1. PARLONS PLOMBERIE

Pour faire simple nous appellerons " plomberie" tout ce qui tourne autour des équipements eau et vapeur, hors chaudière, mais en y incluant la tuyauterie. C'est une part importante du temps à passer sur le modèle et, pour certains modélistes, ce n'est pas la part la plus appréciée du travail.

Et pourtant, des accessoires grossièrement hors d'échelle, des tuyaux mal cintrés et au parcours incertain ruinent à coup sûr l'esthétique d'un modèle qui serait par ailleurs parfaitement réalisé mécaniquement avec de la tôlerie finement ajustée.

Dans les chapitres qui suivent nous vous proposons une approche pratique de cette partie de la réalisation du modèle, approche basée sur plus de vingt ans de modélisme vapeur. Ce document va aborder les points suivants :

1. Parlons plomberie 1
2. Quelques remarques préliminaires 1
3. Calorifugeage 3
4. Dimensionnement des tubes 3
5. Tuyauteries 4
6. Raccord démontable par olive et écrou 5
7. Raccord démontable par brides 8
8. Raccord sur bâti 10
9. Raccord union à visser 12
10. Raccord union à souder 12
11. Mamelon pour virole 13
12. Té à visser 13
13. Virole 13
14. Raccord banjo 14
15. Siphon de manomètre 15
16. RaccordS spéciaux 16
17. Cintrage des tubes 18
18. Réalisation des galets 28
19. Cintrage par gabarit 30
20. Appareil à redresser les tubes 32

A chaque fois vous trouverez des tableaux de cotes, des plans d'exécution, des notes d'atelier pour leur fabrication, en y ajoutant les quelques outillages et gabarits utiles.

Selon l'adage que la pratique rend expert nous conseillons à nos adhérents d'usiner de petites séries de ces équipements en particulier tout ce qui concerne la tuyauterie.

2. QUELQUES REMARQUES PRELIMINAIRES

2.1. Standardisation

Standardiser est possible car nous évoluons dans un domaine d'échelles assez proches, du 1:20 au 1:32. Par ailleurs nous sommes plus orientés vers des semi-maquettes fonctionnant efficacement à la vapeur vive. L'usage de la vapeur vive et des moyens d'usinages amateurs imposent des contraintes techniques incompatibles avec le sur-détaillage.

*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'absence de détaillage exact, à l'échelle, permet donc d'envisager des accessoires standards, d'ailleurs les fabricants industriels de matériel à vapeur vive pratiquent de la même façon.
Pour nous la standardisation n'est pas un carcan étouffant, elle se réduit en fait à assez peu de contraintes et beaucoup d'avantages en retour, comme des pièces interchangeables et toujours disponibles.
Par exemple pour la tuyauterie nous allons utiliser exclusivement du tube cuivre recuit de 1x2 (pour le siphon du manomètre), 2x3 ou 3x4. Pour les filetages des accessoires ce seront des filières et tarauds à pas métrique fin courant comme le (M4x50), M5x50, M6x75, M8x75, M10x1.

2.2. Effet d'échelle

Pour dimensionner nos équipements on s'appuie bien souvent sur des données et des formules venues du monde industriel. Or les lois qui régissent les phénomènes physiques ne sont pas linéaires, autrement dit ne respectent pas les règles de la proportionnalité sur les dimensions. Plus les dimensions diminuent plus des effets négligeables à grande échelle peuvent prendre de l'importance (non linéarité), voire de nouveaux comportements physiques peuvent apparaître.
Donc prudence à ce sujet, il vaut mieux partir de ce qui est connu et de ce qui a fait ses preuves sur le terrain plutôt que de vouloir tout calculer à partir de formules dont ce n'est pas le domaine de validité.

2.3. Lien entre température, pression, volume

Dans le cas des gaz, dont fait partie la vapeur d'eau, les valeurs de la pression, de la

P mano (Bars)	**2**	**3**	**3.5**	**4**	**4.5**	**5**	**5.5**	**6**
P absolue (bars A)	*3*	*4*	*4.5*	*5*	*5.5*	*6*	*6.5*	*7*
T sat (°C)	133.5	143.6	147.9	151.8	155.5	158.8	162	165
Masse volumique (Kg/m3)	1.65	2.16	2.42	2.67	2.92	3.17	3.42	3.67

température et du volume sont liées entre elles par une formule du type :

Pression x Volume = constante x Température

Dans notre cas le volume est fixe, ou sinon on a une fuite. Donc, si la pression varie la température aussi et vice versa. Si, à volume constant, la température baisse alors la pression baisse et on va finir par condenser. Si, à volume constant, la pression augmente alors la température va augmenter.

La vapeur saturante ou vapeur humide est de la vapeur qui contient de fines particules d'eau car on est juste à l'équilibre de la vaporisation. Par exemple c'est le cas de la casserole d'eau bouillante à 100°C à la pression atmosphérique. Une faible variation de pression ou de température peuvent amener à une condensation massive.
Il faudra essayer de produire de la vapeur sèche (surchauffée) vers 2 à 3 bars. La vapeur sèche ne contenant plus de gouttelettes d'eau en aérosol elle est un excellent isolant comme le sont les gaz en général.

*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***

2.4. Pertes de charge dans une tuyauterie

Les pertes de charges sont assimilables à de la dissipation d'énergie par frottement. On exprime les pertes de charges comme l'équivalent d'une perte de pression. Les pertes de charge vont avoir des conséquences sur le débit-volume de vapeur et éventuellement sur la condensation. Imaginez que vous fassiez du VTT sur une large piste forestière ou sur un petit sentier plein d'obstacle avec des changements brusques de direction. Sur lequel allez-vous rouler le plus vite et dépenser le moins d'énergie ? Il en va de même pour la circulation de la vapeur.

Nous n'entrerons pas dans la mécanique des fluides, mais sachons simplement que tous les accidents de parcours entraînent une augmentation notable des pertes de charge. On peut traduire ces pertes de charge en équivalent de longueurs droites de tuyauterie. Pour faire simple, voici quelques ordres de grandeur :

- Un coude à 90° est équivalant à 400 mm de tube.
- Un robinet à 150 mm de tube.
- Un raccord en T à 300 mm de tube.

Pour définir la perte de charge d'un circuit, dans notre pratique, nous pouvons l'estimer à 0.3 bar par mètre théorique de tuyauterie. C'est à dire, qu'une tuyauterie de 450 mm entre la chaudière et le moteur avec 4 coudes à 90° plus un robinet, donnera une longueur totale de calcul de perte de charge de 2.2 m, soit une perte de charge de 0.66 bar. Si par exemple notre manomètre indique 4 bars, au moteur il ne restera que 3.3 bars.

Il faut donc :

- Définir le chemin le plus court et le moins perturbé en pensant quand même à l'accessibilité et au démontage.
- Cintrer à grand rayon
- Eliminer le plus possible les dérivations à angle droit
- Eliminer les changements brutaux de section de passage.

3. CALORIFUGEAGE

Le modéliste, comme l'industriel, a fortement intérêt à calorifuger ses conduits de vapeur. Néanmoins, si nous avons de la vapeur surchauffée (+10 à 20 °C de surchauffe) on n'a pas de souci sur les courtes distances qui sont les nôtres. Si la vapeur est tout juste sèche, alors c'est prudent de prévoir un calorifugeage. Mais le plus gros des pertes provient des accessoires, vannes, soupape, manomètre, jauge à eau, sifflet, régulateur .... Lorsque la vapeur est saturante, là de toute façon c'est un combat perdu d'avance.
Dans un souci d'esthétique autant que d'efficacité énergétique, voici comment nous procédons pour le calorifugeage. Nous utilisons un cordon de coton tressé d'un diamètre de 1.5 à 2 mm que nous enroulons à spires jointives autour du tube, sans trop serrer afin de conserver les micro-volumes d'air. Les extrémités sont collées à la cyanoacrylate et, afin d'éviter les nœuds et d'obtenir un bel effet, on enroule ensuite par dessus une bande de Téflon de 0,1 mm d'épaisseur.

4. DIMENSIONNEMENT DES TUBES

La base de dimensionnement de la tuyauterie est le volume de vapeur véhiculé par rapport à la section. Les vitesses industrielles raisonnables vont de :

- 25 à 40 m/s pour l'alimentation en vapeur humide.
- 40 à 60 m/s pour l'alimentation en vapeur surchauffée.
- 15 à 20 m/s pour l'échappement.

*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***

Mais ces valeurs doivent être considérées comme maximales au-delà desquelles pertes de charges, vibrations, bruit et érosion interviennent. Il ne faut pas non plus augmenter exagérément le diamètre de passage car, la vapeur séjournant plus longtemps dans le tube aura pour effet, des pertes thermiques.
Le diamètre se calcule par la formule suivante :

$$D = \sqrt{\frac{Q \times 0.0212}{V}}$$

D : Diamètre du tube en mm
V : Vitesse du fluide m/s
Q : Débit exprimé en cm3/mn

Exemple :
Soit un moteur vapeur de 5 cm3, ayant une fréquence de rotation de 1200 t/mn, sans surchauffe, une admission vapeur de 30 m/s et 15 m/s en échappement.

Nous obtenons comme Débit Q = 5 x 1200 soit 6000 cm3/mn
Par la formule nous obtenons un diamètre utile intérieur de 2 mm pour l'admission et 3 pour l'échappement.

Dans la pratique on voit qu'un tube de diamètre 2 mm intérieur fera l'affaire dans pratiquement toutes les situations. Il n'est pas très difficile à se procurer, en particulier chez les frigoristes.

5. TUYAUTERIES

Nous utilisons presque exclusivement du tube cuivre recuit de diamètre 1x2 mm, 2x3 mm ou 3x4 mm. Si le tube est livré écroui (rigide) il suffit de le chauffer au rouge sombre à l'aide d'une torche à gaz pour la plomberie puis le laisser refroidir à l'air. Une fois recuit le tube se façonne facilement. S'il venait à s'écrouir de nouveau on le recuirait.

Tout le circuit vapeur, y compris l'échappement, sera brasé à l'argent. En effet la brasure « douce » à l'étain commence à se ramollir vers 120°C et de mauvaises surprises vous attendent en cas de fonctionnement un peu prolongé sur circuit. Les pièces étant de très petite taille un équipement modeste constitué de quelques briques réfractaires et d'une torche de plomberie au butane de 60 ou 100 g/h, est suffisant. Utilisez des baguettes de soudure à base de 40% d'argent et de diamètre 1 mm. Par contre pour éviter les galères nous recommandons d'utiliser le flux spécifié par le fabricant. Attention de ne pas fondre le laiton, la température de fusion étant plus basse que celle du cuivre.

Voir notice sur la brasure **FPe12 :**
http://vapeur45.fr/images/stories/vapeur45/Notices_Fiches_techniques/FPeXX/FPe12__BRASAGE_05-2019.pdf

*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***

Etapes de réalisation :

1. Préparer la zone de brasage
2. Décaper la zone à braser. Appliquer le flux.
3. Braser le cuivre
4. Vérifier l'étanchéité de la brasure

Après complet refroidissement nettoyer la pièce dans un bain d'acide faible. On peut trouver du sel décapant en sachet et à diluer. Porter des équipements de sécurité, à minima lunettes et gants nitrile. Pour le nettoyage des pièces, nous les plongeons dans une solution d'acide sulfurique du commerce et dilué de 5 à 10 fois son volume.

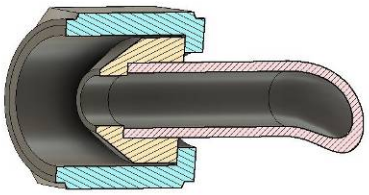
Le raccordement peut être réalisé :

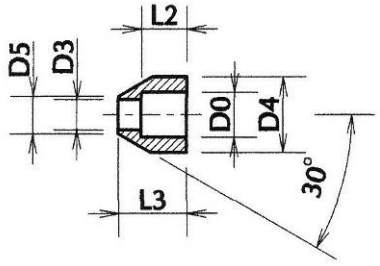
- Directement par brasure, par exemple sur les lumières d'admission ou d'échappement d'un moteur. On réservera cependant cette solution lorsqu'il y a vraiment trop peu de place et qu'aucun démontage n'est à prévoir. On l'utilisera aussi pour rabouter deux tubes avec un manchon droit usiné pour les besoins.
- Indirect par olive et écrou

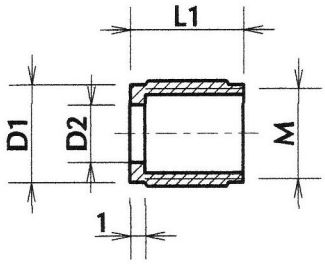
6. RACCORD DEMONTABLE PAR OLIVE ET ECROU

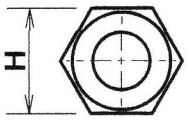
6.1. Raccord par écrou et olive type « téton »

Ce raccord qui a notre préférence se compose du tube, de l'écrou et de l'olive de raccordement qui assure l'étanchéité par appui conique. L'écrou est généralement taraudé en M5x50 ou M6x75. Il va être vissé sur une pièce mâle. Un avantage de ce type d'olive, est d'avoir un rayon de tuyauterie relativement près du raccord.









** Largement utilisé sur les machines dites fine scale, machines ayants des normes de reproduction plus proches de la réalité, l'usinage des olives de cette dimension demande une certaine maitrise des*

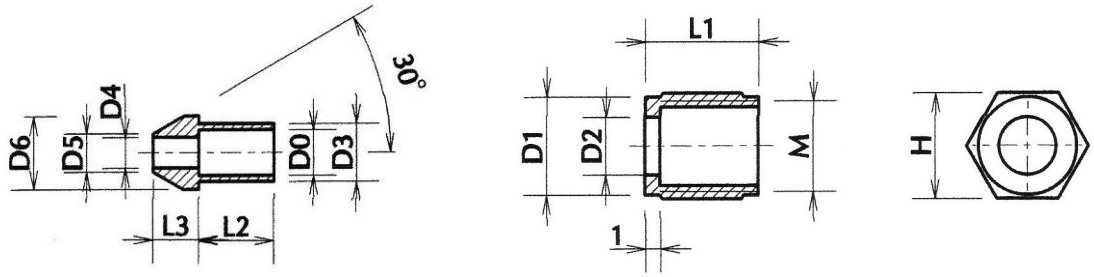
Dia tube D0	M	Dp	H	D1	D2	D3	D4	D5	L1	L2	L3
3*	5x50	4.5	6	5.5	3.4	2	4	2.5	8.5	3	5
3	6x75	5.2	7	6.5	3.8	2	5	2.5	8	3	4.5
4	6x75	5.2	7	6.5	4.5	3	5	3.7	8.5	3	4.5

*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***

outils.
***Dp** = diamètre de perçage avant taraudage*
***D3** = Fonction épaisseur du tube*

6.2. Raccord par écrou et olive type « manchon »

Ce raccord permet une plus grande large gamme de tuyauterie, allant du diamètre 2 au diamètre 6.



***Dp** = diamètre de perçage avant taraudage*
***D4** = Fonction épaisseur du tube*

Dia tube D0	M	Dp	H	D1	D2	D3	D4	D5	D6	L1	L2	L3
2	5x50	4.5	6	5.5	3.2	2.6	1	2	4	6.5	4.5	2
3	6x75	5.2	7	6.5	4.2	3.8	2	2.5	5	7.5	5	3
4	6x75	5.2	7	6.5	4.8	4.4	3	3.7	5	7.5	6	4
5	8x75	7.2	10	9	6.5	5.8	3	4	7	8	6	4.5
6	10x1	9	12	11	7.8	7.2	4	4.5	8.5	10	8	4.5

Dans le cas d'une intervention sur une machine Anglaise, il est toujours intéressant de connaitre la normalisation des filetages tpi (Threads per inch) pour les olives et écrous. Nous vous donnons ici les dimensions utilisées par les principaux constructeurs anglais au pas de 40tpi ou filets par pouce. Pour tarauder à 40 filets au pouce, il faut retrancher 6/10^{e} de mm au diamètre du taraudage voulu.
***Dp** = diamètre de perçage avant taraudage*
***D4** = Fonction épaisseur du tube*

Dia tube D0	M	Dp	H	D1	D2	D3	D4	D5	D6	L1	L2	L3
3/32 2.4	3/16''x40	4.2	6	5.5	3.2	2.8	1.6	2	4	6.5	4.5	2
1/8'' 3.2	1/4''x40	5.7	8	6.5	4.2	3.8	2.2	2.5	5.3	7.5	5	3
5/32'' 4.1	1/4''x40	5.7	8	6.5	5	4.5	3	3.7	5.3	7.5	6	4

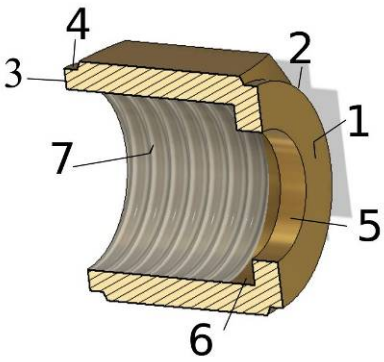
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

6.3. Note d'atelier

Le système se compose d'une olive brasée à l'argent sur le tube et d'un écrou. L'écrou vient plaquer l'olive sur une portée usinée dans la pièce sur laquelle il se visse. L'angle de cône est pris égal à 60°.

6.3.1 Ecrou

Sauf pour le filetage au pas métrique fin, l'usinage ne présente pas de difficultés particulières. Prenons l'exemple d'un écrou de M6x75.



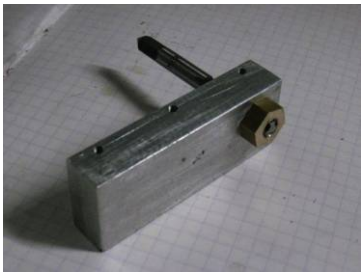
Les usinages 2 et 4 des bossages n'ont pas de vocation fonctionnelle. Ils améliorent l'esthétique finale.

1. Dressage de la face
2. Usinage du bossage avec un outil pelle.
Tronçonnage à la cote théorique + 0,5mm
3. Retournement-reprise en mandrin- Dressage et mise à la cote définitive de **L1**
4. Usinage bossage
5. Perçage traversant à **D2**
6. Avant-trou à **Dp** pour taraudage-Aplanissement du fond de perçage avec une fraise à coupe au centre.
7. Avec une fraise à chanfreiner à 45° usinage d'un cône d'entrée. Taraudage. Les tarauds à main ont un cône d'entrée très long. Il faut le réduire par meulage pour n'en laisser que 0,5 - 0,8 mm. On utilise un petit dispositif décrit plus loin qui assure une bonne exécution.

Remarque :
Comme on aura à usiner de petites séries d'écrous cela vaut la peine de se fabriquer dans de l'acier d'outillage un foret plat de D = 5.2 mm, appelé D-bit dans les pays anglo-saxons. On le concevra avec un épaulement permettant de percer à la bonne profondeur sans avoir à mesurer. En voici deux exemples. Leur fabrication est largement décrite sur Internet.

http://www.stubmandrel.co.uk/workshop/29-d-bits
D-bits fabriqués dans de l'acier d'outillage et trempés
D-Bits meulés dans des ronds en HSS *(source Tracy tools)*

6.3.2 Outillage pour le meulage du taraud

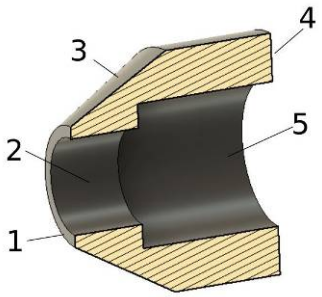


Il se compose d'un plat en alu percé et taraudé et d'un écrou de blocage. On règle le dispositif de façon à ce qu'il ne dépasse que de moins de 1mm du cône d'entrée du taraud. De cette façon la face avant du taraud sera perpendiculaire à son axe.

*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. Olive type « Téton »

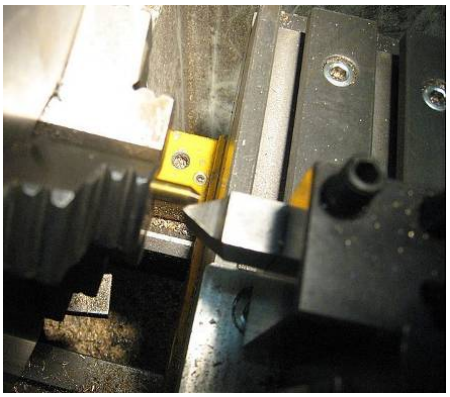
La difficulté de cette pièce tient essentiellement à sa très petite dimension qui complique un peu la prise en pinces. La très petite dimension de cette pièce est dictée par le manque de place lié à l'échelle que nous pratiquons. Par ailleurs la « plomberie » est un critère esthétique majeur sur lequel notre regard s'attache. Ainsi des écrous prisonniers trop longs et trop massifs détruiraient l'équilibre esthétique de la machine.



6.4.1 Note d'atelier

1. Dressage
2. Perçage traversant **D4**
3. Usinage du cône
4. Tronçonnage-Reprise en mandrin à pince- Dressage et mise à la longueur finale **L3**
5. Perçage à **Dp** avec une fraise à coupe au centre.

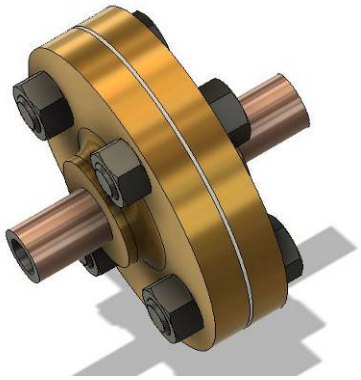
Remarques :



- Si vous avez approvisionné du tube d'origine anglaise et qu'il a un diamètre extérieur de 1/8'' (3,2mm), de notre point de vue il est préférable de réduire le diamètre du tube à 3.0 mm sur la longueur qui s'insère dans le téton plutôt que percer à D = 3,2 mm
- Le cône peut s'usiner de manière traditionnelle par inclinaison du petit chariot ou compte tenu de sa très petite taille avec un outil à fileter comme montré sur la photo ci-contre.

7. RACCORD DEMONTABLE PAR BRIDES

La bride plate à souder est sans aucun doute le type de bride le plus couramment utilisé dans l'industrie. Afin d'être au plus près de la réalité, nous vous proposons une normalisation de brides pour tubes de 3 à 6 mm.
Un ensemble bride est constitué de deux brides, d'un joint téflon et d'un ensemble de boulons.
Le schéma d'ensemble ci-dessous représente la disposition schématique et non le nombre exact de trous. Le nombre réel est indiqué dans le Tableau par **N**.
Pour garantir l'étanchéité de l'assemblage, les brides devront être convenablement alignées avant la mise en place des boulons.



Nous conseillons de fabriquer de petites séries avec quelques gabarits assurant la répétabilité de l'usinage. Rappelons que la face interne de la bride est la face de référence et on s'appliquera à obtenir la meilleure perpendicularité possible entre cette face interne et

*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'axe de perçage de **D0** et **D1**. Pour l'usinage de la face arrière on aura intérêt à fabriquer un mandrin de reprise. Le point un peu délicat est le perçage précis des trous des boulons sur un diamètre directeur **D5** parfaitement concentrique à l'axe de **D0**-**D1**.

7.1. Note d'atelier

L'ensemble des pièces sera réalisé en laiton. L'utilisation de visserie inox est acceptable et donne une esthétique agréable.

Le décolletage de la bride ne présente pas de difficultés particulières. On partira d'un rond laiton d'un diamètre légèrement supérieur à **D3**. On commence par la fabrication des ébauches.

1. Mise au diamètre **D3** du rond sur la longueur(1) nécessaire à la série.
2. Dressage de la face interne de la bride (face de référence). Ebavurage. Pointage au foret à centrer. Perçage du trou **D1** sur une profondeur E2+1 mm environ.
3. Tronçonnage.

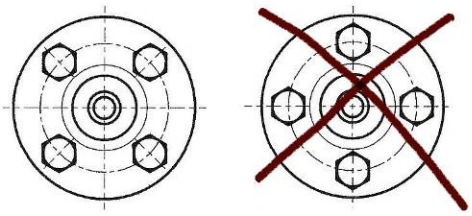
Réitérer en 2 suivant le nombre d'ébauches à obtenir.

4. Mise en place de l'outillage de reprise sur pince ER ou mandrin 3 mors. Contrôle de sa concentricité. Placement de l'ébauche. Dressage et mise à la cote d'épaisseur **E2**
5. Perçage de trou borgne D0 sur profondeur **P1**. On utilise le plus souvent une fraise à coupe au centre pour obtenir un trou à fond plat. Usinage de l'épaulement D2 sur la profondeur **E2** – **E1**. Ne pas négliger le rayon **R1** qui améliore l'esthétique finale. Le rayon **R1** pourra être usiné via un outil de forme meulé dans un barreau HSS ou plus simplement avec une lime ronde pour affûter les chaînes de tronçonneuses.

La difficulté réside maintenant dans le perçage des trous des boulons. Nous réalisons cet usinage sur fraiseuse. En effet, une erreur de coaxialité des perçages par rapport à l'axe de la bride entraînera un désaxage des deux brides. Dans le cas où vous n'êtes pas certain de la coaxialité des perçages, vous avez trois solutions :

- **A.** Perçage sur une bride des trous par plateau diviseur ou par compas, réglet et pointe à tracer. Montage des deux brides avec une pige diamètre **D1** afin d'obtenir la coaxialité, indexation des deux brides et contre perçage de la deuxième bride.
- **B.** Perçage sur les brides des trous par plateau diviseur ou par compas, réglet et pointe à tracer, en ayant pris soin d'usiner le diamètre **D3** à +1mm. Assembler les deux brides avec boulons, indexation des deux brides. Montage sur une pige de diamètre **D1** avec écrous et rondelles et ré-usinage des deux brides à la cote **D3**.
- **C.** Réalisation d'un outillage avec un gabarit de perçage.

Pour le brasage sur la tuyauterie, apparier les deux brides sans joint avec deux boulons, de manière à obtenir le parallélisme des deux brides. Placer les tubes de cuivre ou laiton en appui dans les trous borgnes. Les brides seront obligatoirement montées au "carré", c'est-à-dire, les trous en dehors de l'axe vertical de la canalisation (comme dans l'industrie).



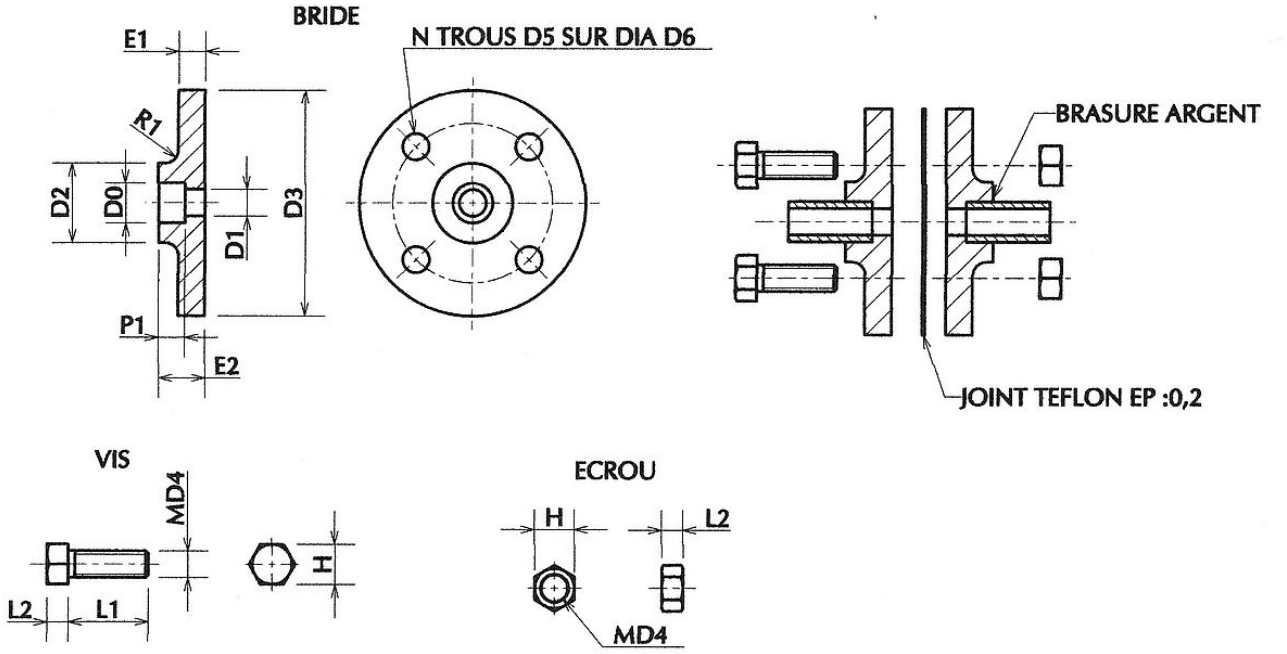
*(1) Attention au porte à faux qui ne doit pas dépasser L= 4*D3*

*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***

Procéder au brasage des brides, le trou borgne empêchera alors la brasure de fuser entre les brides.

Attention : la brasure ira là où le métal chauffé aura reçu le flux décapant, donc veiller à ne faire baver le flux ni sur **D1** ni sur la face avant des brides.

Le joint Téflon peut être remplacé par du papier huilé ou par de la pâte à joint silicone pour moteur. La pâte à joint est d'application rapide et produit un joint fiable mais l'inconvénient sera le démontage qui sera plus laborieux qu'avec un joint.



Dia tube D0	D1	D2	D3	D4	D5	D6	E1	E2	H	L1	L2	P1	N
3	2	6	17	2	2.2	12	2	3.5	3	6	2	3	4
4	3	6	17	2	2.2	12	2	3.5	3	6	2	3	4
5	4	7	19	2.5	2.7	14	2.5	4	4	8	2.5	4	4
6	5	8	21	2.5	2.7	16	2.5	4.5	4	8	2.5	4	6

8. RACCORD SUR BATI

Dans le cas d'un raccordement d'une tuyauterie sur un châssis ou un bâti moteur, si la place entre ce bâti et le reste de la machine est trop réduite pour y mettre un raccord mâle/mâle plus le raccord à olive, il est possible de raccorder directement le tube par l'intermédiaire d'une olive et d'un écrou. L'étanchéité est réalisée directement par l'olive sur le cône 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***

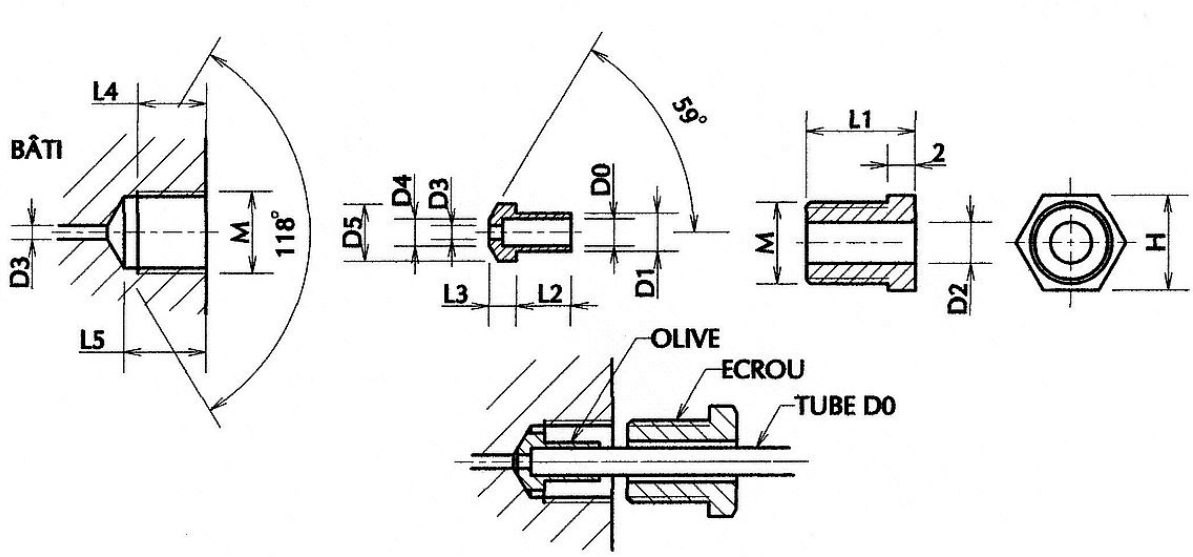
perçage sur le bâti. L'olive est comprimée par un écrou en prenant appui sur le filetage du bâti.

L'ensemble est constitué des éléments suivants :

- La pièce principale, bâti ou châssis, avec un perçage fileté formant fourreau.
- Une olive type "manchon" brasée sur la tuyauterie avec un cône correspondant au cône de perçage.
- Un écrou assurant la fixation de la tuyauterie sur le bâti et l'application de l'olive sur le cône de perçage du bâti.

Note d'atelier

La réalisation ne présente pas de difficulté particulière. Pour le perçage dans le bâti, on utilise l'angle naturel du foret, une autre solution consiste à fabriquer un D_bit à 120° avec un rond en acier d'outillage trempé à vue. Perçage avec un foret standard à 118° puis rectification avec le D_bit.

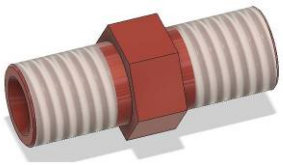


Dia tube D0	M	Dp	D1	D2	D3	D4	D5	H	L1	L2	L3	L4	L5
2	4x50	4	2.6	2.8	1	2	3.5	5	7	4.5	2	5	6
3	5x50	4.5	3.8	4	2	2.5	4	6	8	5	3	6	7
4	6x75	5.2	4.4	4.6	3	3.7	5	7	9	6	4	47	8

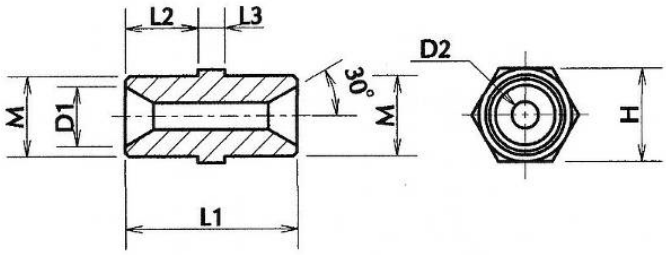
Dp *= diamètre de perçage avant taraudage*

*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***

9. RACCORD UNION A VISSER



Permet le raccordement de deux tuyauteries par l'intermédiaire d'olives et d'écrous. Ce raccord prend pas mal de place et celle-ci est comptée sur nos petites machines. Il faut bien sûr penser au passage et à la course de la clé pour le serrage des écrous. On l'utilise finalement assez rarement.

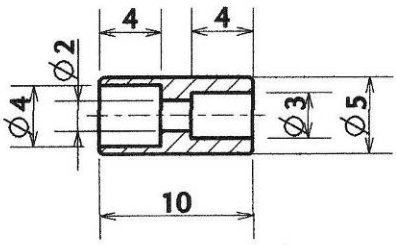


M	Dp	H	D1	D2	L1	L2	L3
5x50	4.5	6	4	2	14	6	2
6x75	5.2	7	4.5	3	16.5	7	2.5

***Dp** = diamètre de perçage avant taraudage*

10. RACCORD UNION A SOUDER

Lorsque le cintrage est complexe on peut le réaliser par segments et ensuite les raccorder par manchon soudé. On trouve aussi ce raccord sous l'appellation manchon égal. Le manchonnage est aussi utilisé lorsque l'on raccorde des tubes droits de diamètre inégaux. Il s'agit alors d'un manchon réducteur.
On aura intérêt à prendre l'ébauche ronde en pince type ER, pinces qui serrent fortement et uniformément la pièce sans risque d'écrasement, ce qui n'est pas le cas du mandrin 3 mors. La séquence est simple. Perçage traversant au diamètre minimum. Perçage au diamètre extérieur du tube avec une fraise à coupe au centre. Un léger chanfrein extérieur à chaque extrémité améliore l'esthétique

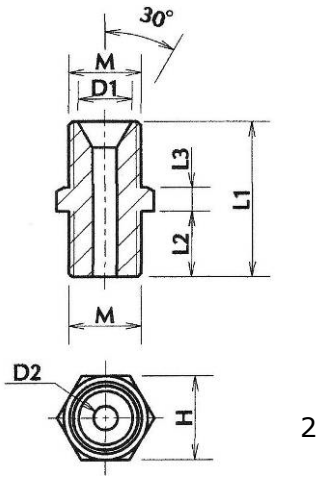


Ci-dessus, un exemple d'un raccord union pour un tube de 4 et un de 3.

*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***

11. MAMELON POUR VIROLE

Permet de raccorder une tuyauterie par l'intermédiaire d'une olive et d'un écrou sur une virole.



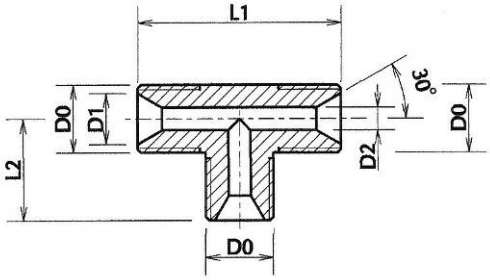
2

M	Dp	H	D1	L1	L2	L3
5x50	4.5	6	4	14	6	2
6x75	5.2	7	4.5	16.5	7	2.5

***Dp** = diamètre de perçage avant taraudage*

12. TE A VISSER

Permet une déviation sur une tuyauterie par l'intermédiaire d'olives et d'écrous



Dia tube D0	M	Dp	H	D1	D2	L1	L2
2	5x50	4.5	6	4	1.6	17	9
3	6x75	5.2	7	4.5	2	20	10
4	6x75	5.2	7	4.5	3	20	10

***Dp** = diamètre de perçage avant taraudage*

13. VIROLE

Les tôles des chaudières n'ont généralement pas une épaisseur suffisante pour être filetées, il est donc nécessaire de braser à l'argent sur celle-ci des viroles dont l'épaisseur du filetage garantira le meilleur montage et la meilleure étanchéité.

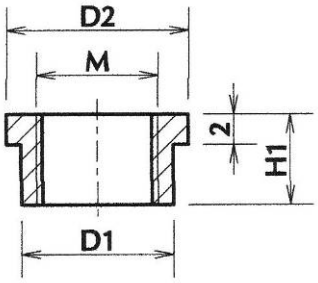
Remarques :

- Lors du perçage de l'enveloppe de la chaudière, il est recommandé d'y insérer un mandrin en bois tourné, ajusté ferme mais glissant. Cette pièce en bois annulera le risque de déformation de la pièce et donnera un débouché propre

*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***

avec un minimum de bavures.

- Au moment de la brasure de la virole sur l'enveloppe, il est également recommandé de visser une vis dans la virole afin de ne pas abimer le filetage de la virole avec le dard du chalumeau.

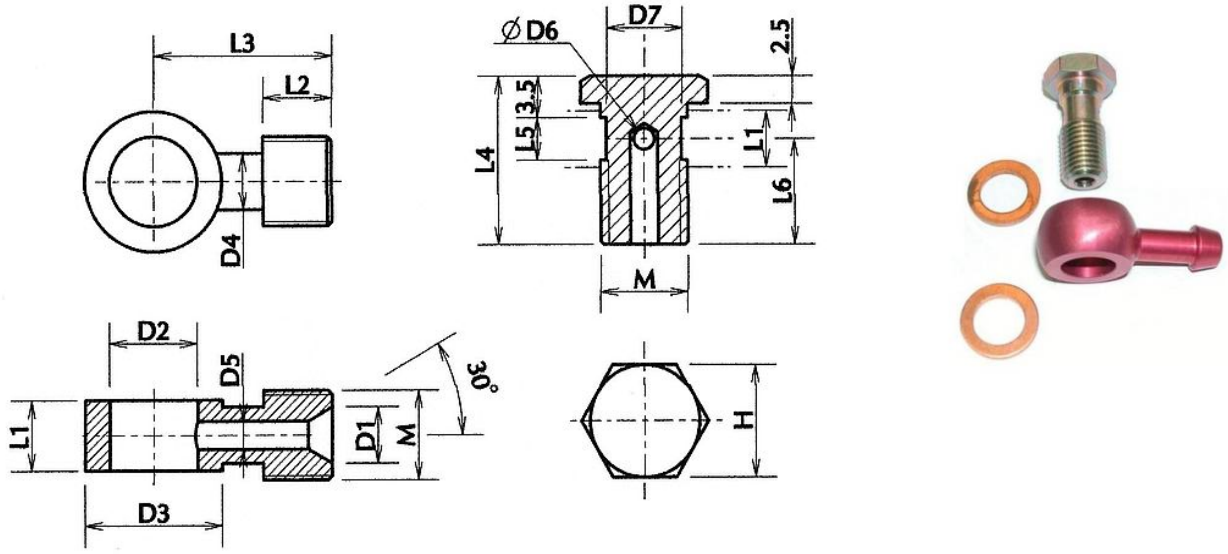


M	Dp	H1	D1	D2
5x50	4.5	6	7	9
6x75	5.2	8	8	11
8x75	7.2	8	11	14

Dp *= diamètre de perçage avant taraudage*

14. RACCORD BANJO

Ce raccord est assez peu utilisé, on le fabriquera au coup par coup. Il est surtout employé lorsque l'angle de sortie du tube doit être réglé en place, par exemple pour les pompes à eau ou à huile. Son usinage doit être soigné car il peut vite être fuyard. Par conception le serrage doit être puissant pour comprimer les rondelles d'étanchéité. Compte tenu de la circulation de l'écoulement il amène des pertes de charge importantes.
On voit ici un banjo commercial pour alimentation en carburant.



Dia tube D0	M	Dp	H	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	L1	L2
2	5x50	4.5	7	4	5	8	4	1	1	4.4	4.5	4.5
3	6x75	5.2	8	4.5	6	10	4	2	1.5	5	5	5
4	6x75	5.2	8	4.5	6	10	4	3	2.5	5	5	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***

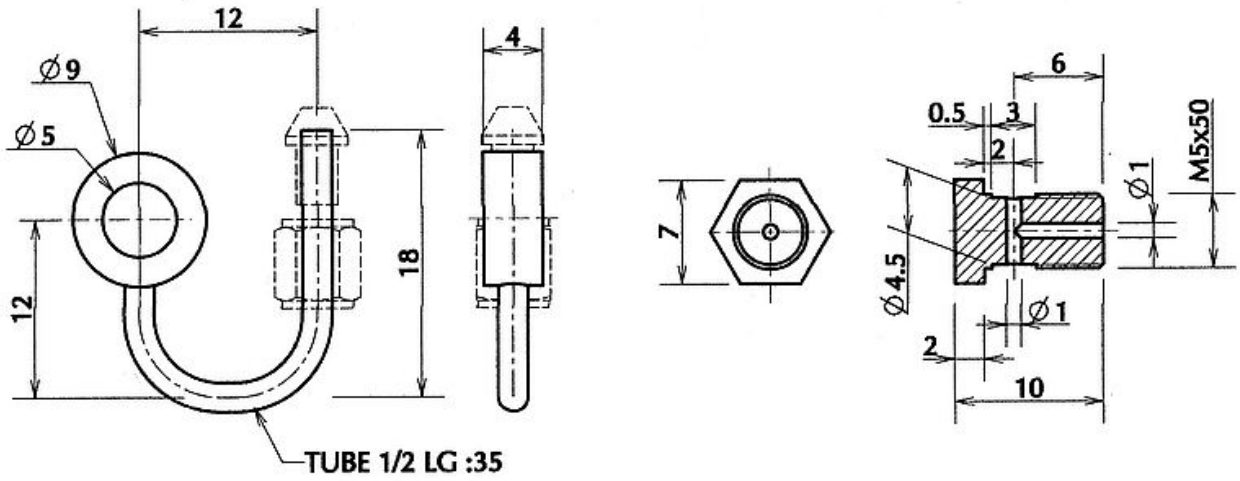
Dia tube D0	L3	L4	L5	L6
2	11	13.5	2.5	8.5
3	13	16	3	11
4	13	16	3	11

Cotation avec joints cuivre épaisseur = 0,25 mm

15. SIPHON DE MANOMETRE

Le manomètre ne doit jamais être monté directement sur le corps de la chaudière, mais doit être raccordé par l'intermédiaire d'un tube coudé d'une longueur suffisante afin de favoriser la condensation de la vapeur et d'éviter au tube de Bourdon d'être en contact direct avec la vapeur.

Nous parlons de manomètre de diamètre 12 ou 19 mm. Il doit être utilisé avec une olive pour tube de 2, un écrou M5x50 et 2 joints cuivre ép. : 0.25 mm.



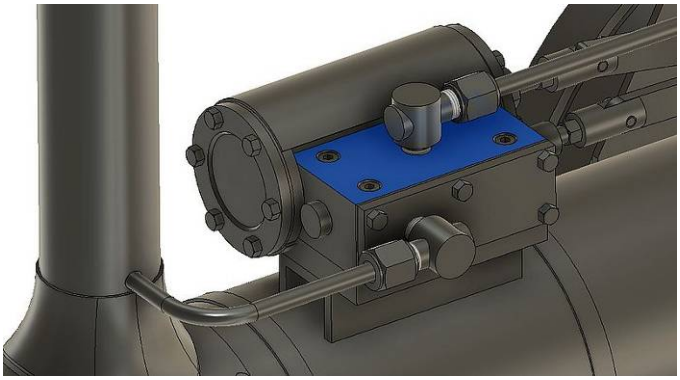
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

16. RACCORDS SPECIAUX

Ces pièces sont faites à la demande tout en conservant un minimum de standardisation.

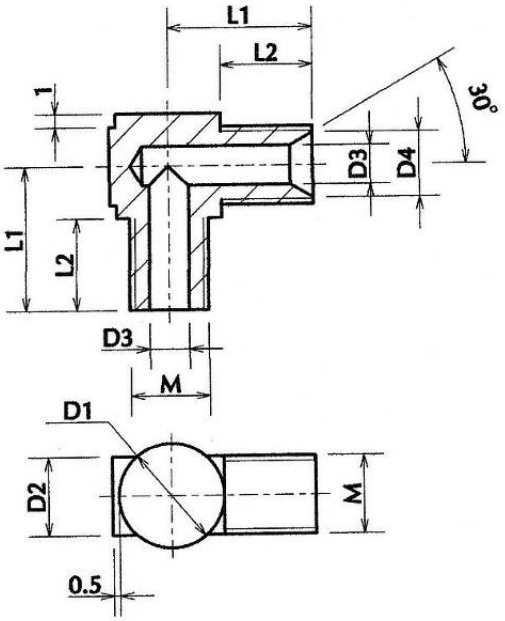
16.1. Raccord d'angle

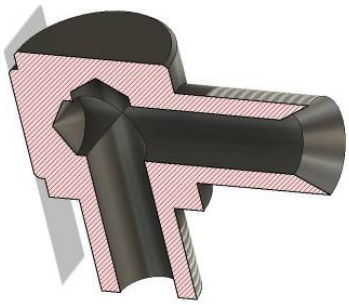
Un raccord courant est le raccord d'angle à 90°. On l'utilise surtout lorsqu'il n'est pas possible, par manque de place, de réaliser un cintrage de tube et que l'on souhaite avoir une tuyauterie démontable.



La gamme d'usinage la plus courante est de fabriquer une ébauche brasée à l'argent comme figurée ci-dessus. On prévoit deux tenons suffisamment longs pour la finition.

1. Prise de l'ébauche sur mandrin 3 mors par chaque tenon pour mise à la longueur, dressage de la face, perçage, filetage, usinage du cône d'appui,
2. Faire un mandrin de reprise pour la finition, simple rond taraudé, sur lequel on va visser l'ébauche usinée. On réduit au tour chaque tenon à la cote spécifiée.





M	Dp	D1	D2	D3	D4	L1	L2
5x50	4.5	7	5	2	4	8.5	5
6x75	5.2	8	6	3	4.5	11	6

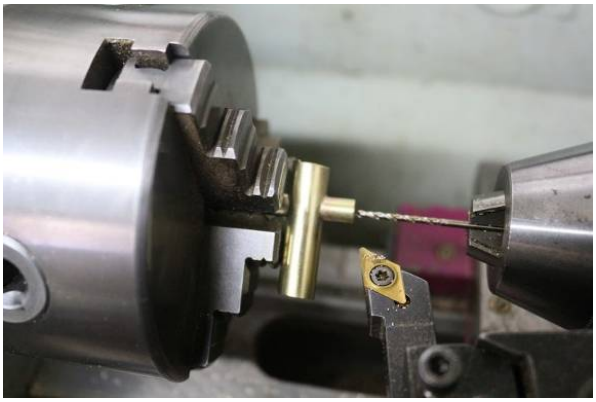
***Dp** = diamètre de perçage avant taraudage*

*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***

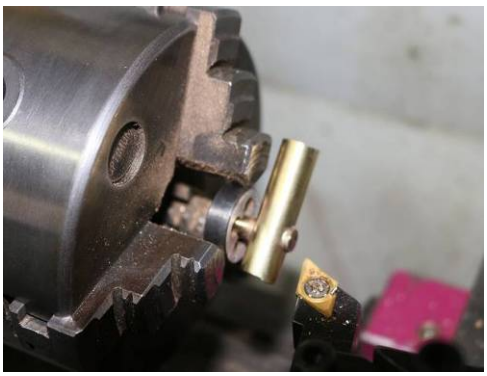
16.2. Exemple d'usinage du corps d'une vanne

A travers cet exemple, nous vous proposons une méthode de réalisation d'une vanne. Cette méthode permet d'effectuer les différentes opérations d'usinage après brasage des pièces.

Pour cela, il faut débiter les pièces avec une sur sur-longueur d'environ 5 mm de chaque coté, de percer le corps principal afin d'introduire la pièce perpendiculaire, et de braser ces deux éléments.



Grace aux sur-longueurs, il est possible de maintenir les pièces dans le mandrin et d'effectuer les opérations.

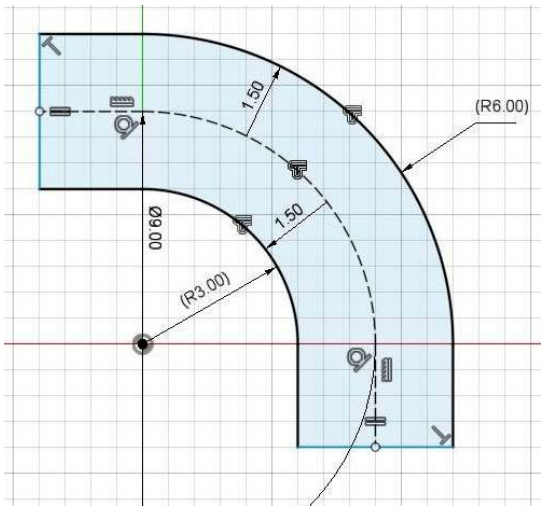


Il suffit ensuite de découper l'élément qui a servi à la première opération, et de reprendre au tour le tenon, en fixant la pièce à l'aide d'une filière par exemple.

*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. CINTRAGE DES TUBES

La fabrication d'une cintreuse ne demande ni beaucoup de matière, ni beaucoup de temps. Elle sera adaptée à vos besoins, vous évitera d'écraser le tube au pliage et vous assurera une bonne géométrie de la canalisation. Le tube étant recuit, de petits ajustements en place pourront toujours être réalisés.



17.1. Rayon minimal de courbure

Le site officiel du syndicat[1] des tubes cuivre donne comme rayon minimal de courbure de la fibre moyenne (axe du tube communément nommé fibre neutre) 3 à 4 fois le diamètre extérieur pour les tubes en cuivre mi-dur cintrable à froid. Pour un tube Dext = 3 mm on sera entre 9 et 12 mm avec diamètre intérieur de cintre de 6 mm.

Dans la pratique on prend des diamètres de cintrage intérieur de 14 à 16 mm, ce qui assure un façonnage aisé et des galets faciles à fabriquer avec un axe et une bague d'usure rapportés.
Le détail de la fabrication des galets sera exposé un peu plus loin.

Parmi les multiples variantes, types et clones nées de l'imagination fertile des bricoleurs et modélistes nous vous présentons trois types de cintreuses que **VAPEUR 45** a retenus.

17.2. Cintreuse N°1

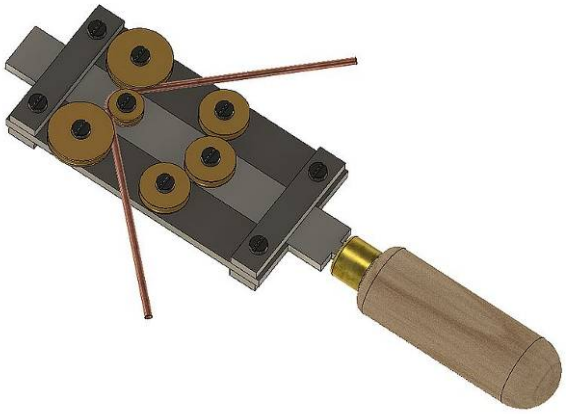
Pour débuter et pour faire du cintrage occasionnel simple, ou si on n'a pas envie de se prendre la tête ce serait le modèle à choisir en premier. Elle est très facile à construire. L'angle le plus fermé obtenu est 50° dans cette version. Moyennant des bagues de rehausse des galets pour échapper les boulons et entretoises on peut descendre à des angles plus aigus. Deux inconvénients. Le premier c'est que chaque diamètre de cintrage va demander un jeu de 3 galets car les galets doivent être tangents, aux jeux près. Le second c'est qu'il n'y a pas de pince tube ni de centreur donc il faut attraper un petit coup de main, mais le tube de 2x3 est tellement souple que cela n'est pas rédhibitoire. Cette cintreuse n'est pas très adaptée aux cintrages en 3D dans des plans différents. Elle peut se tenir dans un étau. Par contre, cette cintreuse comporte un jeu de galets pour du tube de 2/3 et un jeu pour du tube de 3/4.

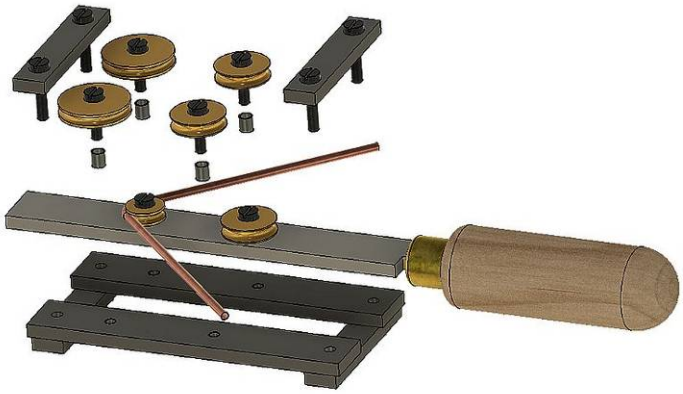
(1) https://tube-cuivre.fr/mise-en-oeuvre/cintrage

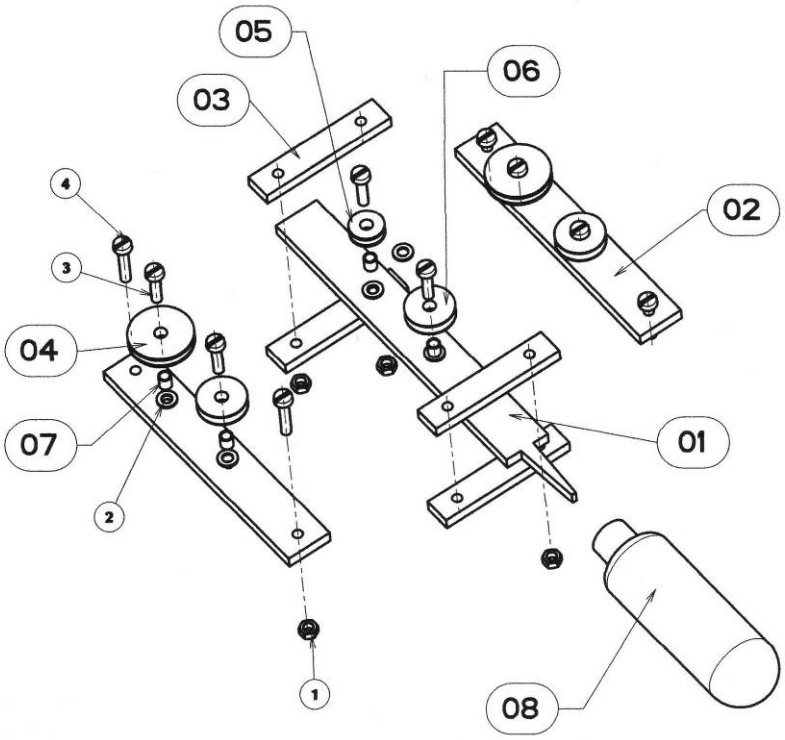
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
TUYAUTERIE

FTe02







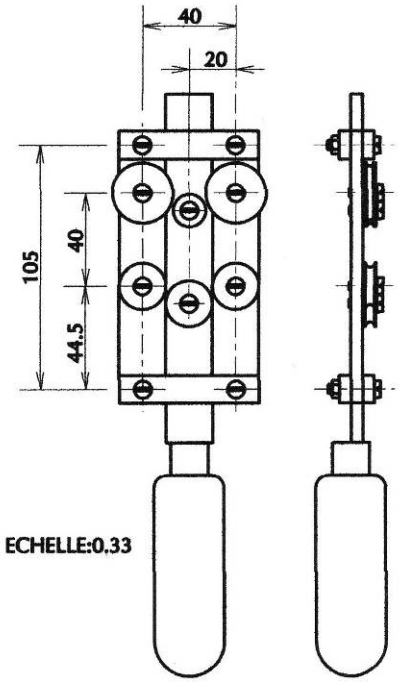
NOMENCLATURE

01 1 CORPS PLAT 20x5	ACIER	**07** 6 BAGUE	ACIER
02 2 PLAT LATERAL 20x5	ACIER	**08** 1 MANCHE DE LIME	BOIS
03 4 ENTRETOISE PLAT 12x5	ACIER	1 4 ECROU H-M4	ACIER
04 2 ROULETTE DIA 26 TUBE 3	LAITON	2 6 RONDELLE M 4	ACIER
05 1 ROULETTE DIA 14 TUBE 3	LAITON	3 6 VIS CS M4x12	ACIER
06 3 ROULETTE DIA 20 TUBE 4	LAITON	4 4 VIS CS M4x20	ACIER

*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***

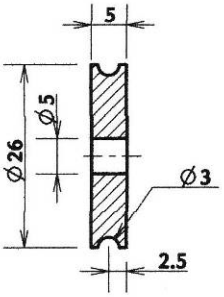
FICHE TECHNIQUE
TUYAUTERIE

FTe02

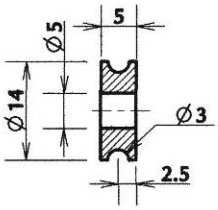


ECHELLE:0,33

REP	DESIGNATION
04	ROULETTE DIA 26 TUBE 3

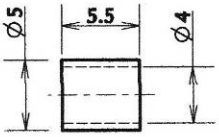


REP	DESIGNATION
05	ROULETTE DIA 14 TUBE 3

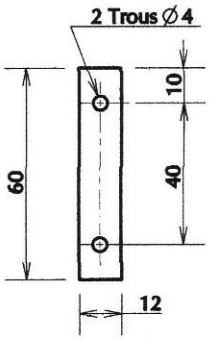


REP	DESIGNATION
07	BAGUE

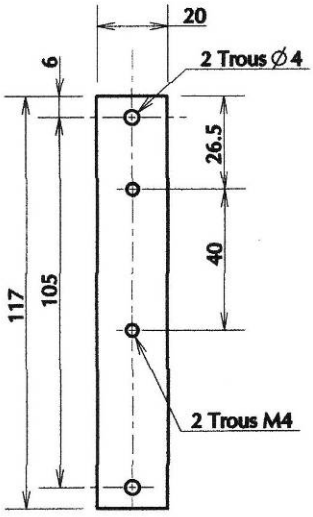
ECHELLE 2



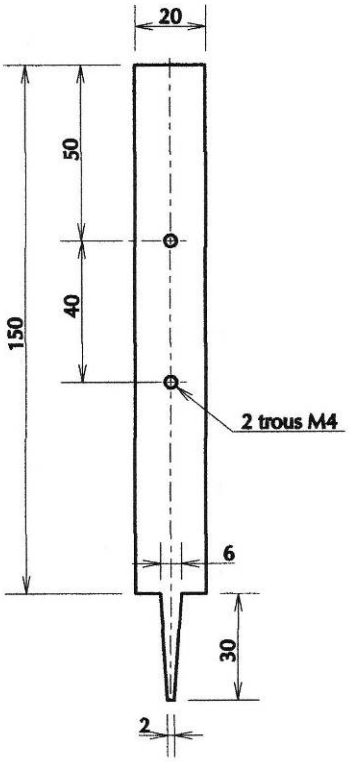
REP	DESIGNATION
03	ENTRETOISE PLAT 12x5



REP	DESIGNATION
02	PLAT LATERAL 20x5



REP	DESIGNATION
01	CORPS PLAT 20x5



REP	DESIGNATION
06	ROULETTE DIA 20 TUBE 4

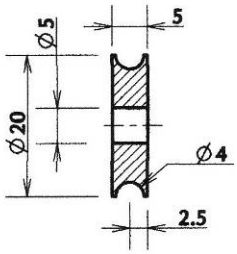
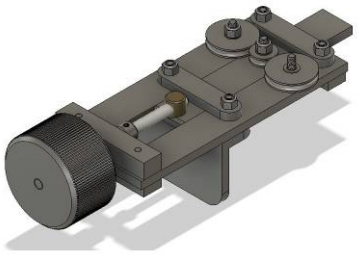


Planche 2/2

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



Une amélioration peut être apportée en ajoutant une vis de pression, celle-ci permettra d'être plus précis dans l'opération de cintrage.

17.3. Cintreuse N°2

Lorsque nous avons à réaliser un cintrage sur un tube comme sur le schéma 1, la cintreuse N°1 convient parfaitement, mais lorsque nous avons à réaliser un cintrage en 3D comme sur le schéma 2, avec un écartement de 32 mm entre les deux bras du tube, il n'est pas possible de garantir l'écartement du fait du manque de pince tube sur la cintreuse.

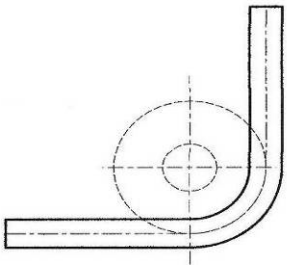


Schéma 1

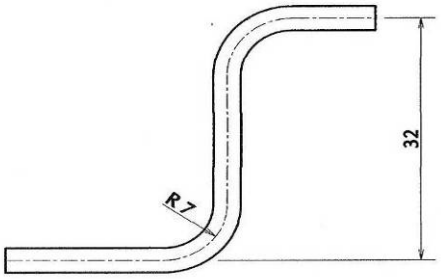


Schéma 2

Afin de garantir l'entraxe, il faut maintenir le tube dans une position, de telle manière que le tube ne glisse pas lors de la rotation (F) du tube autour du galet. Il faut donc pincer le tube en A suivant le schéma 3.

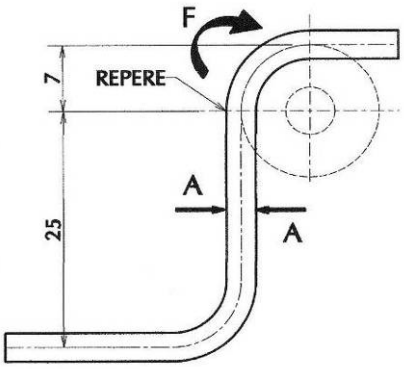


Schéma 3

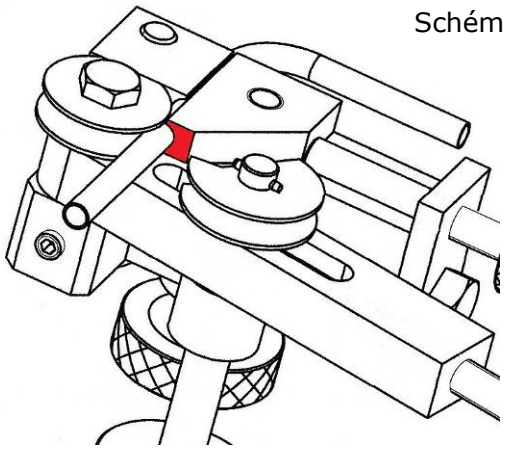
La cintreuse N°2 permet de maintenir le tube lors de l'opération. A noter que la cote de 32 mm est la valeur minimale obtenue avec cette cintreuse. Cette cintreuse a été étudiée pour un diamètre de tube de 3 mm avec un rayon de 7 mm mais couvre 95% de nos besoins sur nos modèles. Pour un autre rayon, il faudra revoir le mors et le galet fixe. Pour un autre diamètre de tube, revoir la conception de la cintreuse.

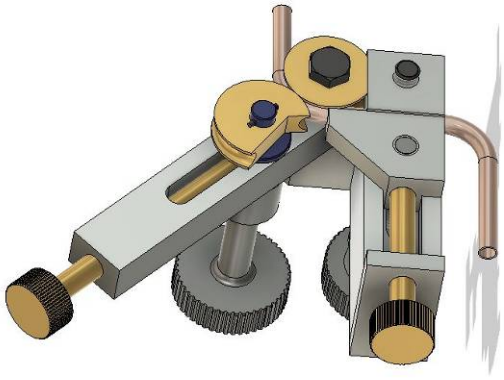
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
TUYAUTERIE

FTe02

Schéma 4





Pour obtenir la cote de 32mm d'entraxe sur le schéma 3, il suffit d'aligner le repère de la cote 25, sur la face rouge du mors mobile sur le schéma 4.

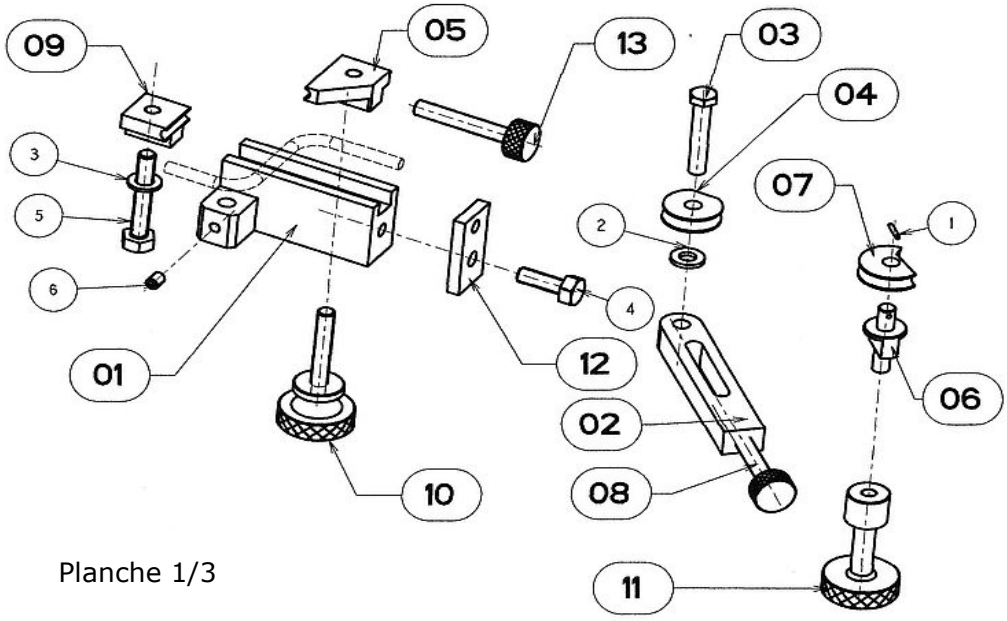


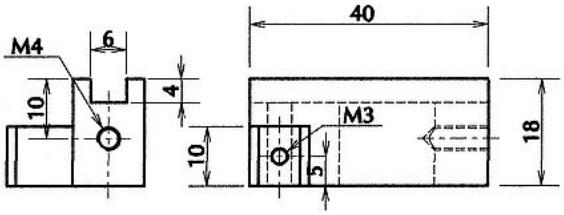
Planche 1/3

NOMENCLATURE

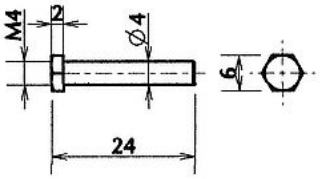
01	1 CORPS	ALUMINIUM	**11**	1 VIS GALET MOBILE	LAITON
02	1 BRAS	ALUMINIUM	**12**	1 PLAQUE BUTEE	LAITON
03	1 AXE GALET	LAITON	**13**	1 VIS DE PRESSION	ACIER
04	1 ROULETTE DIA 14	LAITON	1	1 GOUPILLE ELASTIQUE 1 x 6	ACIER
05	1 MORS MOBILE	LAITON	2	1 RONDELLE 4x8x0.5	ACIER
06	1 AXE GALET MOBILE	ACIER	3	1 RONDELLE M 4	ACIER
07	1 ROULETTE D'APPUI	ACIER	4	1 VIS H M4x12	ACIER
08	1 VIS DE PRESSION	ACIER	5	1 VIS H M4x25	ACIER
09	1 MORS FIXE	LAITON	6	1 VIS Hc M3x4	ACIER
10	1 VIS MORS MOBILE	LAITON/ACIER			

*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***

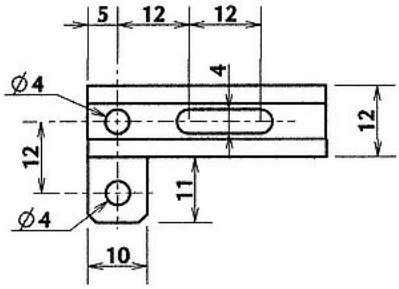
REP	DESIGNATION
01	CORPS



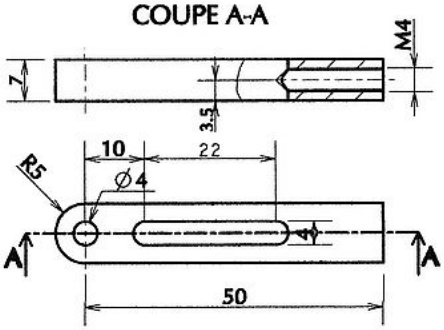
REP	DESIGNATION
03	AXE GALET



REP	DESIGNATION
02	BRAS

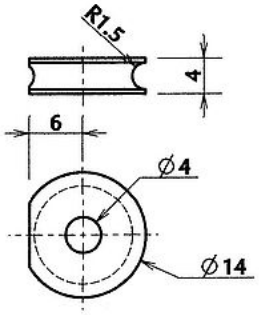


COUPE A-A

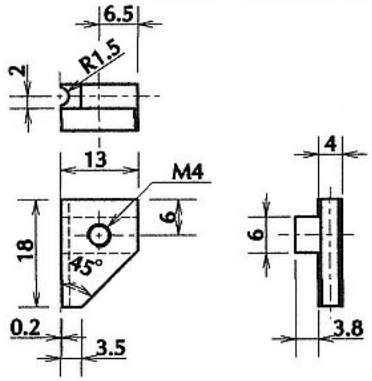


REP	DESIGNATION
04	ROULETTE DIA 14

ECHELLE 1.5

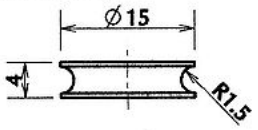


REP	DESIGNATION
05	MORS MOBILE



REP	DESIGNATION
07	ROULETTE D'APPUI

ECHELLE 1.5



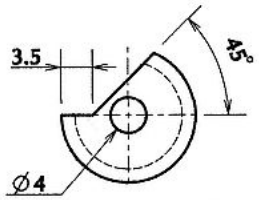
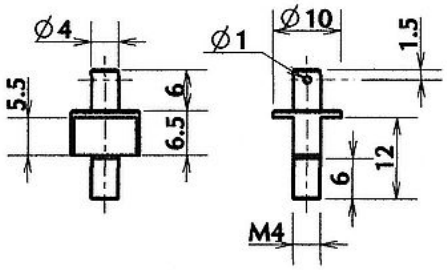


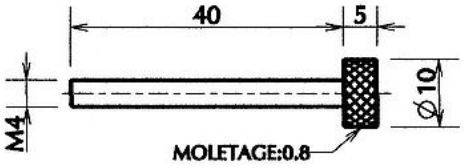
Planche 2/3

*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***

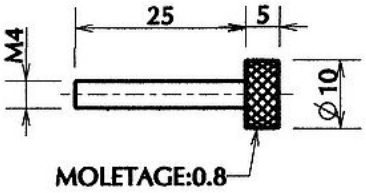
REP	DESIGNATION
06	AXE GALET MOBILE



REP	DESIGNATION
08	VIS DE PRESSION

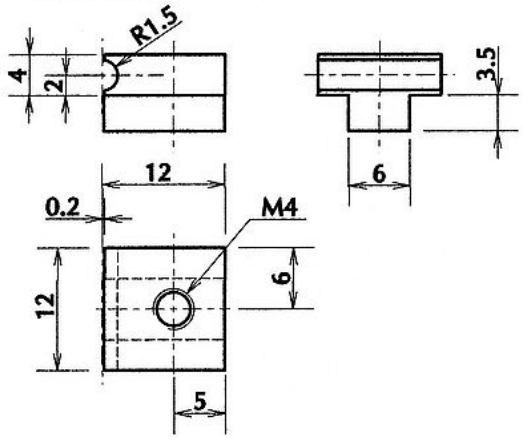


REP	DESIGNATION
13	VIS DE PRESSION

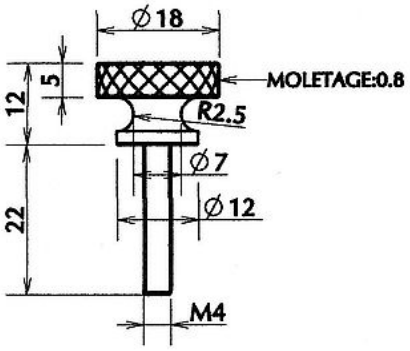


REP	DESIGNATION
09	MORS FIXE

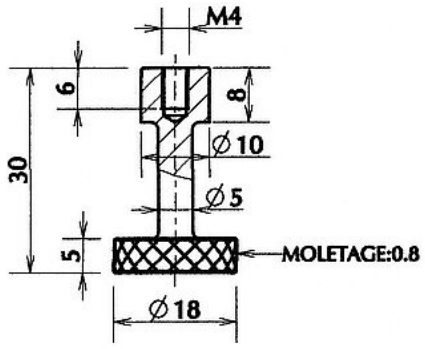
ECHELLE 1.5



REP	DESIGNATION
10	VIS MORS MOBILE



REP	DESIGNATION
11	VIS GALET MOBILE



REP	DESIGNATION
12	PLAQUE BUTEE

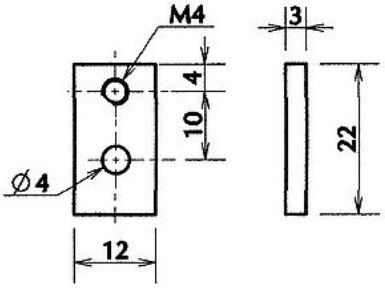
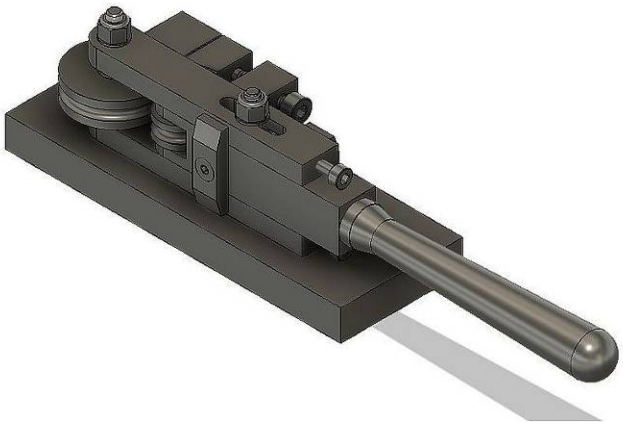


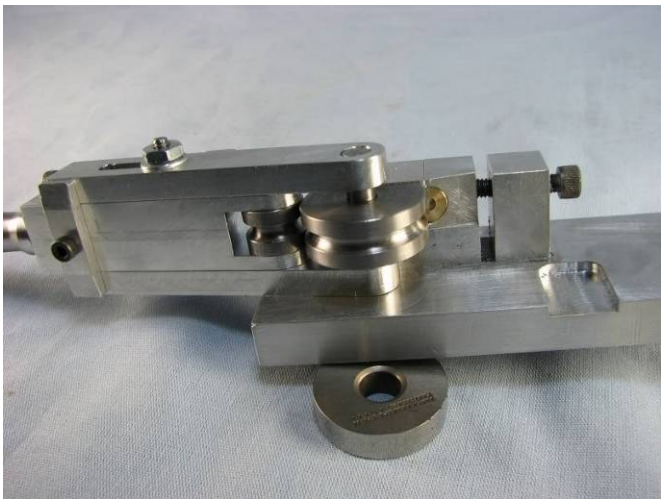
Planche 3/3

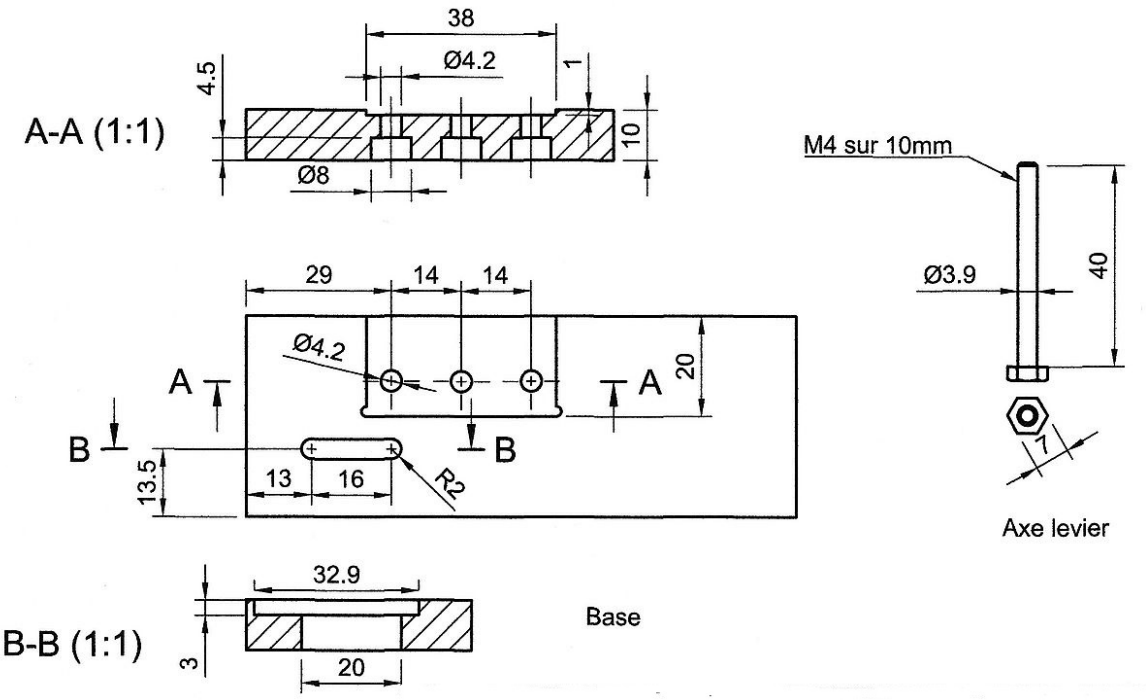
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

17.4. Cintreuse N°3

Ci-dessous une cintreuse plus versatile dont le modèle original est dû au modéliste anglais Georges BRITNELL. Elle s'adapte à tout diamètre de tube extérieur entre D2 à D6 (théoriquement). Pour chaque diamètre de cintrage on aura un galet à usiner pour un diamètre de tube donné. Cette cintreuse permet dans une certaine mesure des cintrages dans des plans différents à condition de réaliser le pince-tube en deux éléments. Elle dispose de réglages pour passer des diamètres de tubes et des rayons de cintrage différents.



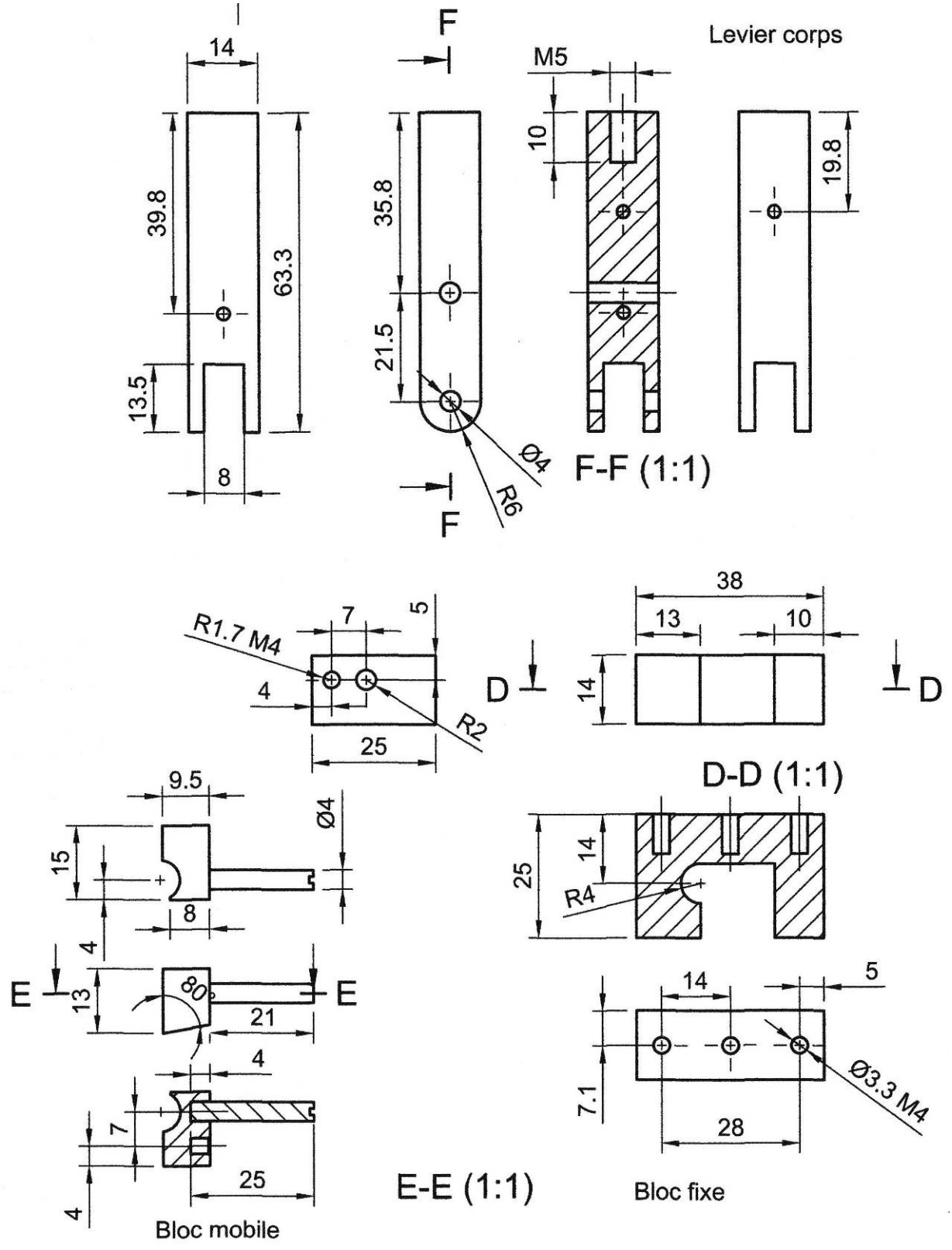




*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
TUYAUTERIE

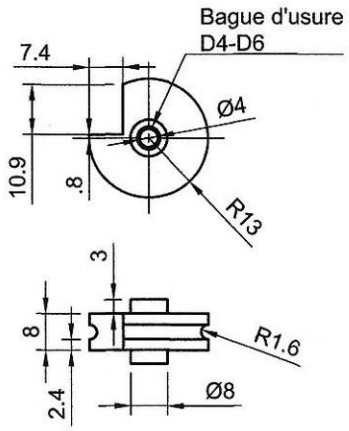
FTe02



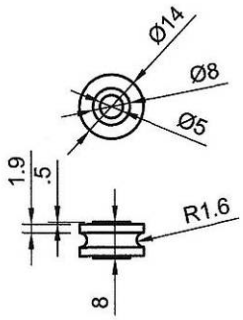
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

FICHE TECHNIQUE
TUYAUTERIE

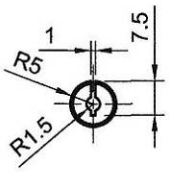
FTe02



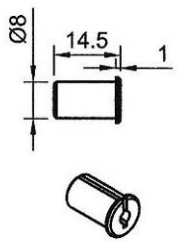
Galet D26

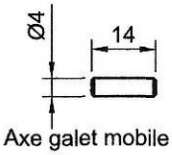


Galet mobile avec
bague d'usure D4-D5

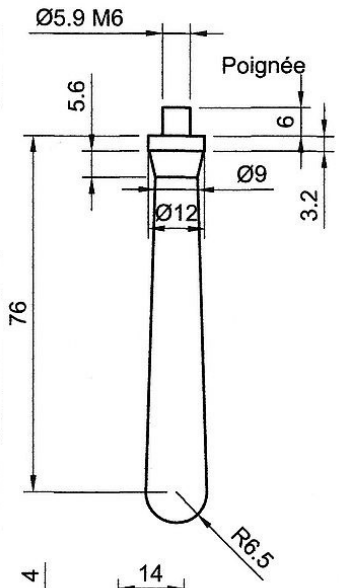


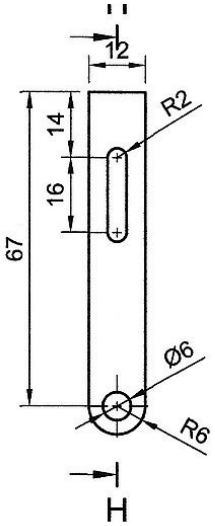
Pince pour tube
D3

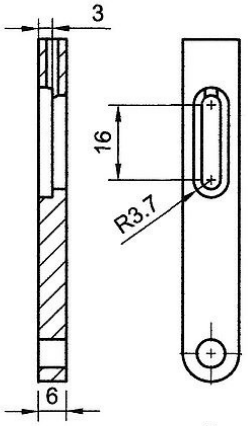




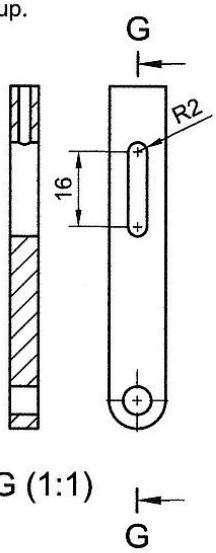
Axe galet mobile

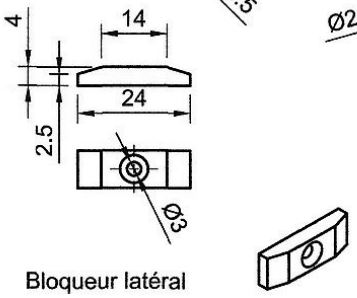




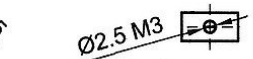


Attache sup.





Bloqueur latéral



Attache inf.

Bague levier

*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***

18. REALISATION DES GALETS

On prend au 3 mors un rond du diamètre requis. On dresse une face, on usine l'épaulement. On réalise un perçage au diamètre de la bague d'usure.

On usine la gorge, on tronçonne. On réalise la reprise de l'autre face à l'aide d'un petit mandrin de centrage (appelé cimblot), ou tout autre méthode auxquelles on est habitué, ce n'est pas non plus de la science aérospatiale.

Pour usiner la gorge au tour les deux méthodes les plus courantes sont :

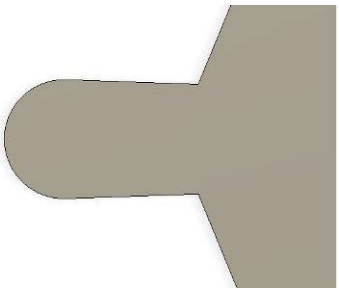
- outil de forme en attaque radiale
- outil à coupe tangentielle.

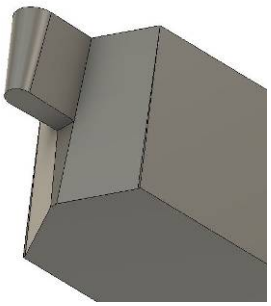
Note : pour mémoire on peut faire l'usinage sur fraiseuse à l'aide d'un diviseur et une fraise ronde du bon diamètre.

18.1. Outil de forme

Cet outil est directement taillé à la meule dans un barreau HSS. Il faut s'exercer quelque peu avant d'arriver à obtenir un profil acceptable.

Les outils de forme génèrent beaucoup de vibrations sur nos petits tours d'établi. Exemple d'outil taillé dans un barreau 12x12 pour une gorge D = 3 mm.

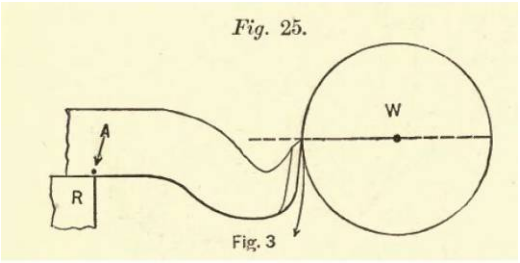




La dépouille du profil est d'environ 4°C (2° par côté) pour éviter le coincement de l'outil lors de la pénétration.
Attention, au fur et à mesure des affûtages le profil évolue pour devenir de plus en plus petit à cause de la dépouille.

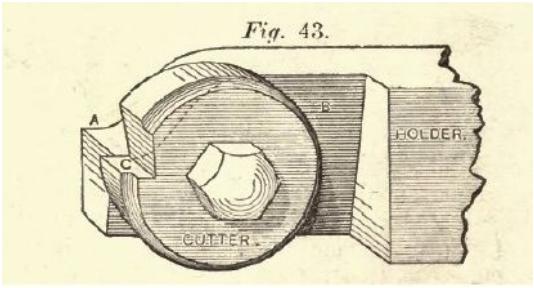
18.2. Outil à coupe tangentielle

Ces outils ont fait l'objet il y a une dizaine d'année d'une campagne marketing dans le milieu du modélisme anglo-saxon. Présentés comme innovateurs il y avait de l'exagération car ce type d'outil existe depuis le milieu du XIX^{ème} siècle. Ils étaient nommés outils à dépouille fixe.
On en voit un exemple ancien en acier forgé dans la figure ci-contre.

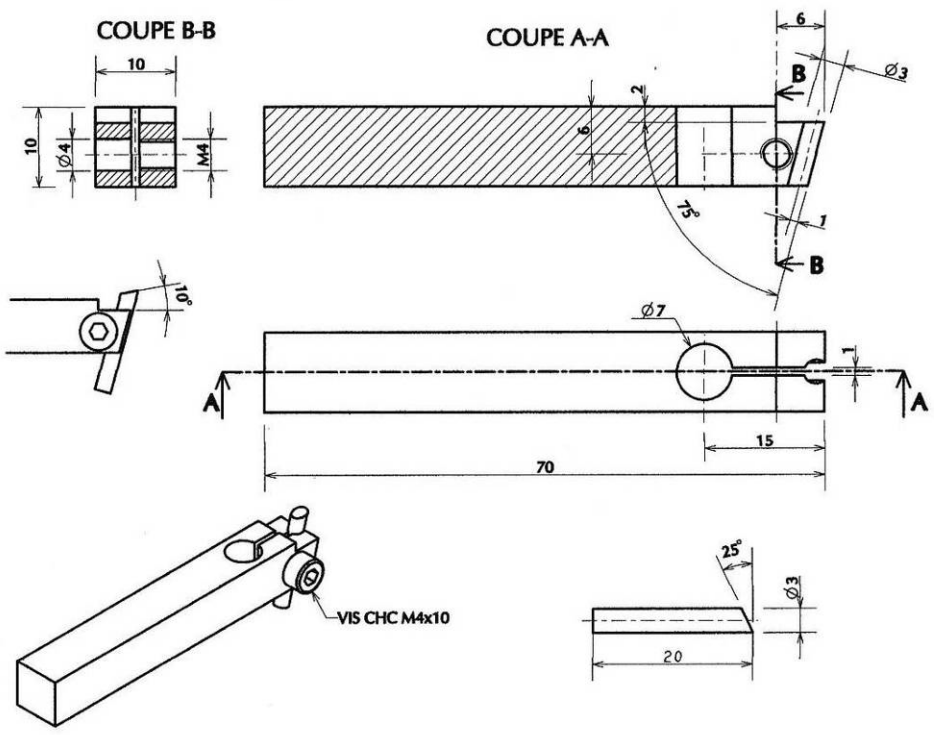


*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

Ci-dessous un outil dit « à molette». C'est un outil de forme qui présente la particularité d'avoir un affûtage très simple et qui conserve son profil à chaque affûtage. On tourne la molette au fur et à mesure de son usure et de ses affûtages. Le profil de la molette s'exécute au tour et il est étudié pour que malgré l'angle de pente la coupe ait le profil exact. Cet outil était en acier trempé. Il pouvait se fabriquer et s'affûter dans l'atelier même, sans machines sophistiquées.



Ci-dessous on voit un outil conçu pour une gorge de 4 mm de diamètre. Pour réaliser la gorge du galet on monte sur cet outil un rond en acier HSS de diamètre approprié. La forme de la gorge va être faiblement elliptique. Si on usine des galets en laiton, il suffit d'utiliser de l'acier d'outillage trempable genre 100C6. Une trempe « à vue [1]» à l'huile suivi d'un revenu au jaune paille sera tout à fait suffisante.

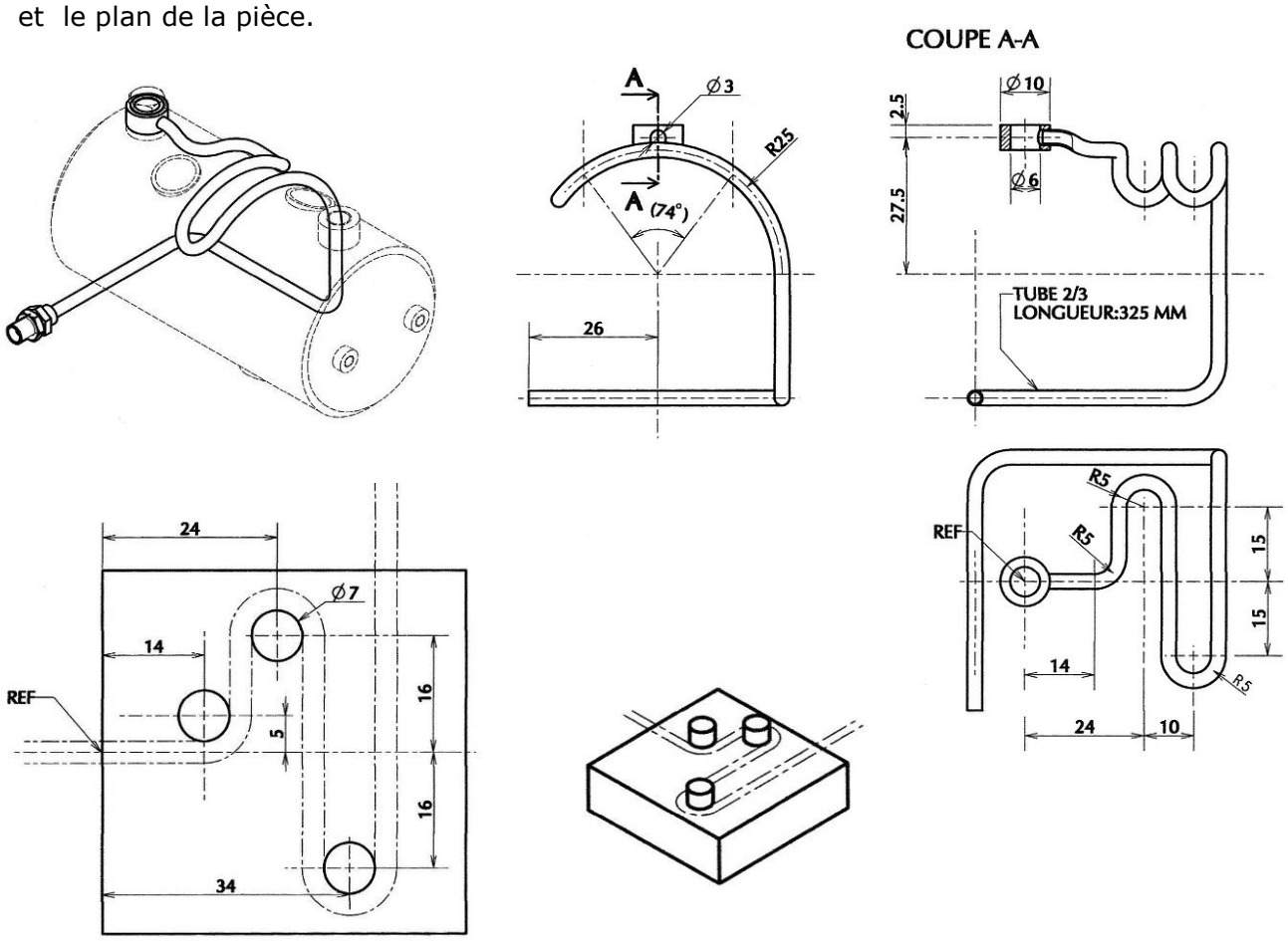


(1) Sans utiliser de four de trempe. On chauffe au rouge cerise à la torche butane, trempe, recuit au jaune paille.

*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***

19. CINTRAGE PAR GABARIT

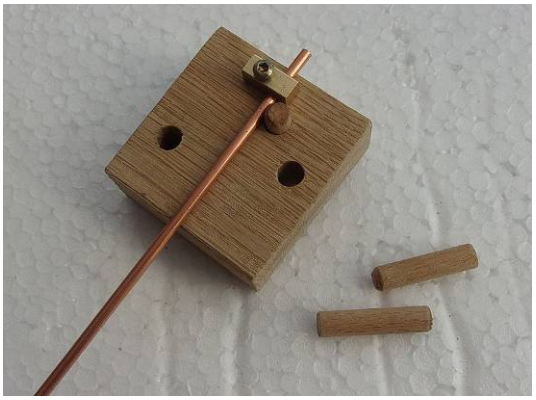
Dans cet exemple, les appareils de cintrage conventionnels que nous venons de vous présenter ne permettent pas d'obtenir le profil de la pièce finale. Une solution consiste à cintrer le tube à l'aide d'un gabarit en bois.
L'exemple que nous vous proposons est un tube sécheur de vapeur sortie chaudière d'un diamètre de 2/3 mm et d'une longueur d'environ 325 mm. Ci-dessous le schéma de principe et le plan de la pièce.

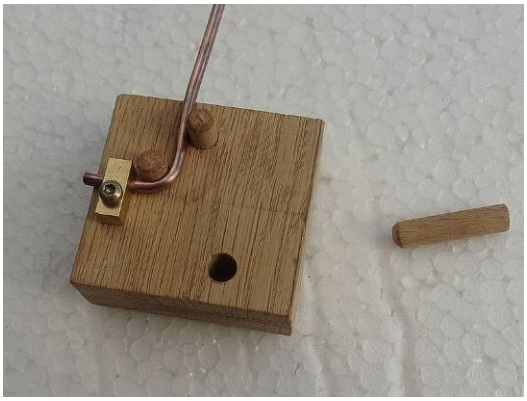


19.1. Note d'atelier

Il faut dans notre cas mettre le tube à plat afin de réalisé le tracé ou le parcourt de notre tube. La seule difficulté réside dans le développement de la chicane. Nous avons un angle de 74°, ce qui nous donne, pour un rayon de 25 mm, un arc d'environ 32 mm, *(Pi x 50 /360 x 74 = 32,3)* soit 16 mm par rapport à l'axe de la chaudière. Le rayon des courbes est de 5 mm, soit 10 mm de diamètre moins 3 mm de tube, ce qui nous donne un diamètre 7 mm pour les pions. Les autres cotes sont issues du plan.
Le traçage sera réalisé sur un morceau de bois dur, genre chêne ou hêtre. Après positionnement des pions, perçage au diamètre 7.

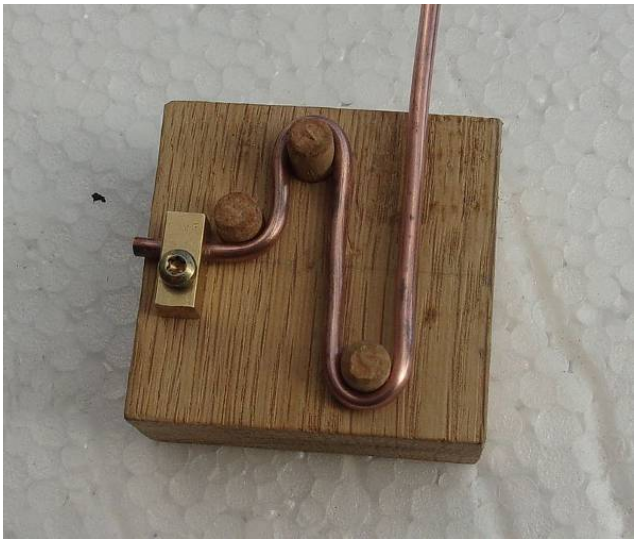
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***





Pour les tubes de diamètre plus conséquent on va éviter l'écrasement en usinant une gorge sur les pions. Ensuite on place à chaque cintrage un ensemble amovible composé d'un galet monté sur son porte galet. Le porte galet a un alésage oblong qui se sert du pion comme axe

Le tube sera maintenu par une clame en laiton fixé sur la planche à l'aide d'une vis à bois. Cette clame a pour fonction d'éviter le glissement du tube lors du cintrage de celui-ci. Il suffit de plier le tube autour des pions en plaçant les pions l'un derrière l'autre afin de ne pas être gêné dans la manœuvre.



La dernière opération consiste à cintrer le tube sur un tube du diamètre de la chaudière.

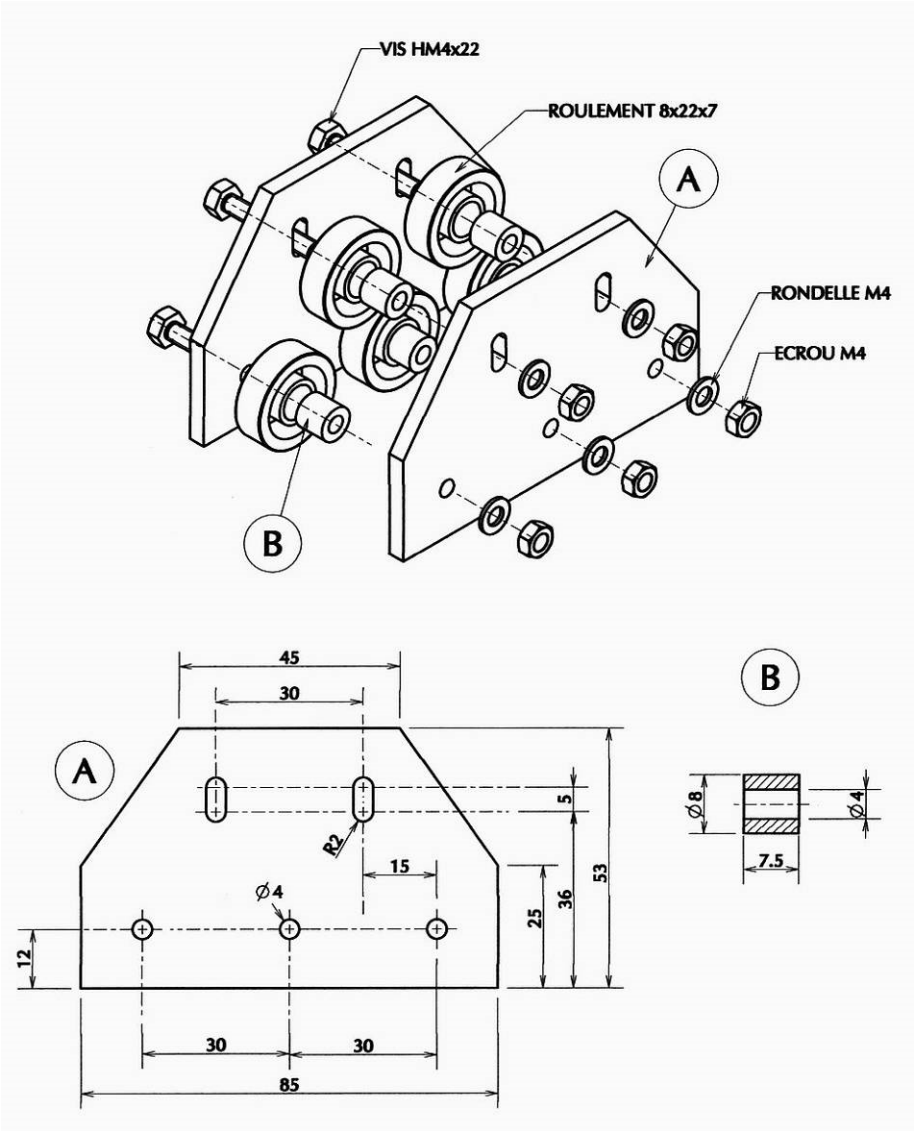
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

20. APPAREIL A REDRESSER LES TUBES

Selon les diamètres, le redressage à la main de tube de cuivre ou de laiton de diamètre compris entre 3 et 6 mm n'est pas toujours chose aisée. C'est pourquoi cet outil spécifique a été créé pour faciliter la manipulation.

Cet outil existe déjà dans l'industrie pour redresser des profilés métalliques, barres, tubes et fils.

Dans ce qui suit on suppose que le tube a été préalablement recuit et redressé au mieux manuellement.
Nous avons bien évidemment simplifié cet appareil de manière à obtenir un outil facile d'emploi et permettant d'obtenir, en un seul geste, un résultat précis et propre.

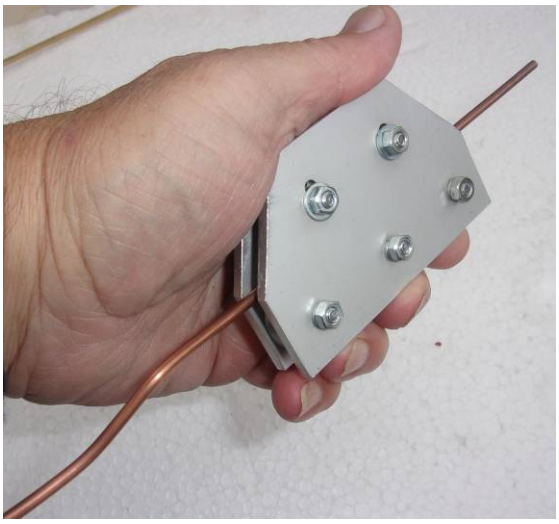


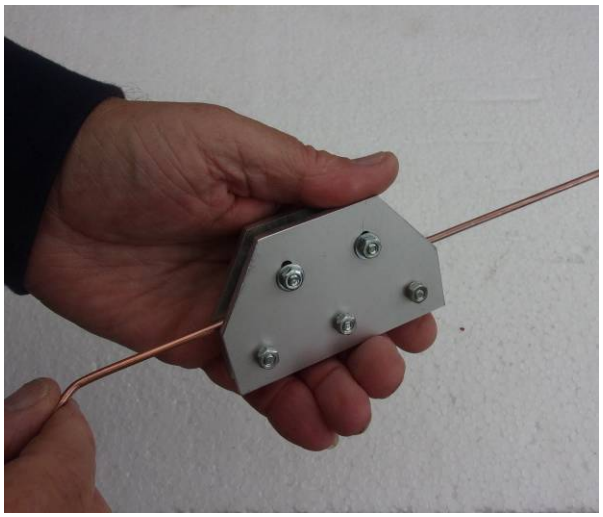
*Ce document est la propriété de **VAPEUR 45**. Il ne doit pas être copié ni donné à des tiers sans l'autorisation de **VAPEUR 45***

L'appareil est principalement constitué de 2 flasques en aluminium ou laiton et de 5 roulements à billes 8x22x7, aucune dimension n'est critique, il faudra, au minimum, une largeur de roulement de 6 mm, pour redresser du tube de 6 mm.

Comme le montre le schéma du flasque rep (**A**) ci-dessus, nous avons 3 perçages alignés en partie basse et deux trous oblongs disposés en quinconce au dessus. Chaque roulement comporte une bague rep (**B**) d'une largeur supérieure à la largeur du roulement. Les 3 roulements de la partie inférieure sont fixes, les deux autres roulements coulissent dans les trous oblongs permettant le réglage de l'entrefer.

Le réglage de l'entrefer est obtenu en intercalant une cale d'épaisseur du diamètre du tube que nous désirons redresser, de venir appuyer les deux roulements supérieurs sur cette cale et de bloquer les boulons de ces deux roulements. Il suffit ensuite d'introduire le tube, sur toute sa longueur, entre les deux rangées de roulements et d'effectuer 3 ou 4 allers et retours en tournant d'un quart de tour le tube pour obtenir un tube parfaitement redressé.





*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 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 : **VAPEUR 45**; Joël, 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***