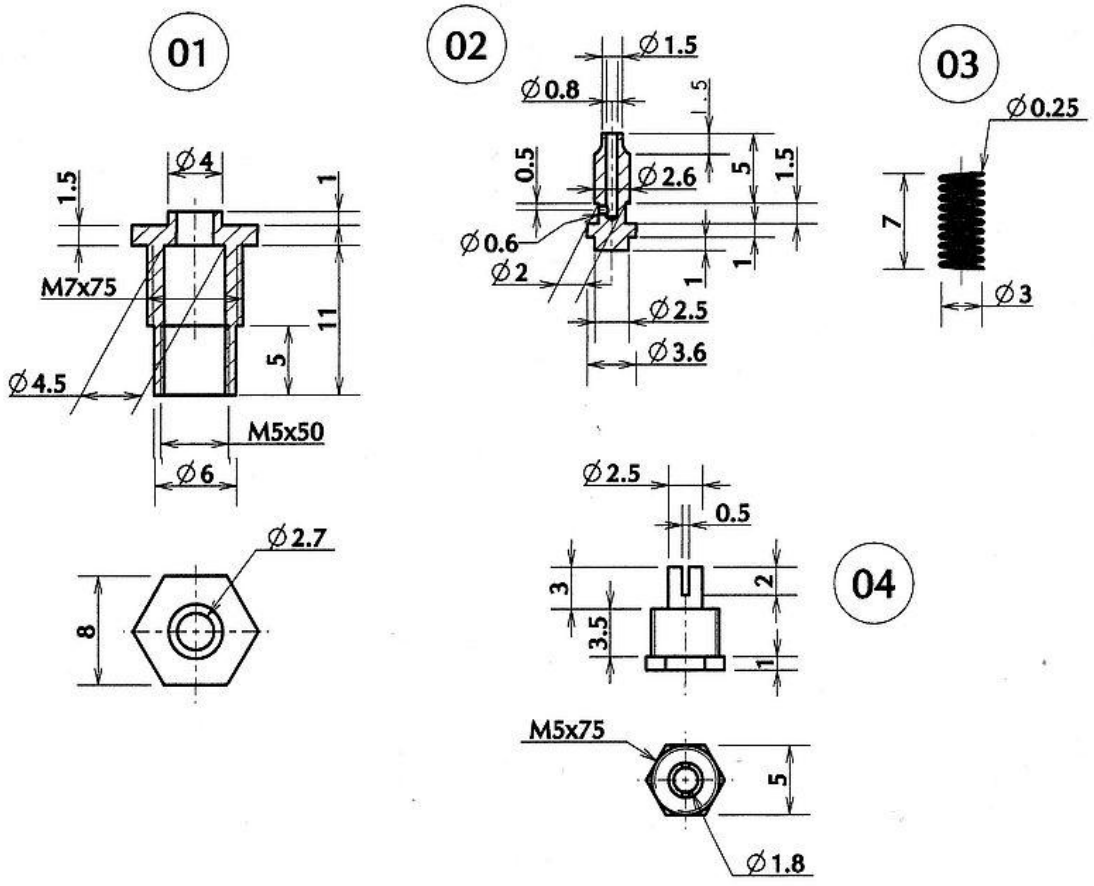




Les pièces de la valve à coté de la pièce de 10 cts donnent une idée des dimensions.

On monte la valve sur la virole au frein filet bleu ou au ruban téflon sur une virole M7x75.

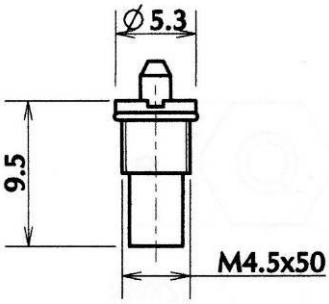
Voici le plan des pièces de la valve Rep. ***B***



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

8.3. Valve de remplissage du commerce

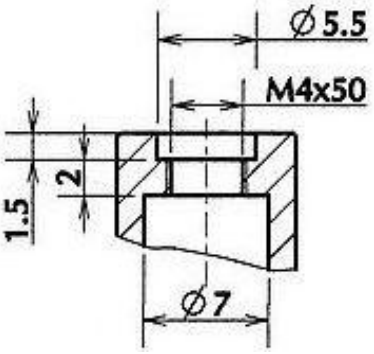
Par facilité et sécurité, pour la valve de remplissage, nous nous fournissons auprès de chez ROUNDHOUSE par exemple, https://www.roundhouse.org.uk/ valve de remplissage de gaz fileté M4.5x50.

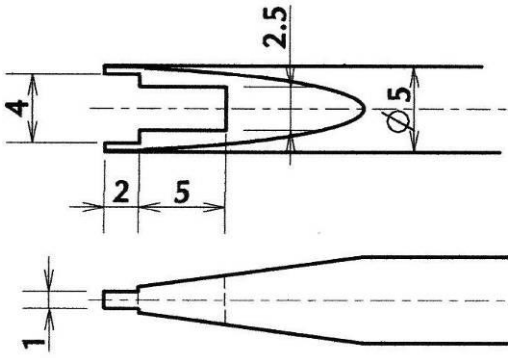


La valve à coté de la pièce de 10 cts donne une idée des dimensions.

L'étanchéité est obtenue grâce au joint O-Ring sous la tête de la valve dans le lamage diamètre 5,5.

Ci-dessous, schéma d'implantation de la valve ainsi que le schéma de modification d'un tournevis qui vous permettra le montage et le démontage de la valve.





8.4. Adaptateur pour bouteilles de gaz

Nous avons vu que nous utilisions les recharges pour briquet de 250 ml du commerce, mais l'embout en plastique de la cartouche a 2 inconvénients. D'une part, il est trop court et donc ne permet pas, bien souvent, d'accéder à la valve de remplissage de gaz. D'autre part, il est trop flexible et perturbe donc l'opération de remplissage.

Voici le résultat avec l'embout plastique de la recharge de gaz.

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

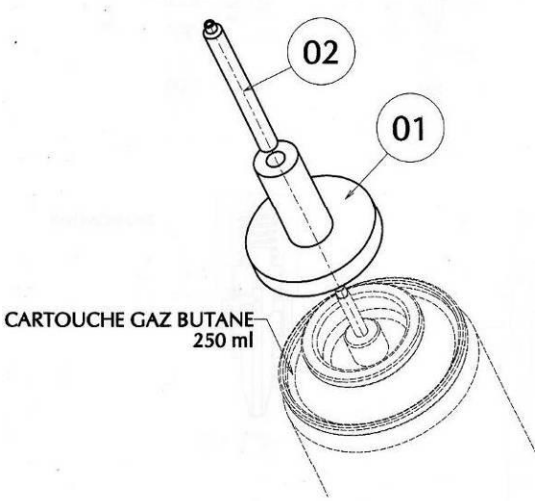
FICHE TECHNIQUE

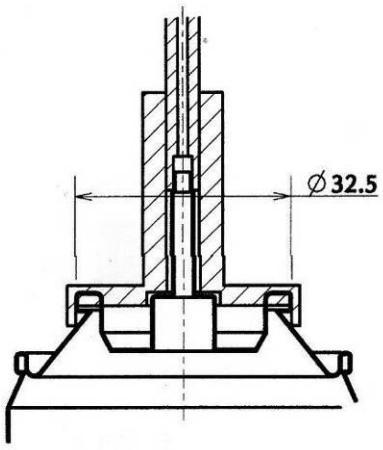
BRÛLEURS GAZ

FTe10

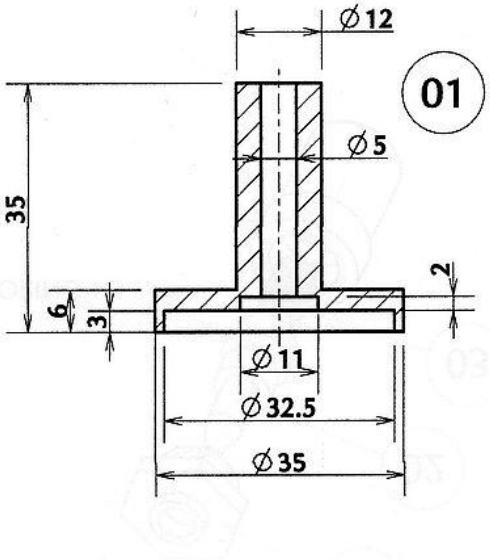
La solution consiste à réaliser un adaptateur en deux pièces. Cet adaptateur s'adapte sur la majorité des cartouches du commerce. L'ensemble comprend un embout et une embase en laiton.

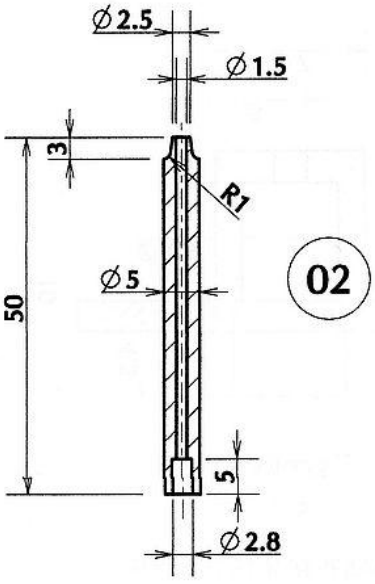
- L'embase, Rep **01**, permet de maintenir rigide l'embout, en se calant sur la collerette de la cartouche de gaz, qui semble être une constante quelque soit la marque de cartouche, cote 32.5 mm sur le schéma ci-après.
- L'embout, Rep. **02**, de diamètre 5, a à sa base un alésage s'adaptant à l'embout plastique de la cartouche ; l'autre extrémité est adaptée aux vannes de remplissage des machines.





Le système comprend les éléments suivants, une embase Rep. **01 et u**n embout Rep. **02**





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

7.4.1 Mode d'emploi

Avant de tenter de remplir le réservoir de carburant, assurez-vous que la vanne de fermeture du réservoir de gaz soit bien fermée en la tournant dans le sens des aiguilles d'une montre. Inversez la cartouche de gaz et placez sa buse sur la valve de remplissage de gaz. Soutenez le réservoir par le dessous et appuyez sur la cartouche vers le bas. On entendra le gaz siffler lorsqu'il entre dans le réservoir et une petite quantité s'échappera autour de la valve. C'est tout à fait normal, le réservoir se ventile au fur et à mesure que le liquide pénètre. Lorsque le réservoir sera plein, le gaz liquide sortira de la valve. Retirer le bidon immédiatement.

9. ANATOMIE D'UN BRÛLEUR

On distingue trois types de brûleurs :

- les torches
- les brûleurs à flamme
- les brûleurs rayonnants

Dans les faits seul le type de diffuseur de flamme varie, le reste du brûleur reste inchangé dans son principe.

Tous les brûleurs que nous utilisons sont de type atmosphérique à air induit, c'est à dire que l'on n'injecte pas le comburant sous pression. Le combustible est injecté en phase gazeuse(2) à pression contrôlée.

Le comburant, de l'air dans notre cas est « simplement » entraîné par le jet de gaz puis passe dans une chambre de mélange.

Le principe de ce type de brûleur est décrit sur le schéma ci-contre.

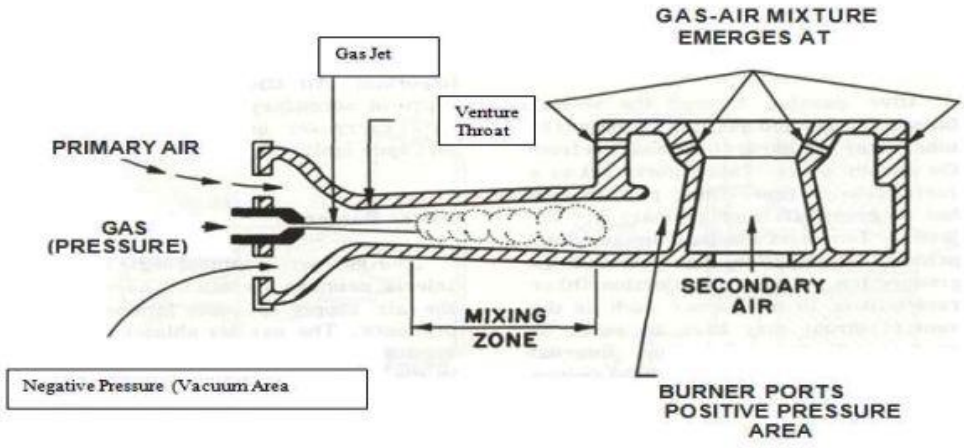


Figure 8 Basic Components of an Atmospheric Gas Burner.

(2) Il existe des pratiques ou le gaz est extrait en phase liquide du réservoir puis gazéifié par réchauffage. Ces méthodes ne seront pas développées ici, car si elles sont mal maîtrisées elles deviennent extrêmement dangereuses.

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

Le gaz est expulsé à grande vitesse par l'injecteur. Il entraîne le comburant vers un convergent. Sur les gros brûleurs la distance convergent-injecteur est réglable, de même que la section de passage de l'air primaire. Le convergent est suivi d'un divergent de mélange avec un angle de cône faible de 10 à 20°. Ce divergent diminue aussi la vitesse moyenne des gaz. Enfin le diffuseur de flamme conditionne la forme et la concentration de la flamme.

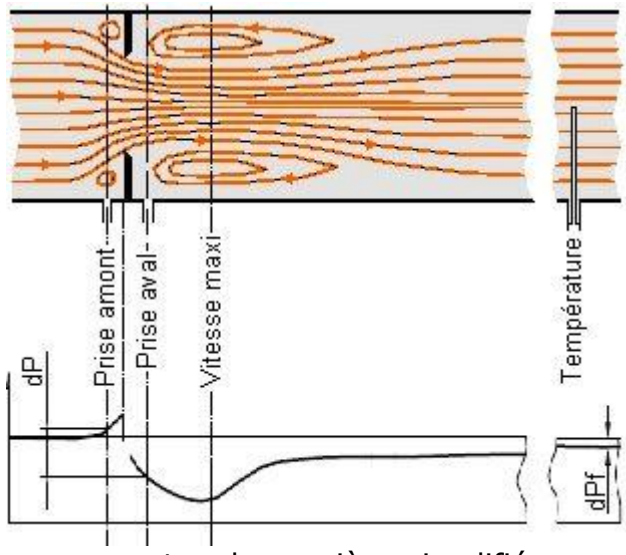
9.1. Vitesse de propagation du front de flamme

Le mélange gaz+air doit circuler à une vitesse compatible avec la propagation du front de flamme.

On peut comparer la vitesse de propagation du front de flamme à la combustion d'une mèche. Si on déroulait cette mèche à la même vitesse qu'elle brûle, alors la flamme serait immobile. La vitesse de front de flamme du butane et du propane est d'environ 0,3-0,4 m/s. Si la vitesse du mélange frais air-gaz est trop élevée la flamme est « soufflée », dans le cas contraire il y a ce qu'on appelle un retour de flamme, la flamme brûle dans le cône divergent du venturi. Le réglage de la pression en amont de l'injecteur résout le problème.

9.2. Injecteur

Nous voici au cœur du problème.



Le schéma ci-dessus montre de manière simplifiée ce qu'il se passe. Au droit de l'orifice de sortie de l'injecteur la veine se contracte, et comme le gaz est compressible sa masse volumique augmente. La veine de gaz atteint une vitesse maximale à proximité de la sortie de l'orifice. C'est dans la zone de vitesse maximale que les évents d'entrée d'air doivent se situer.

Débit-volumique vs débit massique

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

FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

Pour des fluides compressibles comme le sont le butane et le propane il est important d'assimiler e le distinguo entre ces deux notions.

Le débit volumique s'exprime par **Q_vol = Section_passage*Vitesse_passage**.

Il se trouve qu'au droit de l'ajutage, la vitesse de passage ne peut pas dépasser la vitesse du son dans le fluide en mouvement. Pour le butane cette vitesse du son vaut 1034 m/s et pour le propane 1158 m/s. Dès que le rapport *(Pression_aval / Pression_amont)* est inférieur à une valeur critique cette vitesse est atteinte. Quel que soit l'artifice employé, augmentation de la pression amont, tirage au vide en aval, amincissement de l'épaisseur de la cloison de l'ajutage, le débit volume ne variera plus.

Au régime critique le gicleur fonctionne à débit-volume constant.

Q_critique = (3,14159/4*D*D) x 1000 = 785,4*D² m³/s, avec une vitesse son de 1000 m/s

Pour un gicleur de **D** = 0,3 mm le débit-volume critique sera de

Q_critique = 785,4*0,3*0,3 = 70,7 mm³/s

Nos brûleurs atmosphériques fonctionnent toujours à débit-volumique constant. En effet la valeur critique du rapport (*P_aval / P_amont*) s'établit autour de 0,6. Comme **P_aval** = 1,013 bar **A** et **P_amont** est comprise entre 1,5 et 5,5 bar A, **P_aval** / **P_amon**t > 0,6

Le débit massique mesure la masse de gaz, autrement dit le nombre de molécules de gaz, qui traverse l'orifice. Le débit massique s'exprime par

Q_masse = Masse_volumique (P_amont ; Température) * Section_passage * Vitesse_passage.

La masse volumique d'un gaz dépend de sa pression et de sa température. A température constante, plus la pression augmente plus la masse volumique augmente (le gaz se comprime). Par contre plus la température augmente plus la masse volumique diminue (le gaz se dilate).

Une fois n'est pas coutume, la formule est simple d'application

Masse_volumique (P ; T) =

Masse_volumique (P0 ; T0) * (P/P0) * (T0+273)/(T+273)
avec T en °C

Pour le butane sous P0 = 1,013 bar A et T0 = 15°C la masse volumique est de 2,544 kg/m³.

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

Si P = 2 bar A et T = 25°C elle vaut : Masse_volumique (2 ; 25) = 4,854 kg/m3

Au régime critique on augmente le débit-massique en augmentant la pression amont.

Il existe des formules, assez complexes au demeurant et adaptées aux gros brûleurs industriels, pour estimer le débit massique passant au travers d'un injecteur en fonction de la pression d'alimentation et de la température. Elles nous fournissent cependant une estimation utile pour dimensionner l'injecteur.

Vous trouvez une feuille de calcul sur le site de **VAPEUR 45** https://vapeur45.fr/, sous l'onglet */Fiches pratiques* sous la fiche ***FTe06*.**

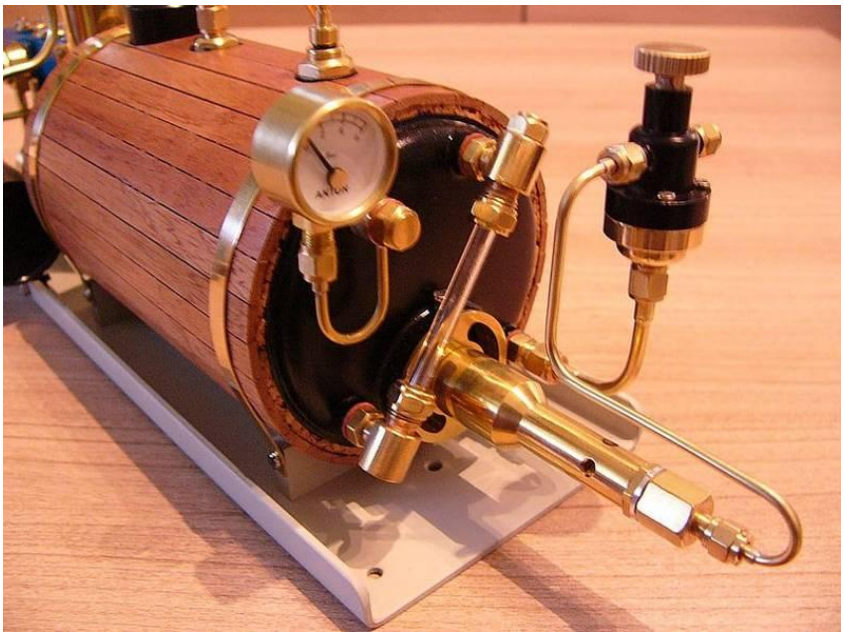
Ci-dessous un tableau récapitulatif sous les conditions suivantes :

- Température ambiante : 25°
- Gaz : butane

Diamètre gicleur mm	**0,15**	**0,20**	**0,25**	**0,30**
Débit gaz g/h	30	52	82	120
Puissance thermique W	370	665	1040	1500

10. BRÛLEUR TORCHE

Ce type de brûleur est surtout utilisé en modélisme naval avec des chaudières horizontales de type Scotch avec un tube de fumée unique de gros diamètre. Comme on le voit sur cette photo l'encombrement est important. Le rendement d'échange n'est pas excellent mais cela est compensé par une puissance thermique élevée du brûleur.

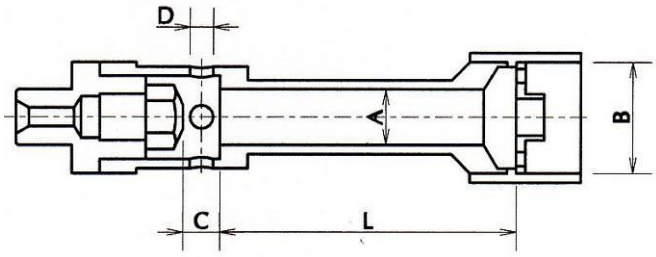


*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

- Inconvénient de ce type de brûleur, il est très bruyant.

10.1. Dimensionnement d'un brûleur type torche

En s'appuyant sur les calculs de *Léonard SUYKENS*, nous vous proposons les dimensions principales des différentes torches entre 30 g/h et 120 g/h. il vous sera évidemment possible de définir votre propre brûleur.



A diamètre du tube mélangeur
B diamètre du bec du brûleur
C distance entre l'injecteur et l'entrée du tube mélangeur
D diamètre des ouïs d'air primaire
L longueur du tube mélangeur

Le bec d'un brûleur en **B** admet un débit calorifique entre **6** et **12 W/h/mm²**. Nous avons adopté pour nos exemples un débit calorifique de **8 W/h/mm²**.

La surface **S** en mm² en **B** du bec du brûleur est égale à :

Puissance thermique / 8

D'où **B** = (S / Pi)^(1/2) x 2 *(^(1/2) correspond à la racine carré)*

On en déduit **A** = B / 2,5

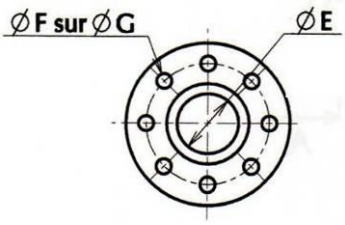
La longueur du tube mélangeur **L** = 6 x A

Les ouïes d'aspiration d'air primaire seront de l'ordre de 3 à 4 trous ayant pour valeur **D** = A / 2

La distance entre le gicleur et le début du tube mélangeur **C** = 1.5 x A

Note :

Pour le dimensionnement du diffuseur, nous n'avons rien trouvé qui nous permet de paramétrer les cotes. Néanmoins, après observation des brûleurs du commerce, il apparait que le diamètre **E** soit, en fonction de la taille du brûleur, inférieur de l'ordre de 0,5 à 1,5 mm par rapport au diamètre **A** du tube mélangeur. Pour **F** et **G**, nous avons opté pour 8 trous de diamètre 1.5 mm pour l'ensemble des brûleurs.



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

Ce qui nous donne le tableau suivant :

Diamètre gicleur mm	0,15	0,20	0,25	0,30
Débit gaz g/h	30	55	85	120
Puissance thermique W	370	665	1040	1500
S mm²	46	83	130	187
B mm	8	10.5	13	16
A mm	3	4.5	5.5	6.5
L mm	19	25	31	37
C mm	4.7	6	8	9.5
D mm	1.6	2.1	2.6	3

Les réglages peuvent jouer sur les arrivées de gaz et d'air.

Pour le gaz interviennent :

- La taille du gicleur *(prévoir plusieurs tailles pour des essais)*.
- L'ouverture de la vanne d'alimentation ou du détendeur sur lesquels il sera facile d'intervenir.

Pour l'air :

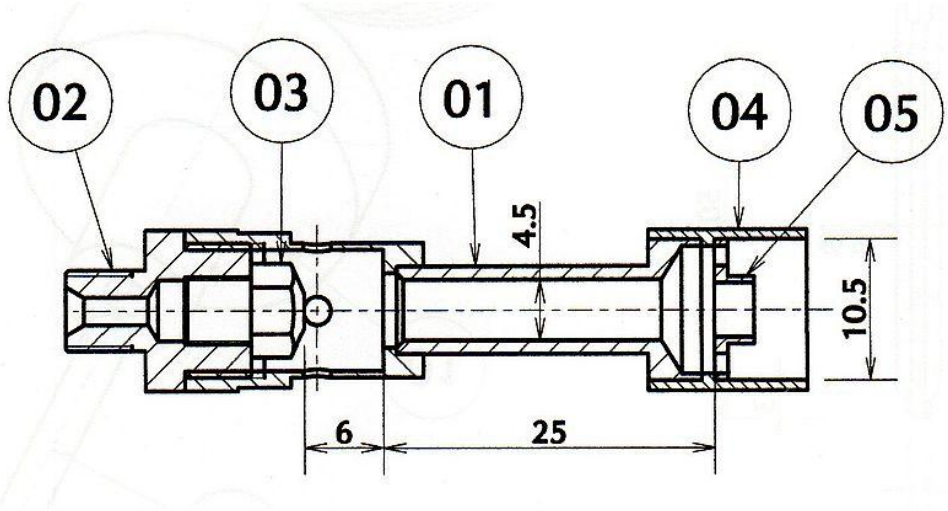
- La taille et le nombre des trous d'arrivée d'air.
- Pose d'une bague de réglage d'air.

*(La dimension du trou d'air **D** dans le tableau est adaptée à l'utilisation du gicleur il sera peut être nécessite d'ajouter une bague de réglage)*

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

10.2. Brûleur 55 g

Nous montrons en exemple le brûleur de 55 g. Il est composé principalement d'un tube mélangeur Rep. **01**, en amont de ce corps, l'embase support d'injecteur Rep. **02**, avec son injecteur Rep. **03** et en aval, la tête du brûleur Rep. **04** et le diffuseur Rep. **05**. On retrouve sur cette vue, les cotes principales du tableau.



Sur la coupe ci-dessus, on remarquera que la face avant de l'injecteur est tangente aux ouïes d'air primaire.

10.3. Notes d'atelier :

Voyons quelques remarques concernant l'obtention de certaines pièces. Les repères correspondent à ceux des pièces sur les plans.

Rep. 01 La chambre de mélange.

La pièce sera réalisée en deux éléments qui seront, par la suite, brasés à l'argent. La pièce représentant le tube de mélange, est prise dans du rond de Ø11 sur 25 mm de long. La partie avant sera prise dans de l'hexagone de 12 sur plats sur une longueur de 18 mm. Dresser la face et percer à Ø9 sur une longueur de 15 mm, puis passer les tarauds de M10x1 sur 8 mm. Le choix du pas fin n'est pas impératif.

Les quatre trous d'arrivée d'air de Ø 2,1 seront faits à la perceuse ou mieux à la fraiseuse la pièce étant prise en étau. La cote de 10 est impérative, elle permet d'ajuster la position de ces trous par rapport au gicleur.

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

Rep.2 L'embase du gicleur.

Prise dans de l'hexagone en laiton de 12, cette pièce permet le rattachement du brûleur à une source de gaz. Les formes et dimensions peuvent varier surtout en fonction de votre implantation dans le modèle.

Le diamètre de raccordement M6x75 est donné à titre indicatif, il sera à adapter suivant les raccords de votre modèle.

Rep. 3 Injecteur

Pour l'injecteur, les cotes générales sont données dans le chapitre "Fabrication d'un injecteur" la seule cote à retenir ici est le diamètre de la buse qui est de 0.15 mm.

Rep. 05 et 06

Du fait de la chaleur au nez du brûleur, les pièces seront réalisées en acier. L'usinage est réalisé de manière à monter les pièces l'une dans l'autre par un emmanchement au maillet.

La bague de contrôle de l'air.

Il sera peut être nécessaire d'adjoindre une bague de réglage des entrées d'air. Elle est constituée d'un bout de tube fendu à la scie et resserrée pour pincer le corps tout en pouvant coulisser. Pas forcément indispensable elle sera pratique lors de la mise au point du brûleur.

L'ensemble des pièces avant montage.

Les éléments étant terminés, le montage de l'injecteur sur l'embase ainsi que l'embase sur le tube mélangeur est réalisé au Loctite.

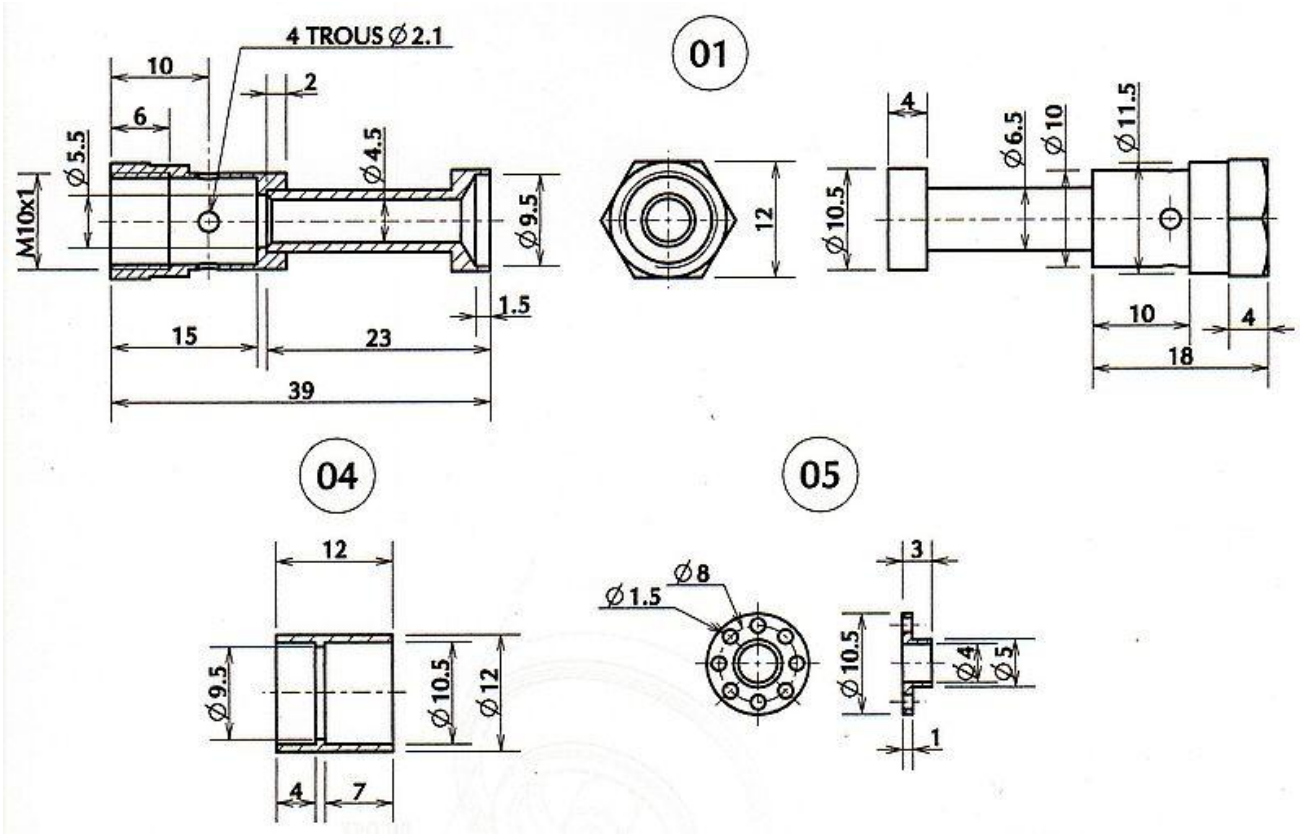
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

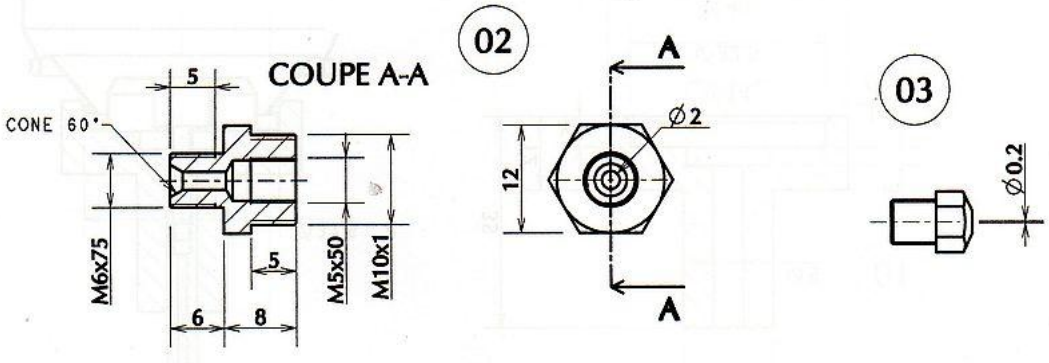
FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

Voici le plan de détail des pièces Rep. **01** à **05.**





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

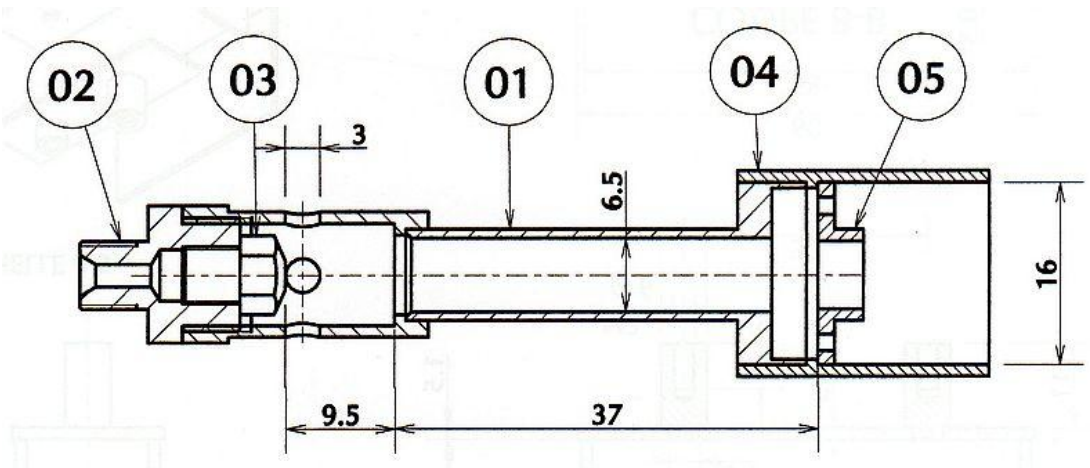
Le brûleur à coté d'une pièce d'un euro, donne une idée des dimensions.

En fonctionnement, le brûleur donne une bonne qualité de flamme. La zone primaire ou dard qui constitue la partie éblouissante de la flamme, affiche une belle forme conique.

10.4. Brûleur 120 g

Un autre exemple avec un brûleur de 120 g.

On retrouve sur cette vue les cotes principales du tableau. La nomenclature est la même que pour le brûleur de 55 g.



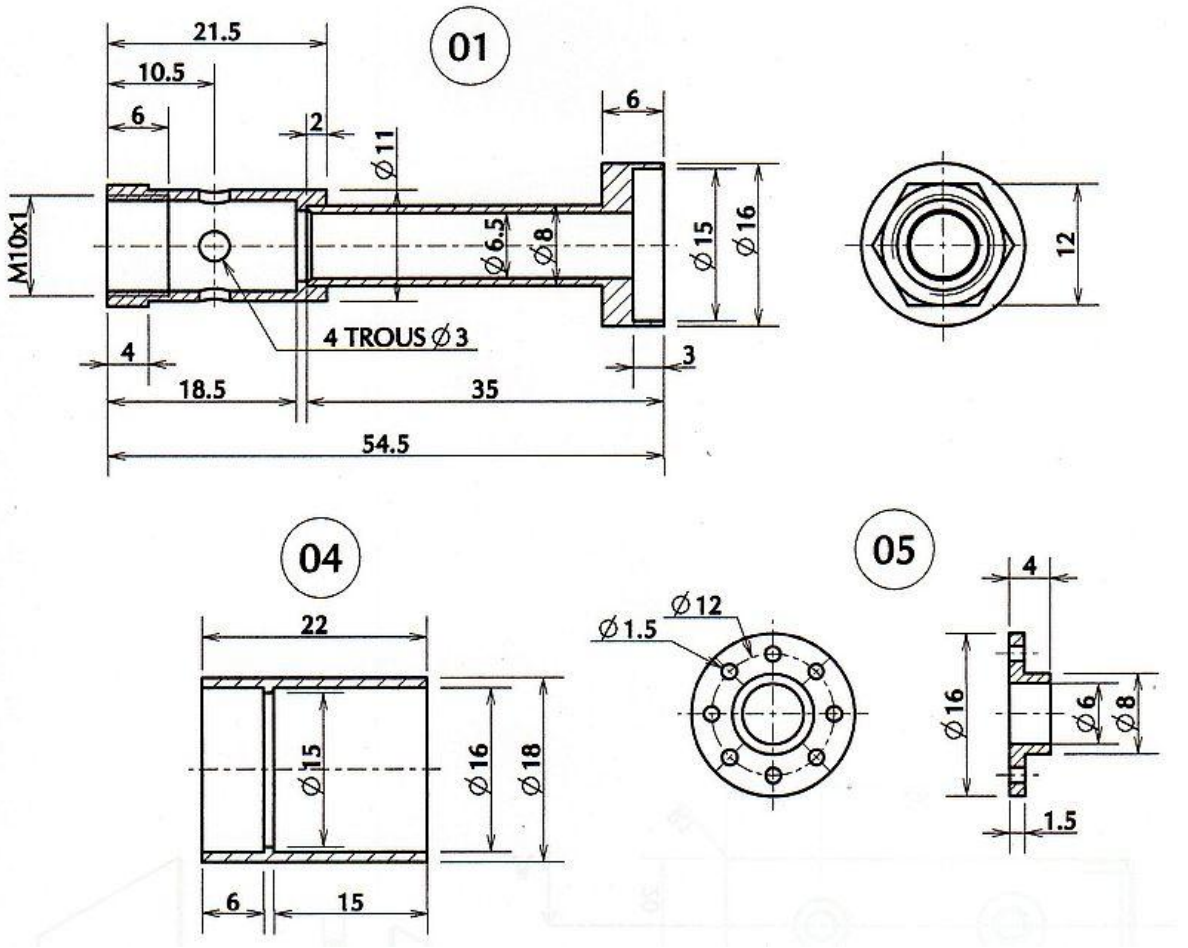
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

Voici le plan de détail des pièces Rep. **01**, **04** et **05** du brûleur de 120 g.



La pièce Rep. **02** est identique au Rep. **02** du brûleur de 55 g et pour l'injecteur Rep. **03**, le perçage de la buse est à 0,3 mm.

L'ensemble des pièces avant montage.

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

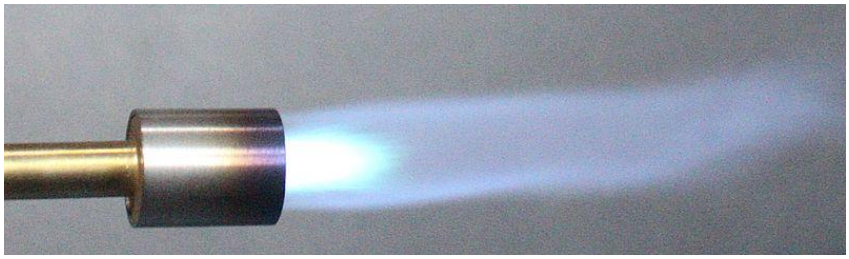
FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

Le brûleur à coté d'une pièce d'un euro, donne une idée des dimensions.

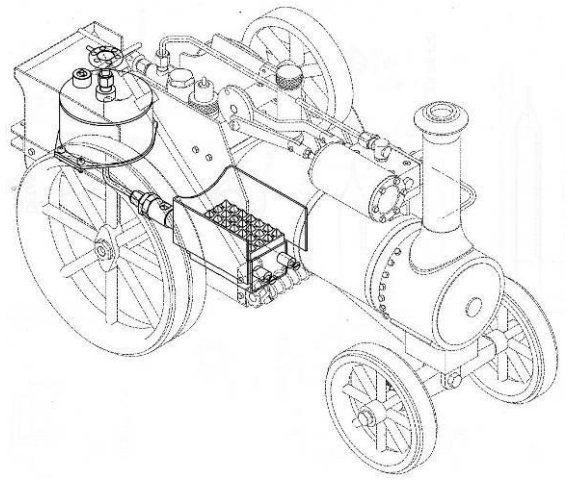
En fonctionnement, le brûleur donne également une bonne qualité de flamme. La zone primaire ou dard qui constitue la partie éblouissante de la flamme, affiche une belle forme conique.



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

11. BRÛLEUR CÉRAMIQUE

En toute rigueur le brûleur céramique est un chauffage radiant. La céramique est portée à haute température par la combustion du gaz. Force est de constater que, bien souvent, ce type de brûleur est utilisé comme un brûleur classique avec une bonne grosse flamme bleue au-dessus de la céramique. La céramique tient alors lieu de diffuseur à trou traditionnel.



Pour illustrer ce paragraphe, nous nous appuierons sur le brûleur de la machine Traction Engine. Le réservoir étant détaillé dans le chapitre " réservoir".

Qu'il soit nommé chauffage à infrarouge ou chauffage radiant le brûleur céramique est de toute évidence d'un bien meilleur rendement que les brûleurs de type "torche" ou à rampe tubulaire.

Il découle de ce meilleur rendement :

- Une diminution de la consommation.
- Un risque de givrage des petits réservoirs bien moindre.
- Une diminution de la quantité de gaz embarqué donc réduction de l'encombrement du réservoir.
- Enfin ce mode de chauffage est totalement silencieux.

11.1. Comment se procurer de la céramique.

- Chez les fournisseurs de matériel et d'outillage pour les horlogers bijoutiers. Ces derniers utilisent des plaques de céramique comme paillasse pour faire leurs soudures. Elles sont appelées "plaque semi cordiérite".
- Chez L'Octant référence : PLAQUE CR
- Dans les grandes surfaces de bricolage on peut trouver à bas prix, des chauffages de chantier prévus pour être montés sur les grosses bouteilles de butane. Il est possible de récupérer sur de tel chauffage de quoi faire plusieurs brûleurs céramique.

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

11.2. Découpage de la céramique

Elle se travaille très bien en prenant cependant quelques précautions.

Pour la découpe en ligne droite l'utilisation d'une scie à denture fine, comme une scie à métaux, suffit. Ici pas question d'étau, mettre la céramique bien à plat sur un morceau de carton épais et couper en inclinant peu la lame.

Vous pouvez utiliser un lapidaire équipé d'un disque abrasif de grain 60. Dans ce cas, il est évidement possible de faire n'importe quelle forme y compris des formes rondes ébauchées à partir d'un hexagone, pour faire des brûleurs pour chaudière verticales.

Si vous ne possédez pas de lapidaire utilisez de la toile émeri collée sur une planchette de bois au ruban adhésif double face

Attention ! La céramique est très fragile.

11.3. Dimensionnement du brûleur

Rappelons que pour un brûleur type torche on admet un débit calorifique entre **6** et **12 W/h/mm²**. Pour les brûleurs céramique, il n'en est pas de même, en effet, le débit calorique acceptable est de l'ordre du 1/5 de celui d'une torche, soit environ **1,2** à **2,4 W/h/mm²** Nous avons adopté pour nos exemples un débit calorifique de **2 W/h/mm²**.

La surface totale des trous de la céramique **S** en mm^2 est égal à :

Puissance thermique W / 2

Diamètre gicleur mm	**0,15**	**0,20**	**0,25**	**0,30**
Débit gaz g/h	30	55	85	120
Puissance thermique W	370	665	1040	1500
S mm²	185	332	520	750

11.4. Surface de la plaque de céramique

La surface de céramique dépendra du nombre de trous / cm² de la plaque. Pour cela il faudra compter le nombre et le diamètre des trous de votre plaque. Une méthode très simple, sur votre plaque, tracer au crayon, un carré de 2,5 cm x 2,5 cm, compter le nombre de perçage dans ce carré et diviser le nombre par 6,25. Pour le diamètre, utiliser des forets au 1/10 comme pige.

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

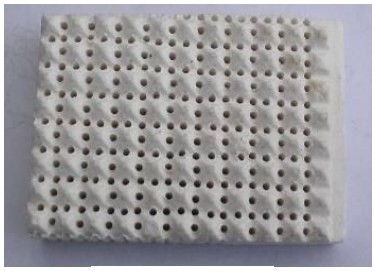
BRÛLEURS GAZ

Sur la plaque de céramique **A**, ci-dessous, le nombre de trous est de 48 pour un diamètre de 1,5, soit 48/6,25 = 7.7 trous/cm². La surface d'un trou étant égale à 1,77 mm², nous aurons donc 1,77 x 7,7 = 13,63 mm² de section libre par cm² de plaque.

Sur la plaque **B**, vue la concentration, nous avons effectué un quadrillage de 2x2 cm, nous avons compté 110 trous de diamètre 1,3 mm soit 110/4 = 27.5 trous/cm². La surface d'un trou étant égale à 1,32 mm², nous aurons donc 1,32 x 27,5 = 36,6 mm² de section libre par cm² de plaque.

> Pour la céramique **A**, avec un gicleur de 0,20 mm, il faudra une surface totale de 332 / 13,63 = 24 cm² de céramique.

> Pour la céramique **B**, avec un gicleur de 0,20 mm, il faudra une surface totale de 332 / 36,6 = 9 cm² de céramique.



Plaque **A**

Plaque **B**

On remarquera l'importance de la concentration des perçages sur la plaque de céramique.

Prenons l'exemple du brûleur de la traction Engine.

- Diamètre gicleur : 0,2 mm
- Puissance thermique : 665 W
- Surface calorique : 332 mm²
- Plaque type B

La surface de céramique est égale à 332 / 36,6 = 9 cm²

Nous avons opté pour une surface de 2,5 x 4,4 = 11 cm², soit 2 cm² en plus par sécurité.

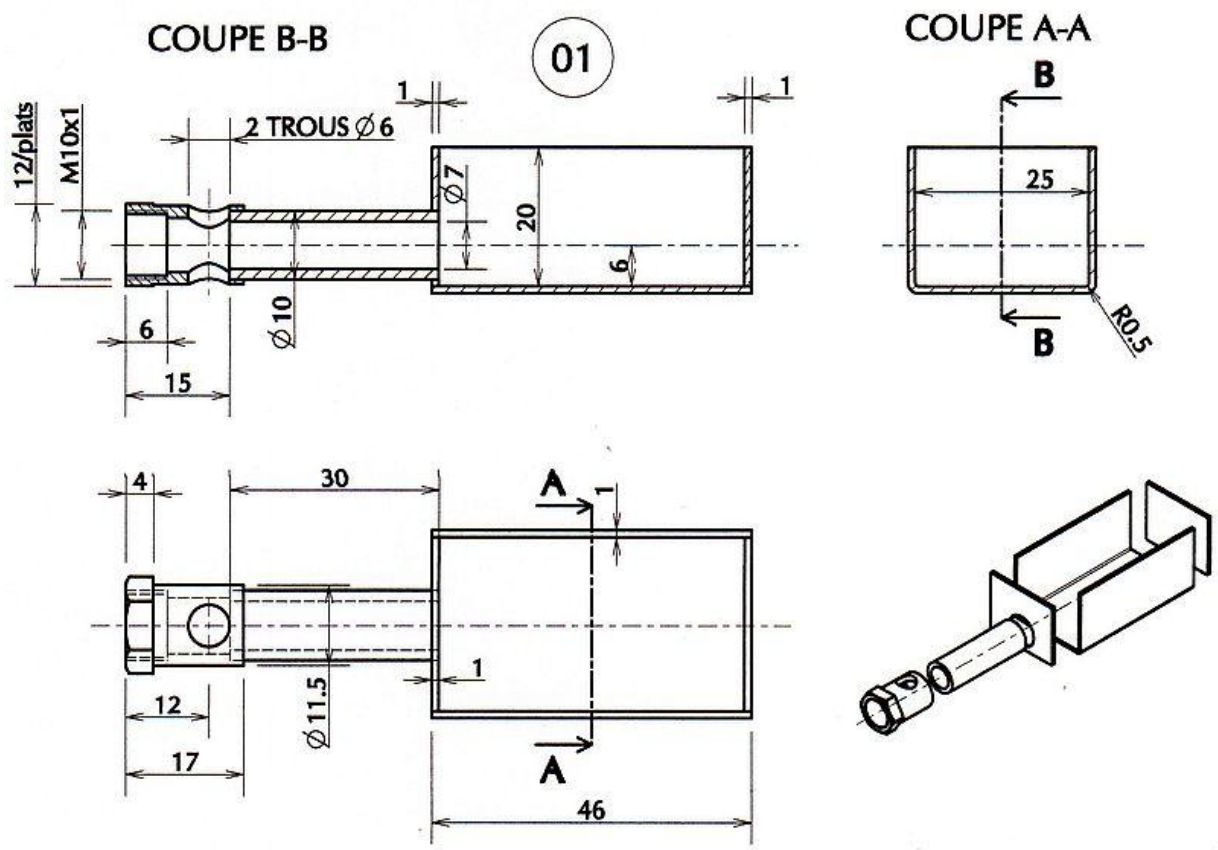
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE

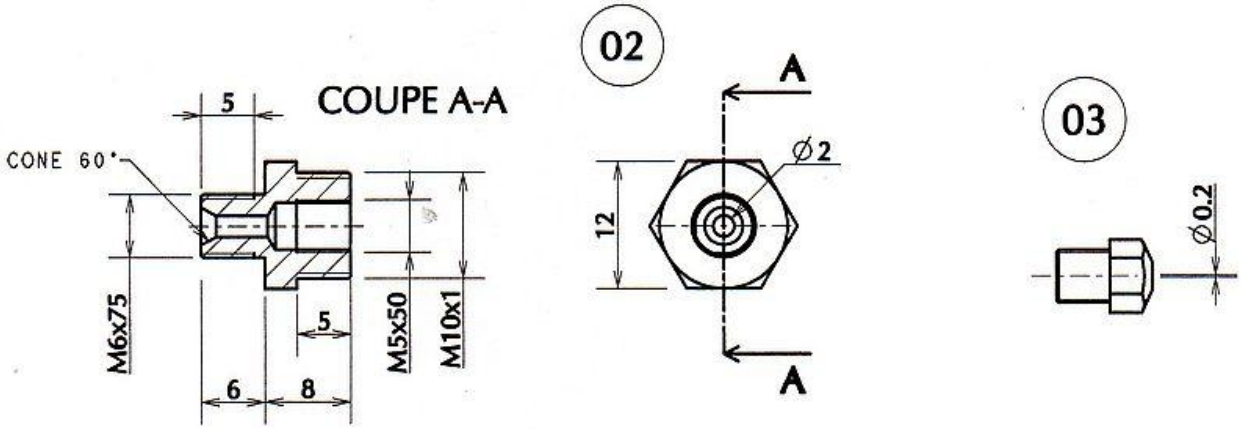
BRÛLEURS GAZ

FTe10

Détails du caisson :



Détail de l'embase et de l'injecteur :



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

11.5. Notes d'atelier :

Quelques remarques concernant l'obtention de certaines pièces. Les repères correspondent à ceux des pièces sur les plans.

Rep. 01 La chambre de mélange.

Exécuté en deux pièces et ensuite brasé à l'argent. La partie avant, prise dans du rond de Ø12 et de 30 mm de long. La partie arrière, dans l'hexagone de 12 sur plats. Dresser la face et percer à Ø9 à travers la pièce, puis passer les tarauds de M10x1 sur 8mm. Le choix du pas fin n'est pas impératif.

Retourner, la pièce mettre à longueur et réaliser le centrage extérieur à Ø10 sur 2 mm.

Les quatre trous d'arrivée d'air de Ø2,1 seront faits à la perceuse ou mieux à la fraiseuse, la pièce étant prise en étau. La cote de 10 est impérative, elle permet d'ajuster la position de ces trous par rapport au gicleur.

Les pièces étant terminées. L'étanchéité entre l'embase et l'injecteur, l'embase et la chambre de mélange se fera au Loctite.

Rep. 02 L'embase de l'injecteur.

Prise dans de l'hexagone en laiton de 12, cette pièce permet le rattachement du brûleur à une source de gaz. Les formes et dimensions peuvent varier surtout en fonction de la disposition du brûleur dans votre modèle. Le diamètre de raccordement M6x75 est donné à titre indicatif, il sera à adapter suivant les raccords de votre modèle.

Rep. 03 L'injecteur

Pour les cotes générales de l'injecteur, voir le chapitre "*Fabrication d'un injecteur, chapitre 13*"

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

11.6. Les réglages peuvent jouer sur les arrivées de gaz et d'air.

Pour le gaz interviennent :

- La taille du gicleur : plusieurs peuvent être prévus pour les essais.
- L'ouverture du robinet d'alimentation ou du détendeur sur lesquels il sera facile d'intervenir.

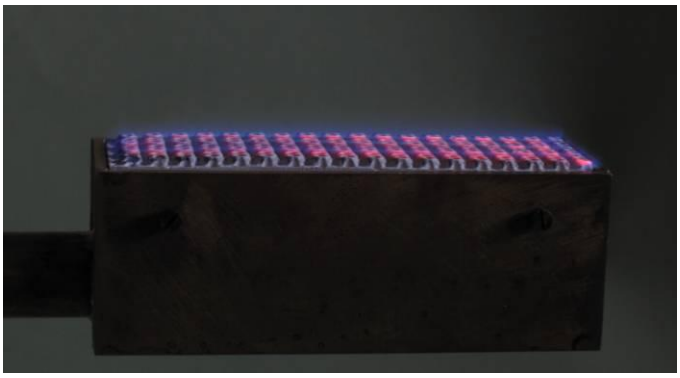
Pour l'air :

- La taille et le nombre des trous d'arrivée d'air.
- La position de la bague de réglage d'air.

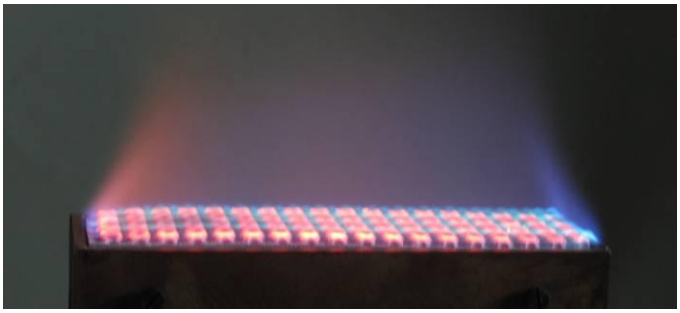
Le but est d'obtenir une belle flamme bleue qui rosit lorsque la flamme devient rouge.

Plus qu'un long discours les photos qui suivent sont beaucoup plus parlantes.

Ralenti bien réglé la flamme est d'un joli bleu, la céramique est à peine rouge.



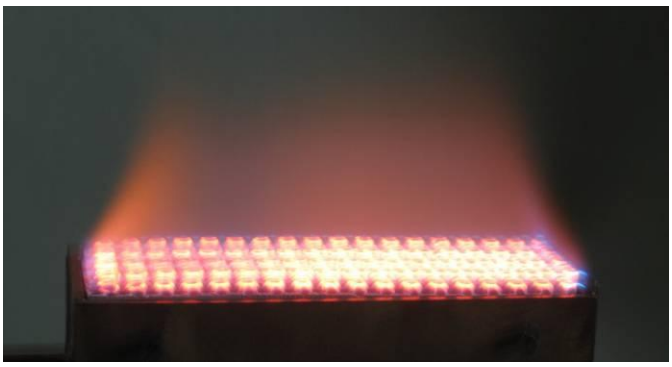
La flamme est encore totalement bleue sauf à gauche où la présence de la couleur rose met en évidence une fuite.



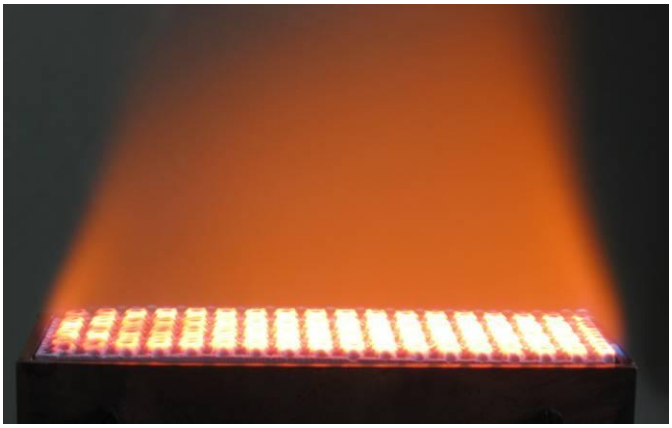
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

BRÛLEURS GAZ

La céramique est rouge et la flamme est cette fois totalement rose, c'est la limite pour un bon réglage.



La flamme orange met en évidence un trop grand débit de gaz et un manque d'oxygène.



Crédit photos :

Description suivant l'étude de Christian VandenBusche pour la réalisation du brûleur de la locomotive 020T CORPET de 1902.

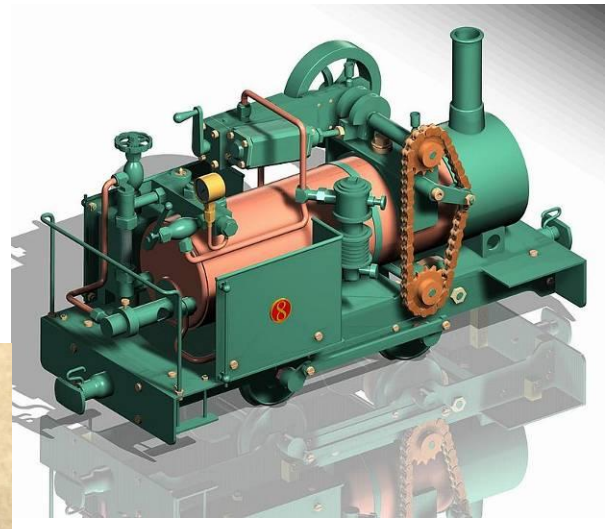
Sur des brûleurs plus grands, si la flamme n'est pas répartie uniformément au dessus de la céramique, cela est peut être du à une mauvaise diffusion du mélange gazeux au dessous de celle ci. Dans ce cas on peut améliorer les choses en mettant dans le caisson de la paille de fer en inox (il faut de l'inox car l'acier normal s'oxyde).

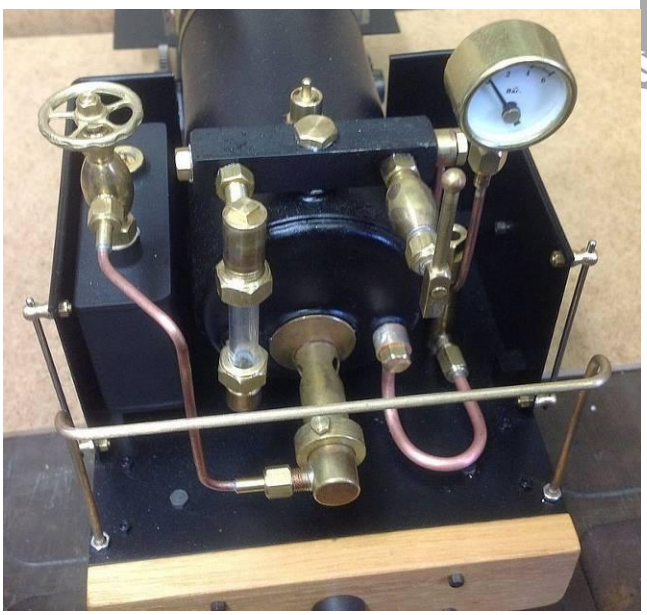
Après le réglage du brûleur proprement dit, il restera à régler sa position en hauteur par rapport à la chaudière. 6 à 10 mm est une bonne valeur de départ.

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

12. BRÛLEUR CENTER FLOW

Le diffuseur se présente sous la forme d'une rampe percée d'une multitude de trous. Ce type de brûleur est utilisé principalement dans les locomotives au 1/32e ou 1/22e. Nous vous proposons le plan de la rampe utilisé sur la locomotive ROMANE de **VAPEUR 45**.





Vue arrière de la machine, le réservoir de gaz sur la gauche, pour l'entretien, accès on ne peut plus simple.

12.1. Allumage du brûleur

Ce type de brûleur demande une certaine maitrise dans l'allumage. Tenez un briquet au-dessus le haut de la cheminée et ouvrez lentement la vanne de gaz en tournant dans le sens inverse des aiguilles d'une montre. Le gaz devrait s'enflammer presque immédiatement avec un "pop" caractéristique. Le brûleur doit être audible mais pas trop fort. La plage complète de réglage *(de fermé à complètement ouvert)* doit être atteinte dans la première quart de rotation de la vanne de gaz. Il ne doit théoriquement pas être ouvert plus que cela.

REMARQUE comme indiqué ci-dessus, le régulateur de gaz doit être ouvert lentement jusqu'à ce que le brûleur s'allume. S'il est ouvert trop rapidement, en particulier lorsque le moteur est froid ou si le réservoir vient d'être rempli, il est possible que la flamme ne puisse pas retourner dans le conduit de la chaudière mais y rester la boîte à fumée. Si cela se produit, le brûleur fera un bruit assez différent de la normale et une flamme bleue sera visible dans le la boîte à fumée. Si cela se pro-

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

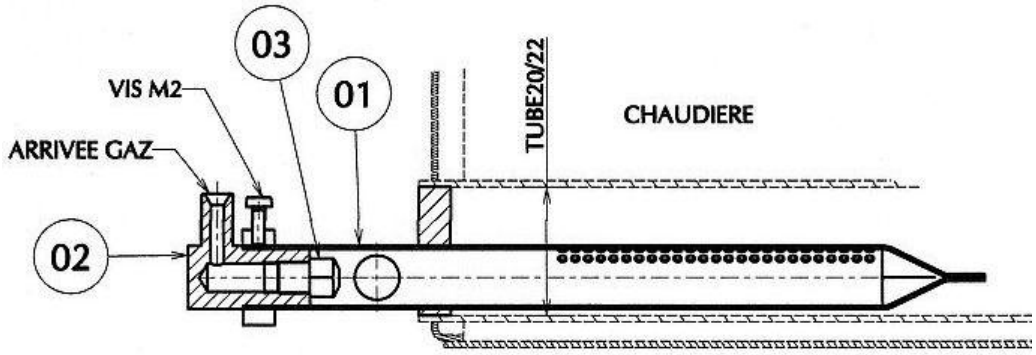
duit, coupez immédiatement le gaz ou des dommages peuvent en résulter, peinture de la boite à fumée brûlée… puis rallumez-le. Si le problème persiste et qu'il n'est pas possible d'allumer le brûleur correctement, il est possible que le gicleur soit à moitié obstrué ou sale. Démontez le gicleur afin de le vérifier et procéder à un nettoyage.

Pendant les deux premières minutes, maintenez le brûleur à feu doux. C'est important, car jusqu'à ce l'ensemble soit chaud, la flamme reste instable. Après quelques minutes, la vanne de contrôle du gaz peut être ouverte plus pour accélérer la montée en vapeur.

12.2. Montage du brûleur

Pour un bon fonctionnement du brûleur, celui-ci est appairé avec le tube de chauffe de la chaudière. L'appairage des deux tubes est critique car la garde libre au-dessus de la flamme ainsi que l'évacuation des gaz de combustion sont essentiels à un bon fonctionnement. Le tirage via la boîte à fumée et la cheminée devront être particulièrement travaillés quitte à ajouter un extracteur à vapeur lors de fonctionnement à régime gaz réduit.

Il n'est pas possible de monter ce brûleur sur un autre diamètre. Le tube de chauffe de la chaudière est ici du 20/22 en cuivre, il débouche obligatoirement dans la boite à fumée.



La vue ci-dessus nous donne un aperçu de l'ensemble des pièces composant le brûleur center-flow. En voici la nomenclature :

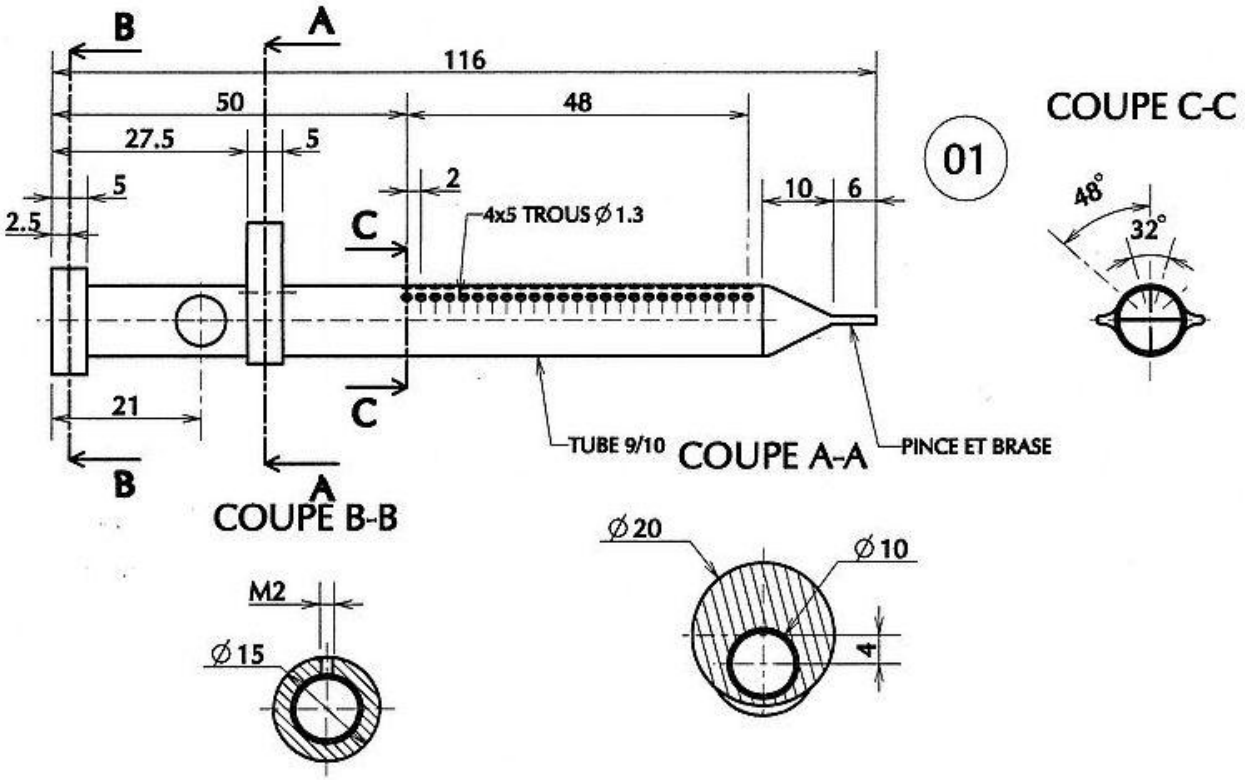
01 Corps du brûleur
02 supports du gicleur
03 Gicleur

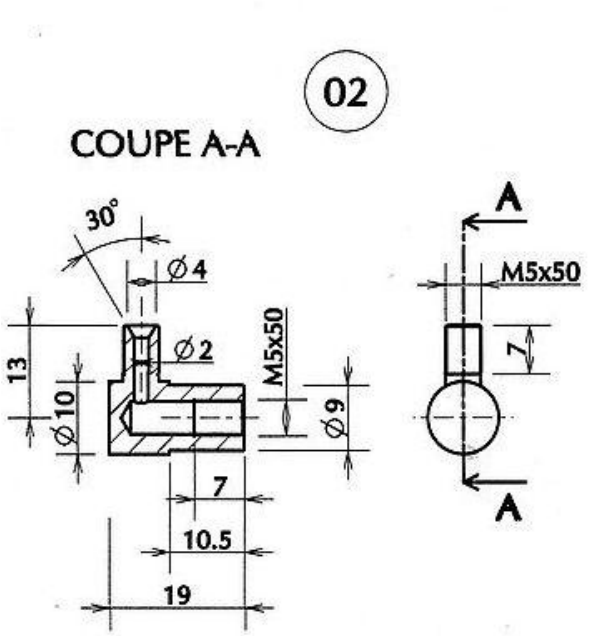
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

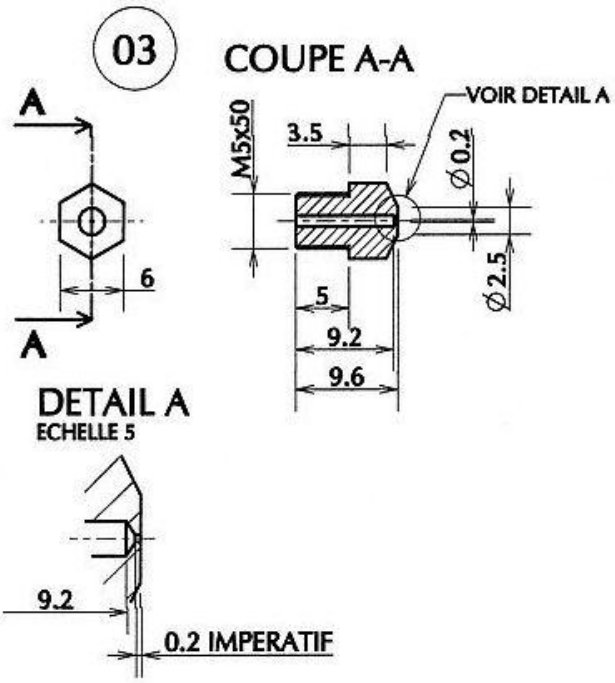
FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10







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

13. FABRICATION D'UN INJECTEUR

L'injecteur gaz, aussi appelé gicleur, est la petite pièce indispensable aux brûleurs de nos machines. Nous allons voir comment réaliser le perçage de 0,2 mm.

13.1. Introduction

Le gicleur gaz a pour missions :

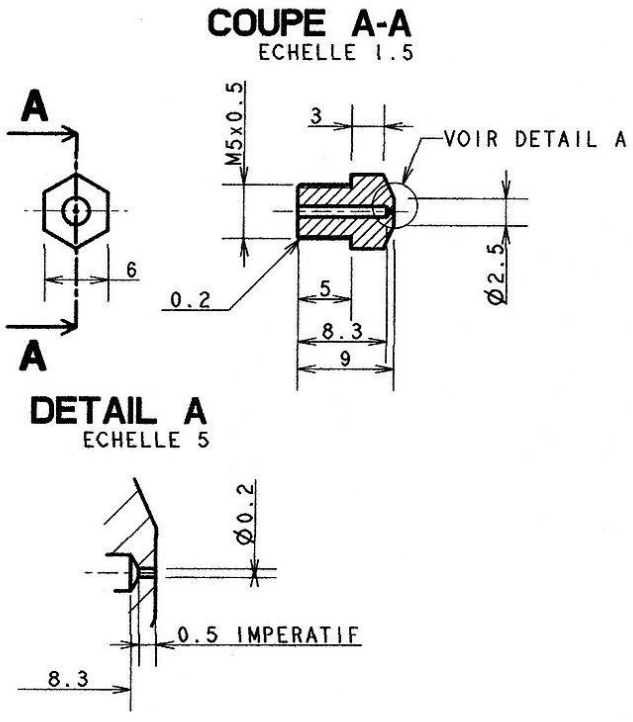
- D'assurer le passage d'un débit précis pour une pression donnée. Il existe une pression critique au-delà de laquelle le débit n'augmente plus. De même il existe une pression minimale en deçà de laquelle aucun débit ne passe.
- d'injecter le gaz à haute vitesse vers le brûleur en entraînant de ce fait, l'air primaire de combustion

Le débit d'injection est régulé en amont par un dispositif qui fait varier la pression d'admission.

Il est mis en place par vissage à l'extrémité du tube mélangeur, là où s'opère le mélange gaz et air. En ce qui nous concerne dans nos modèles réduits, le diamètre du gicleur gaz peut varier entre 0,15 et 0,4 mm.

Trois points à bien noter :

- La position de l'ajutage de l'injecteur par rapport aux évents d'entrée de l'air est critique pour un bon mélange gaz-air,
- Les gicleurs pour liquide ont des cônes de dispersion usinés sur leur face externe (ex : gicleur fioul). Ici ce n'est pas le cas (cf dessin) sinon la vitesse du gaz serait insuffisante,
- La profondeur de perçage du canal d'admission qui conduit à l'ajutage de 0,2 mm est critique, elle devra être conduite avec soin.



VAPEUR 45 a standardisé pour ses besoin le dimensionnement du gicleur suivant le schéma suivant, pour des orifices compris entre 0,15 et 0,5 mm. D'une longueur de 9 mm, il est taillé dans un hexagone de 5 mm. Le filetage est en pas fin M5x50.

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

13.2. Matériels

Il vous faut :

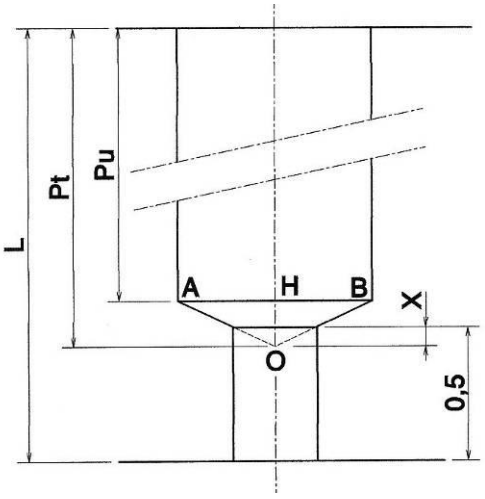
- un foret de 1 mm
- un micro-foret hélicoïdal avec queue épaissie. La queue de notre foret est d'un diamètre 1 mm (suivant norme DIN 1899) en acier HSS-E. (Coût : environ 20 € pour le 0,15).

13.3. Routine d'usinage

Notre expérience dans la réalisation des gicleurs, nous a amenée à fixer la gamme d'usinage comme décrit ci-après. Avec cette méthode, nous avons réalisé les 8 gicleurs de la Traction Engine avec un seul foret de 0,15 sans casse.

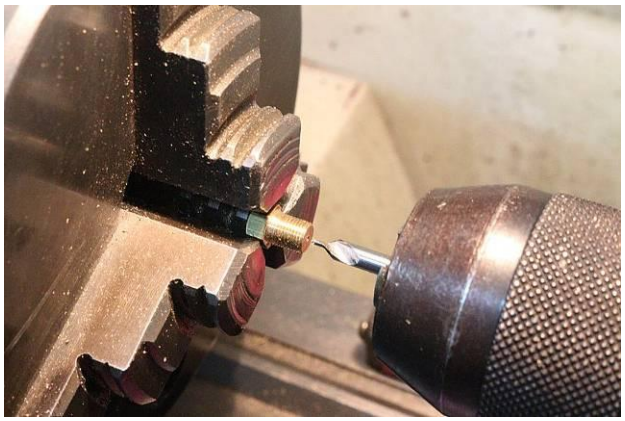
L'astuce consiste à réaliser un avant trou de 1 mm, qui servira de guide au micro-foret. Cette technique ne s'applique que pour les gicleurs ayant les orifices compris entre 0,15 et 0,4 mm, à partir de 0,5 mm, le foret présente beaucoup moins de problème de risques de casse.

1/ La forme principale ayant été faite, nous prenons avec précision, la longueur du gicleur **L**, ici 9,02 mm

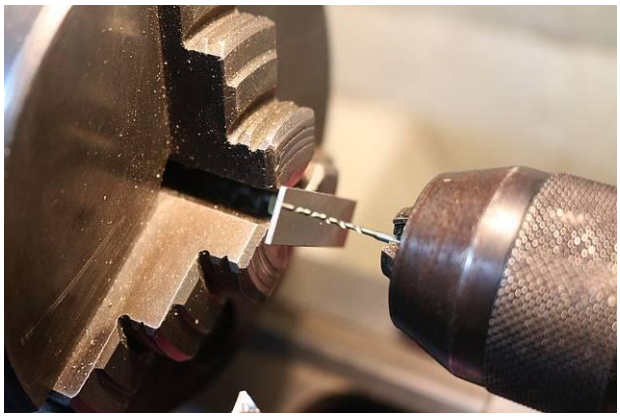


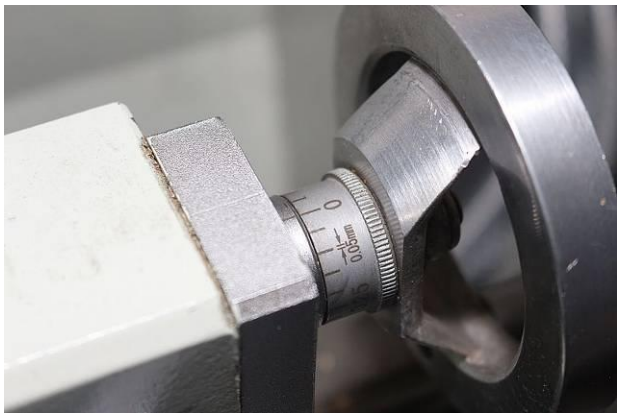
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

2/ On positionne le gicleur en 3 mors sur l'hexagone, filetage à l'extérieur. On pointe légèrement au foret à centrer de 1 mm.



3/ on intercale une plaque (laiton ou aluminium) d'épaisseur connue, par exemple de 1 mm (ou autre) entre le foret de 1 mm et le gicleur et on positionne le vernier de la poupée mobile à 0.





4/ Ensuite, on avance le vernier de 1 mm, afin de rattraper l'épaisseur de la cale, la pointe du foret est donc tangente à la surface du gicleur. Pour la profondeur du perçage, le plan impose la profondeur nette utile de 8,2 mm. Ici, **Pu** = 8,2, pour obtenir Pt on ajoute la longueur d'usinage de la pointe de l'outil notée OH sur le dessin ci-contre. Pour obtenir cette valeur, voir le fiche technique **FPe19**.

Pour un foret de 1 mm, la cote **OH** est de 0,3 mm.

Il suffit d'avancer le foret de 8,2 + 0,3 = 8,5 au vernier.

5/ On place ensuite le foret de 0,15 dans le mandrin, on positionne à l'œil la pointe du foret tangent à la surface du gicleur, la longueur utile du foret de 0,15 est de l'ordre de 1,5 mm. Il suffit d'avancer le foret de 9,5 mm pour être sûr de traverser la paroi du gicleur.

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

Pour la vitesse de rotation, les tours d'établi ne sont pas capable d'atteindre la vitesse requise pour percer avec une avance rapide pour du 0,15, il faut donc privilégier une avance lente et très douce, main légère et poignet souple c'est la clé du succès.

Voilà !

Un gicleur est à l'origine destiné à atomiser un liquide afin de produire un aérosol. Pour suivre l'usage courant on nommera gicleur ce qui est en fait un injecteur.

On notera qu'il existe aussi des forets carbure utilisés en électronique avec queue de 3,2 mm (1/8") que l'on peut trouver occasionnellement sur Internet en lots réaffûtés à prix modéré.

13.4. Dépannage

Le minuscule trou du gicleur peut être obstrué par de petites particules de saleté rendant le brûleur difficile à allumer. Si cet événement se produit, nettoyez le gicleur comme suit :

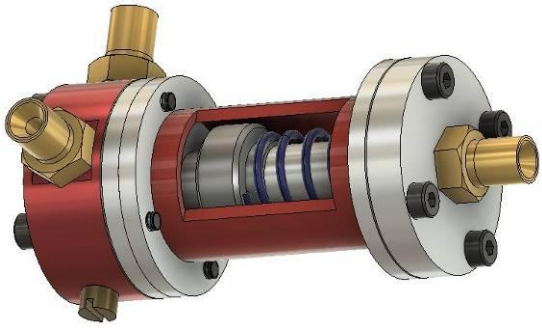
- Avec précaution, déconnectez le tuyau de gaz du support du gicleur.
- Desserrez la vis retenant le support du gicleur et le glisser vers l'arrière.
- Retirez le gicleur du support de gicleurs à l'aide d'une clé de 7
- Laver le gicleur dans un diluant à évaporation rapide. Soufflez dans le gicleur par l'avant ou, s'il est fortement obstrué, passez-y une longueur de fil de cuivre fin de 0.15 mm. Si vous le tenez le gicleur à la lumière vous devriez être en mesure de voir très clairement s'il est bouché ou non.
- En cas de doute monter un nouveau gicleur.
- Remonter dans l'ordre inverse en mettant un ruban PTFE autour des filetages du gicleur. Assurez-vous que toutes les connexions soient serrées. Lors du repositionnement du support du gicleur, assurez-vous qu'il soit en butée.

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

14. RÉGULATEUR DE GAZ

Avant propos :

Définition du détendeur et du régulateur :



Le détendeur de gaz réduit la pression de gaz de la pression du réservoir à une pression fixe adaptée au fonctionnement du brûleur. Les régulateurs de gaz sont en aval du détendeur de gaz et réduisent davantage le débit de gaz vers le brûleur lorsqu'une pression de chaudière prédéfinie est atteinte.

Le régulateur de gaz n'est pas un organe de coupure d'alimentation, il permet de maintenir une pression de vapeur à votre chaudière sensiblement constante. Le point de consigne de la pression gaz est réglé par une prise de pression vapeur.

Le régulateur diminuera ou coupera l'arrivée de gaz lorsque la pression chaudière arrivera à la pression de consigne parce que vous avez taré le régulateur à cette pression mais, grâce à un by-pass, le gaz continuera à passer par un petit orifice pour alimenter le brûleur en veilleuse, cela pour éviter les accidents par extinction.

Pour baisser la pression du détendeur il faudra détendre le ressort, ou dévisser la molette Rep. **09** Pour monter la pression du régulateur, il faudra comprimer son ressort, donc visser la molette.

Il existe dans le modélisme deux types de régulateurs ; le régulateur simple membrane et le double membrane.

Régulateur simple membrane :

Ce régulateur ne comporte qu'une membrane qui sépare le coté vapeur du coté gaz. Il est plus facile à fabriquer mais présente l'inconvénient d'être moins précis. Il présente également un inconvénient, car avec le temps, la membrane peut se détériorer et se déchire, la vapeur passerait alors dans le gaz.

Régulateur double membrane :

Il présente l'avantage de ne pas avoir la même membrane en contact avec deux fluides de température et de pressions différentes.

La différence de surface, coté vapeur et coté gaz, permet un ajustement plus précis et une hystérésis plus sensible de ressort.

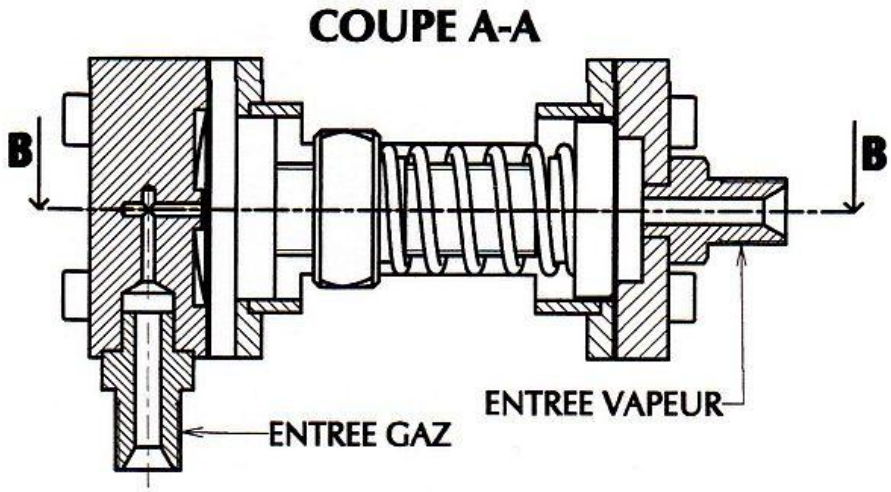
Attention !

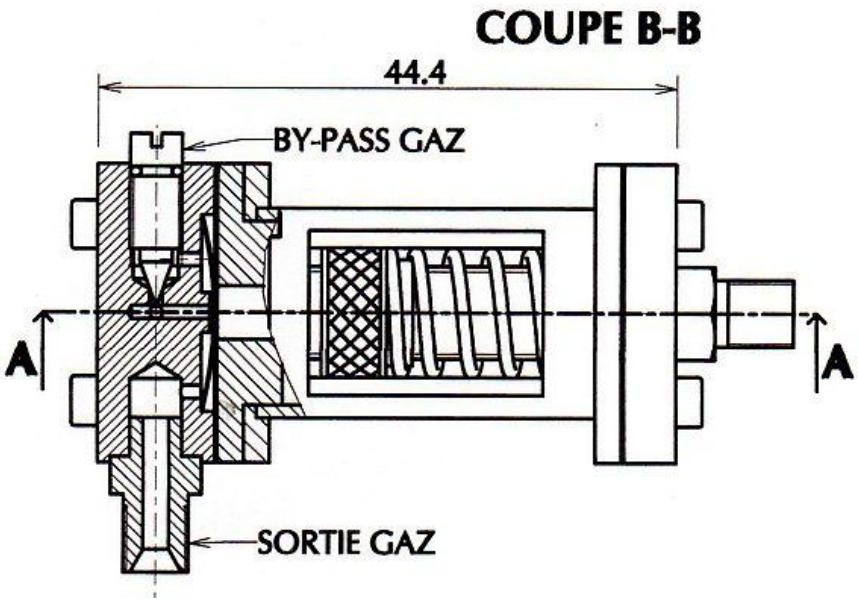
Un régulateur fonctionne sur une différence de pression, il est nécessaire d'avoir un réservoir de gaz n'ayant pas une trop grande fluctuation de pression. Plus la pression montera dans le réservoir de gaz et plus le ressort devra compenser la différence de pression.

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

14.1. Description du détendeur double membranes

La pression de la chaudière s'exerce sur le piston Rep. **05** par l'intermédiaire d'une membrane en téflon Rep. **03**, la tension du ressort équilibrant la pression de la chaudière est réglable par une molette Rep. **09**. L'axe du piston vient pousser une deuxième membrane en téflon, lorsque la membrane vient en contact de l'épaulement de l'arrivé de gaz, le gaz est coupé. La rondelle ressort Rep. **07** à pour but d'écarter la membrane de l'épaulement lorsque le piston recule.



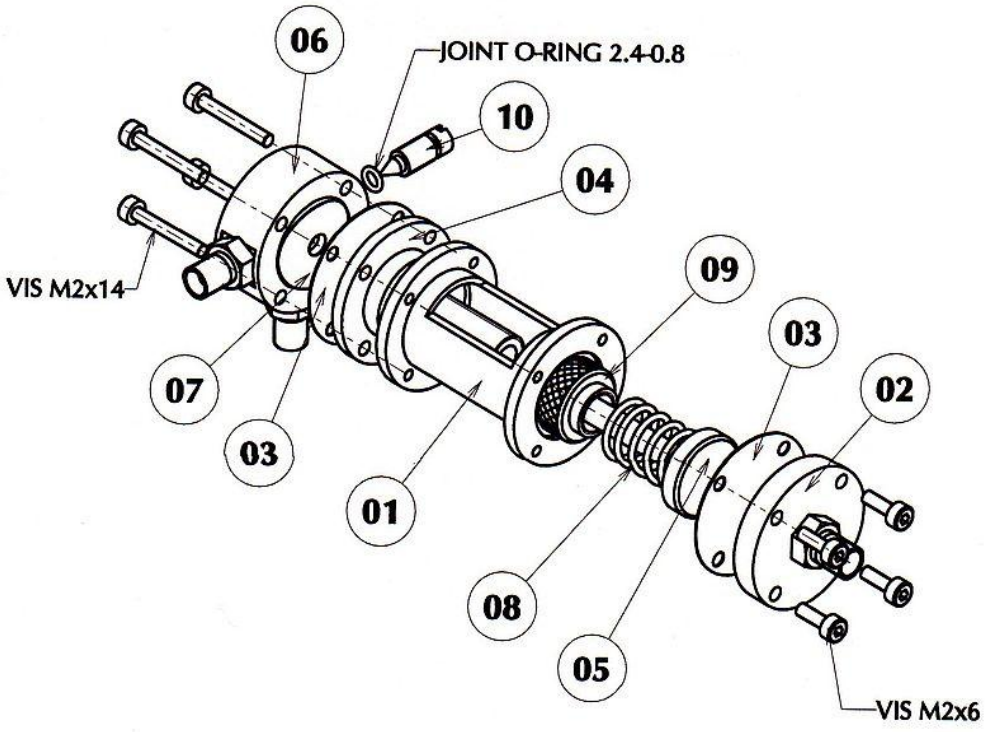


*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

14.2. Notes d'atelier

L'éclaté ci-dessous nous donne un aperçu de l'ensemble des pièces composant le régulateur. En voici la nomenclature :

01 Corps
02 Culasse coté vapeur
03 Membrane
04 Guide piston
05 Piston
06 Culasse coté gaz
07 1 Rondelle ressort
08 1 Ressort
09 1 Molette de réglage
10 1 Vis pointeau

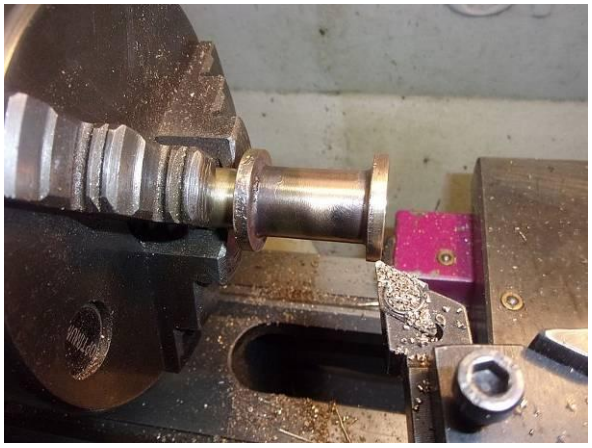


La réalisation de cet ensemble demande un travail soigné. L'ensemble des pièces sera réalisé en laiton sauf l'axe du piston en acier stub ou en inox usinable. La visserie en inox et les deux membranes en téflon.

Corps Rep. 01

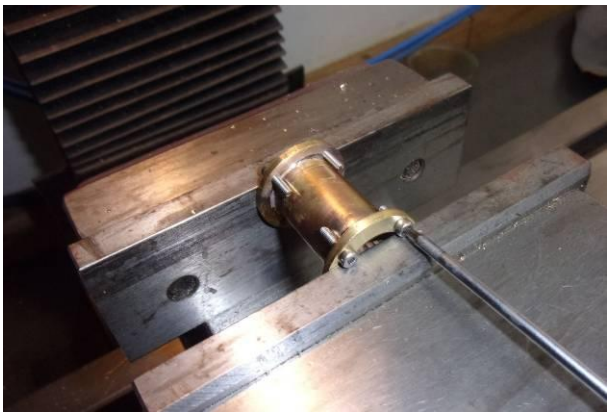
Il est présenté ici en trois éléments, mais peut être fait en monobloc. C'est un tube de laiton sur lequel nous venons braser deux flasques d'une épaisseur chacune de 3 mm. Après brasage, afin de maintenir plus confortablement la pièce en mandrin, le corps sera soudé à l'étain sur un jonc de laiton de diamètre 14 mm, comme montré sur la photo ci-après. Après mise à longueur, perçage des trous M2 sur plateau diviseur avec encore le jonc pour maintenir la pièce. Pour réaliser les ouvertures en fraisage, se servir des perçages pour le positionnement en étau.

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



Tournage des flasques.

Perçage des trous de fixation M2.



Positionnement en étau pour la réalisation des ouvertures.

Ressort Rep. 08

Le ressort sera réalisé en acier. Le calcul sera fonction de la pression de service de la chaudière. Dans le cas, par exemple d'une pression manométrique de 2 bars, la pression absolue sera de 3 bars soit une force de 30 N/cm², avec une surface de 1,5 cm² au niveau du piston, nous avons environ 45 N à compenser avec une course de 0,5 mm.

Nous pouvons faire une première approximation du calcul du diamètre du fil par la formule suivante :

$$d = \sqrt{\frac{8F2w^3}{G(0.3w-1)}}$$

w = D/d ce rapport, appelé rapport d'enroulement, permet de caractériser le ressort, entre 6 et 16. Nous prendrons 12.

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

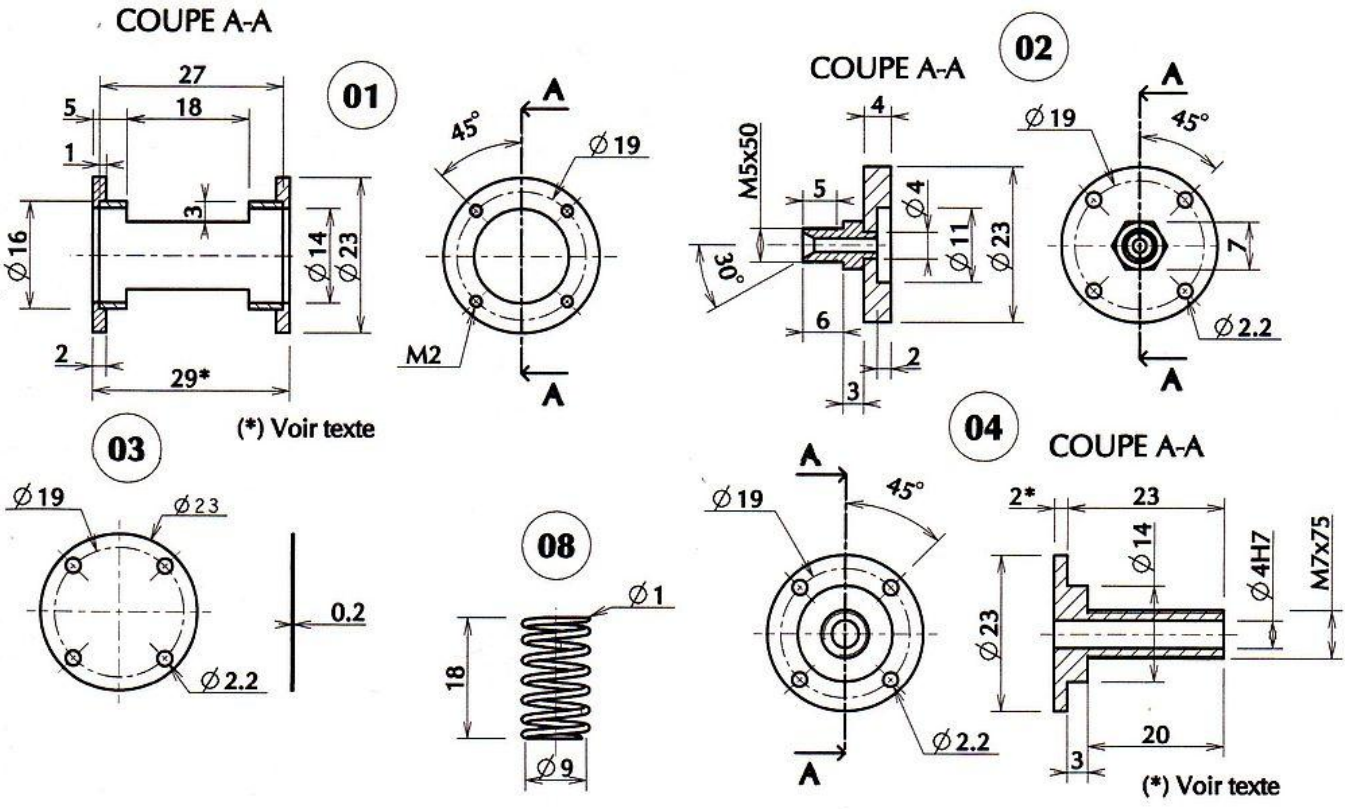
BRÛLEURS GAZ

G = 810000

F2 = 45 N

d = (8*45*10^3/81000/(0,3*12-1))^0,5 = 0,9 mm

Pour l'ensemble des calculs, voir la fiche technique ***FTe08***.



Piston Rep. 05

La tige du piston diamètre 4, est en acier stub brasé sur la tête du piston en laiton. Abattez l'angle par un rayon afin de ne pas endommager la membrane coté gaz. pour la cote de 31 *(* sur le plan)* montez le guide piston **04** dans le corps **01** et relevez la cote totale, la longueur du piston devra être identique.

Guide piston Rep. 04

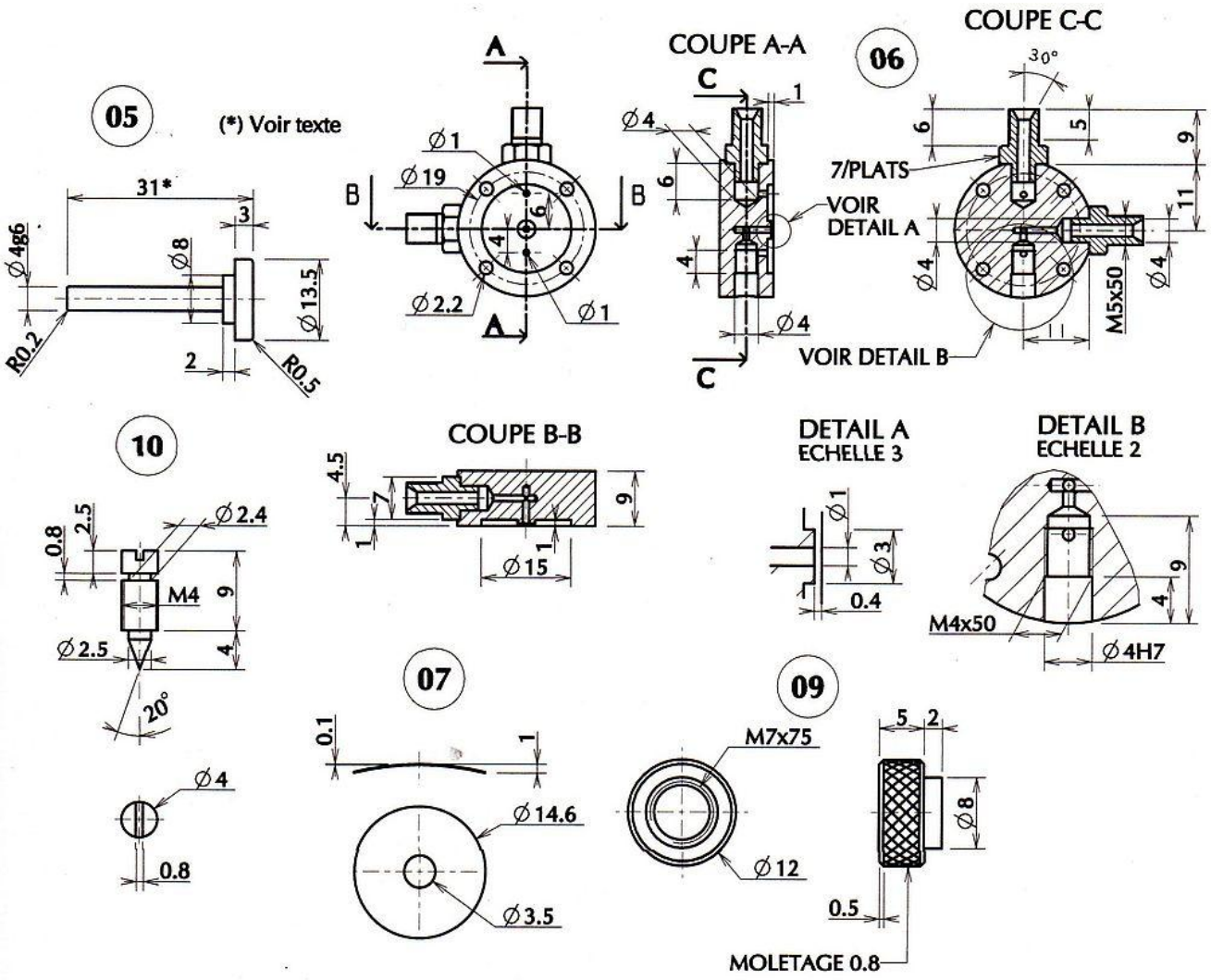
Réalisez la pièce sans démontage afin d'obtenir un équerrage parfait entre la face d'appui et le corps du guide et l'alésage diamètre 4H7.

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

FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10



Rondelle concave Rep. 07

Cette rondelle concave à pour but de repousser la membrane en téflon de la sortie du butane lorsque le piston recule, suite à une baisse de pression de la chaudière. Elle est réalisée dans du feuillard de 0,1 à 0,2 mm de laiton.

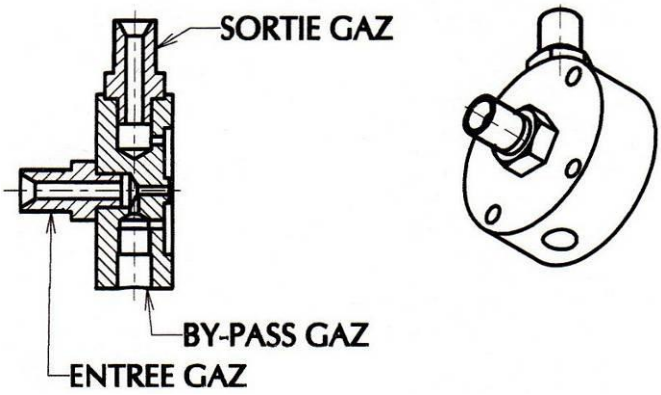
Pour la réalisation : soudez à l'étain un morceau de feuillard de 15 x 15 environ sur un jet de laiton dont la face aura été au préalablement dressée. Tournez la rondelle à un diamètre légèrement inférieur au diamètre du lamage de la culasse coté gaz Rep. **06**. Ensuite cintrez cette rondelle avec une flèche d'environ 1 mm.

Culasse coté gaz Rep. 06

Aucun problème particulier, c'est un ensemble de 3 pièces brasées, un corps en deux raccords. Pour le corps, après avoir tourné l'extérieur de la pièce, reprise sur plateau diviseur pour effectuer le lamage de dia 15x1 mm ainsi que l'ensemble des

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

perçages. Ensuite, se servir des trous diamètre 2,2 pour orienter la pièce en étau afin de réaliser les différents perçages en périphérie. En ce qui concerne l'orientation de l'entrée et la sortie gaz, nous vous proposons sur le plan une orientation permettant de placer le régulateur en position verticale. Mais libre à vous de placer le raccord d'entrée gaz en opposition de la sortie ou, plus généralement, sur la face arrière de la culasse comme montré sur le schéma ci-dessous.



14.3. Montage

Montez d'abord le coté butane en vissant à fond la vis pointeau de la veilleuse, soufflez par l'arrivée gaz et poussez avec votre doigt le piston, vous devez obturer le passage pour un enfoncement de l'ordre de 0,4 mm. Si vous relâchez le piston, le régulateur doit s'ouvrir, si ce n'est pas le cas, revoir la rondelle concave Rep. **07**. Ensuite montez la culasse du coté vapeur avec un joint téflon de 0,2 mm. Après installation dans le modèle, vérifiez à l'aide d'un produit moussant les fuites éventuelles.

14.4. Veilleuse

Elle est indispensable pour éviter de fermer complètement l'arrivée de gaz au brûleur.

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

15. VANNE DOUBLE DE RÉGULATION GAZ

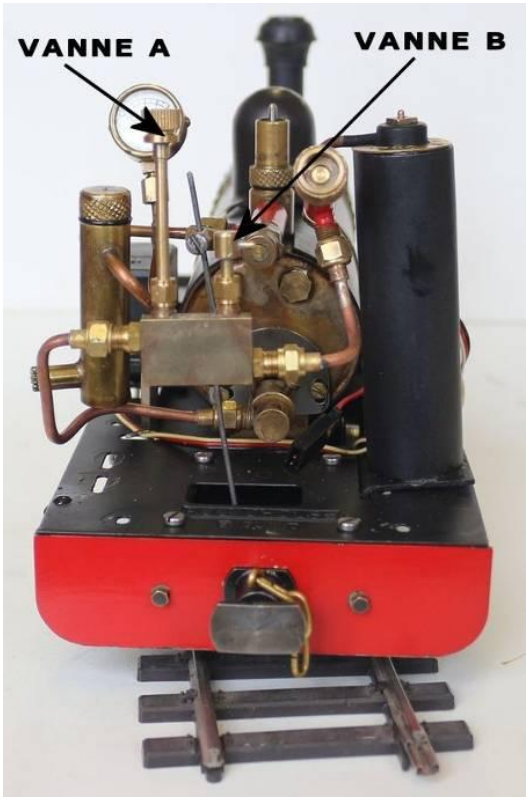
En fait, c'est une vanne double dans un corps commun. L'une d'elle est utilisée pour ajuster à un minimum le brûleur de la machine, l'autre pour ajuster au maximum le brûleur. Une évidence mais, lorsque les deux vannes sont fermées, le gaz ne passe plus.

Deux cas de figure :

- **Exemple 1 :** Nous désirons avoir une pleine puissance du brûleur au démarrage, lorsque l'on désire atteindre la puissance totale de la chaudière et un débit de gaz au brûleur plus bas lors du fonctionnement de la machine.
- **Exemple 2 :** Ou le contraire, dans le cas d'un soutirage en phase liquide, pour permettre, au démarrage d'avoir un minimum de débit au brûleur afin de préchauffer l'ensemble, et une pleine puissance lors du fonctionnement du modèle.

15.1. Exemple 1

Prenons le cas où la vanne de régulation gaz est montée sur la locomotive ROUNDHOUSE *Lady Anne*. Cette vanne est placée entre la vanne du réservoir de gaz et le brûleur.



*Sur cette photo ci-contre de la machine sans sa carrosserie, nous apercevons la vanne double avec les deux vannes de réglage, vanne **A** et vanne **B***

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

Configuration des vannes :

La vanne **A** permettra de passer le débit maxi de gaz au brûleur. La vanne **B** sera réglée de manière à obtenir une marche de croisière du modèle,

Pour la mise en route, la vanne du réservoir de gaz ainsi que la vanne **A** sont fermé. Ouvrir la vanne du réservoir de gaz, ouvrir la vanne **A** et allumer le brûleur. Une fois la machine en pression, fermer la vanne **A**. Le gaz passera par la vanne **B** au débit souhaité.

15.2. Exemple 2

Prenons le cas où la vanne de régulation gaz est installée sur l'ensemble moteur *Flash steam*. *(https://www.vapeur45.fr/autre-realisation-a-vapeur/moteur-a-vapeur-20b)*

Cette vanne est placée entre le robinet du réservoir de gaz et le serpentin de réchauffage gaz sur le brûleur.

Configuration des vannes :

La vanne **A** permettra de passer le débit maxi de gaz au brûleur. La vanne **B** sera réglée de manière à obtenir un débit mini de gaz au brûleur.

Pour la mise en route, la vanne du réservoir de gaz ainsi que la vanne **A** sont fermées. Ouvrir la vanne du réservoir de gaz, et allumer le brûleur, une petite flamme permettra de gazéifier le gaz qui arrive en état liquide. Progressivement, ouvrir la vanne **B** jusqu'au débit complet au brûleur.

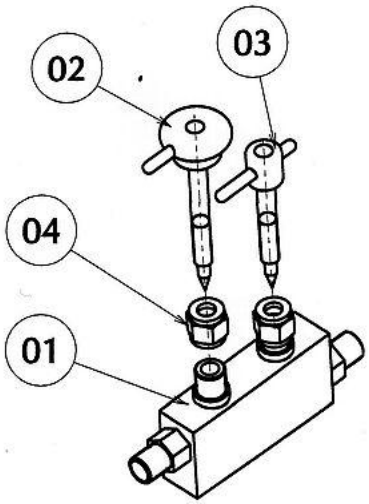
Vous trouverez le plan page suivante.

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

FICHE TECHNIQUE

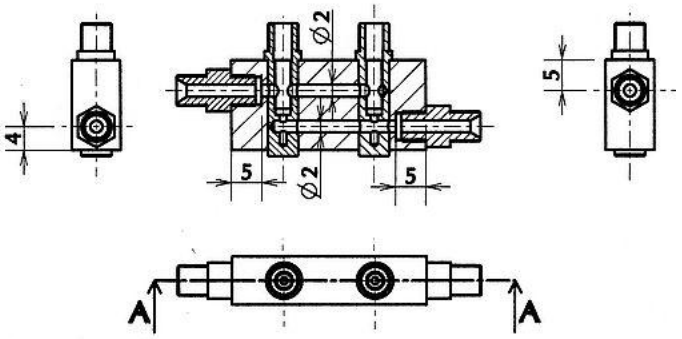
BRÛLEURS GAZ

FTe10

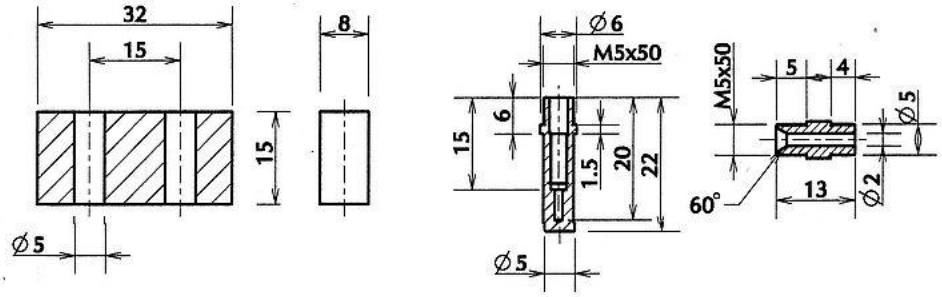


01

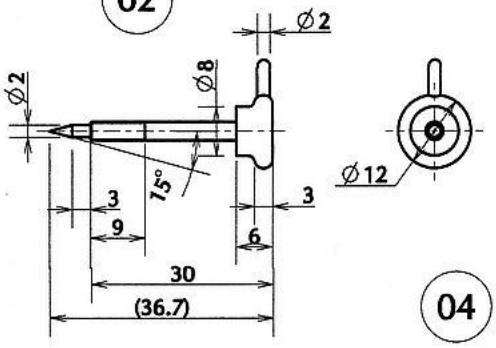
COUPE A-A



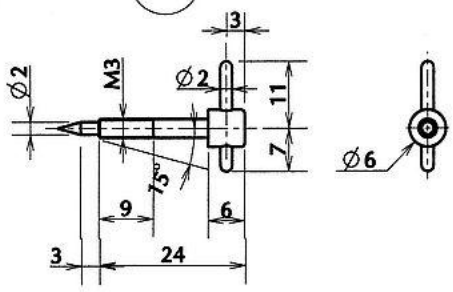
ELEMENTS DU CORPS



02

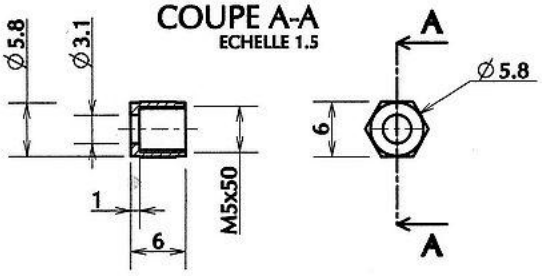


03



04

COUPE A-A
ECHELLE 1.5

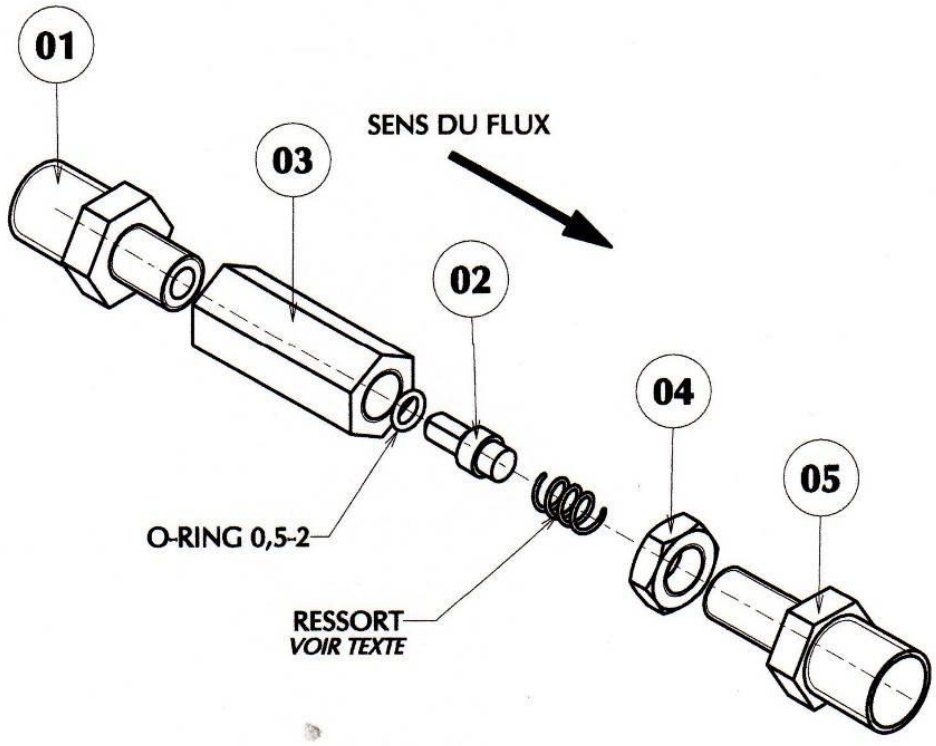


*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

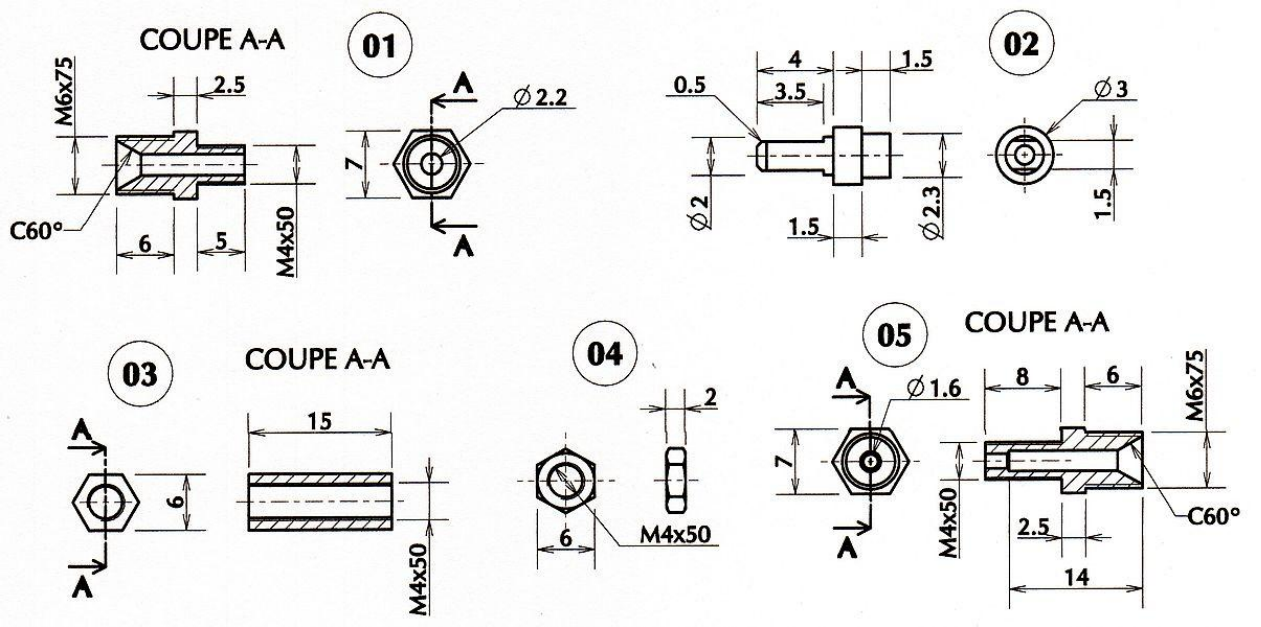
16. CLAPET ANTI RETOUR

Pour l'utilisation du gaz en phase liquide, il est impératif de placer un clapet anti retour entre le réservoir de gaz et le brûleur, ceci afin d'éviter une montée dangereuse de pression dans le réservoir. Nous vous proposons un clapet simple de réalisation. Les raccordements sont ici du M6x75 et la longueur hors raccordement est d'environ 25 mm. Pas de difficulté particulière pour la réalisation des pièces. Le ressort est en fil d'inox de 0.3 mm de diamètre avec un diamètre intérieur de 2.3 mm. Ces valeurs sont données à titre indicatif, le rôle de ce ressort est d'appliquer le joint O-Ring 0,5x2 *(diamètre du tore = 0.5 mm, diamètre intérieur = 2 mm)* sur la face d'appui du rep **01**.

La pièce Rep 05 avec l'écrou Rep **04** permettent de régler la pression du ressort. Pour le réglage; branchez une arrivée d'air comprimé à 0.5 bar dans le sens du flux, le gaz doit passer. En branchant le tube d'air comprimé dans le sens contraire au flux, le gaz ne doit pas passer.



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



17. DÉTENDEUR DE GAZ

Les détendeurs servent à réduire la pression d'une source de gaz (*bouteille ou canalisation*), à un niveau de pression qui permet d'utiliser le gaz en toute sécurité, à la pression requise au brûleur pour son bon fonctionnement. Un détendeur ne sert qu'à régler la pression : il **n'est pas destiné** à mesurer ni à régler le débit.

Pour mémoire, le détendeur sur votre bouteille de butane pour la cuisinière baisse la pression de la bouteille à 28 mbar pour le butane et 38 mbar pour le propane.

Il existe deux types de détendeurs : à simple détente et à double détente. Le détendeur à double détente est en fait deux détendeurs monté en série. Dans le cadre de nos modèles, nous appliquerons le principe du détendeur à simple détente.

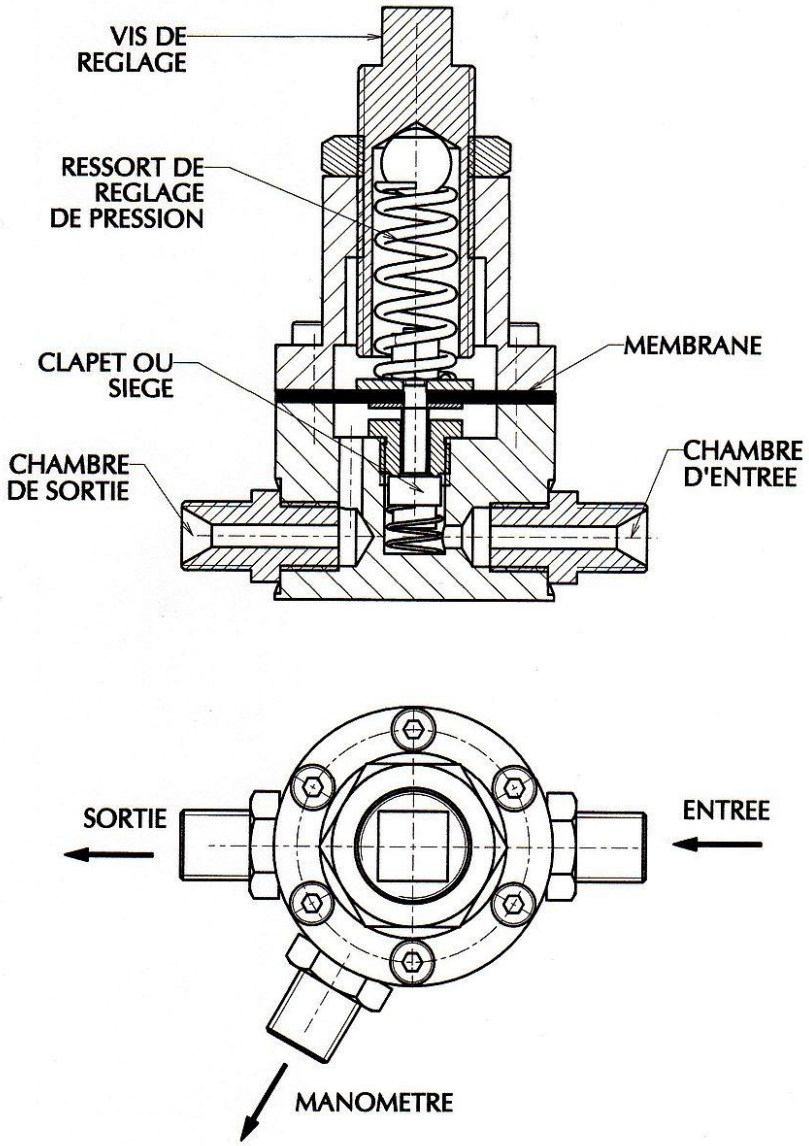
17.1. Principe de fonctionnement

Dans un détendeur à simple détente, le gaz pénètre dans la chambre d'entrée et sa pression est celle de du réservoir de gaz. En bout de chambre d'entrée, un clapet Rep. **12** empêche le gaz de poursuivre son chemin. La pression du gaz pousse le clapet contre son siège Rep. **11** ce qui assure une étanchéité parfaite. Le clapet constitue la séparation entre la chambre d'entrée et la chambre de sortie. Il est disposé de telle sorte qu'il vienne en contact avec une membrane flexible Rep. **08** se trouvant dans la chambre de sortie.

La membrane s'appuie sur un ressort Rep. **05** que l'on appelle ressort de réglage de pression. Le ressort est écrasé par une vis de réglage Rep. **03**. Il pousse la membrane qui actionne le clapet, ce qui ouvre le détendeur et permet au gaz de

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

s'écouler. Si le ressort est comprimé par la vis de réglage avec une "force" équivalente à 3 bars, par exemple, la membrane poussera le clapet de manière à permettre au gaz de pénétrer dans la chambre de sortie avec une pression de 3 bars. En s'aidant d'un manomètre installé dans la chambre de sortie et, en l'observant tout en faisant tourner le bouton de réglage du détenteur, la pression de sortie sera réglé à la pression désirée.

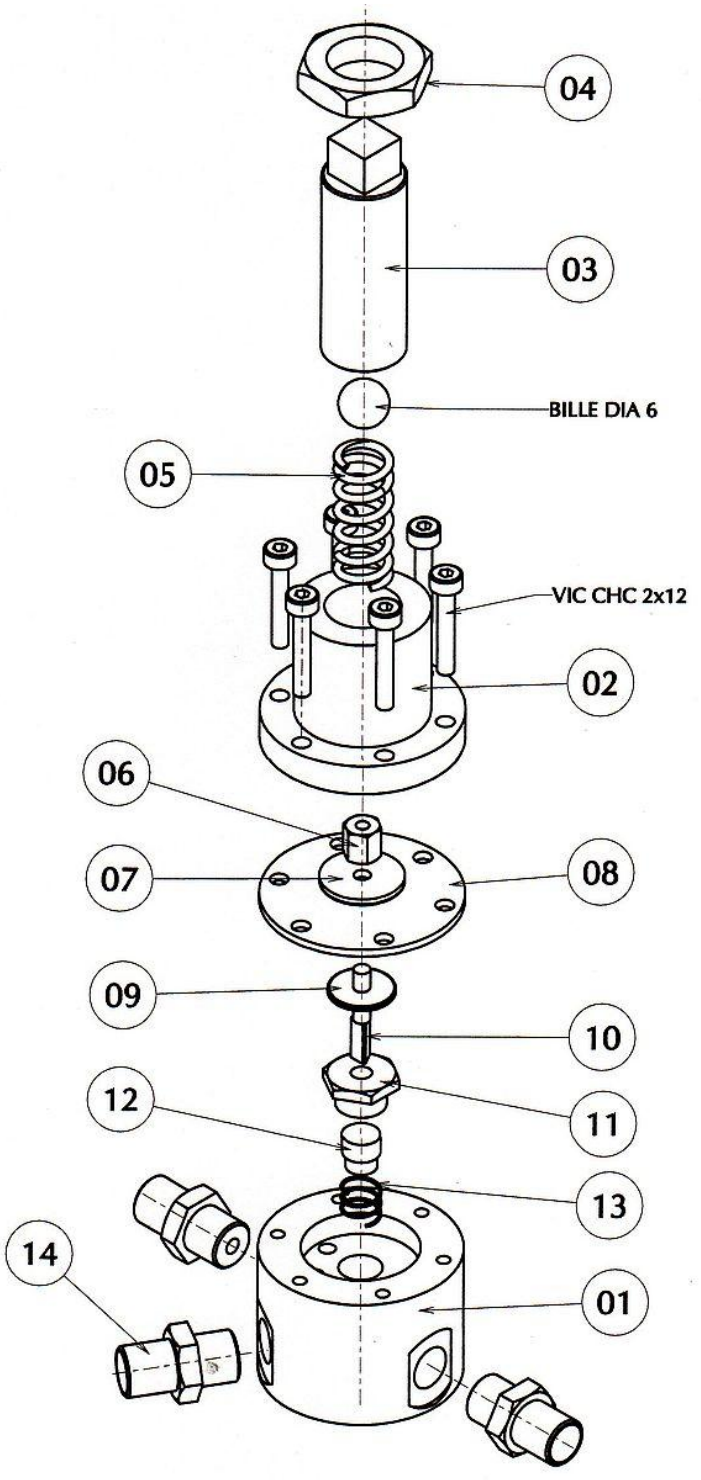


*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

17.2. Nomenclature

L'éclaté ci-dessous nous donne un aperçu de l'ensemble des pièces composant le détendeur. En voici la nomenclature :

01	Corps inférieur du détendeur
02	Corps supérieur du détendeur
03	Vis de réglage
04	Contre écrou
05	Ressort réglage de pression
06	Contre écrou
07	rondelle dessus membrane
08	Membrane
09	Rondelle dessous membrane
10	Pivot
11	Siège dessus clapet
12	Clapet
13	Ressort



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

17.3. Avantages du détendeur de gaz

- Le régulateur apporte un meilleur contrôle du brûleur qui travaille à pression quasi constante. La consommation de gaz est donc mieux maîtrisée.
- Le détendeur permettra d'atténuer les variations de pression d'entrée dues au refroidissement du tank lors du soutirage.
- La construction en est assez simple, la partie la plus délicate étant le clapet.

17.4. Notes d'atelier

La réalisation de cet ensemble demande un travail soigné. Les pièces Rep. **01** et **02** seront réalisés en aluminium, les autres pièces en laiton, la visserie en inox et la membrane Rep.**08** ainsi que le clapet Rep.**12** en Nitrile.

Note sur le nitrile :

Le GPL n'est absolument pas corrosif et n'attaque pas les métaux mais il dilue les graisses et le caoutchouc naturel. Le Nitrile est un "caoutchouc" synthétique et non naturel. Il résistera mieux aux conditions dans lesquelles on l'emploie et conservera son élasticité (*donc son étanchéité*) plus longtemps. De toute façon vous vous reporterez à la notice du fabricant. Nous recommandons de cibler votre approvisionnement chez des industriels européens et non du tout venant importé de Chine

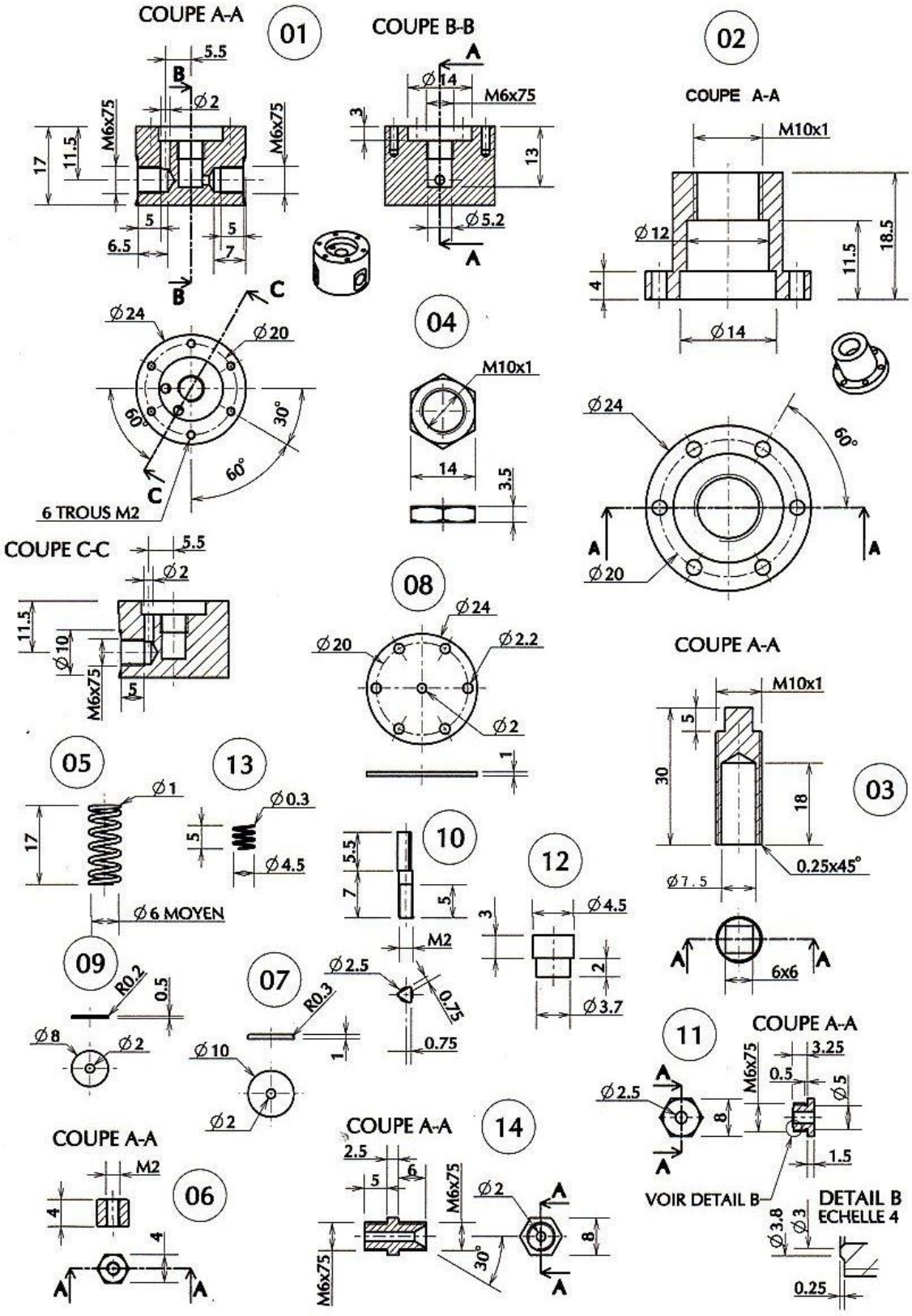
Nous avons vu que dans la réalisation, la partie la plus délicate étant le clapet Rep. **12**. Clapet qui sera réalisé également en Nitrile. Nous avons opté pour un empilement de rondelles découpé à l'emporte pièce sur une plaque de 1 mm d'épaisseur. Ces rondelles sont collées l'une à l'autre avec une colle pour caoutchouc.

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

FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10



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

FICHE TECHNIQUE

BRÛLEURS GAZ

FTe10

*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Vous pouvez l'imprimer, le sauvegarder pour votre usage personnel. Tout autre usage est soumis à autorisation express. Les photos sont la propriété des auteurs. Toute reproduction et/ou diffusion de ce document et des illustrations qu'il contient, partielle ou complète, quelque soit le support de diffusion ou le procédé est prohibée.*

*Le contenu du document est fourni par **VAPEUR 45** à titre d'information et ne peut lui être opposable pour quelque préjudice que ce soit.*

Crédit photos et plans : Patrick et Robert

Réalisation ROCHART Robert & LECLERE Patrick

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