Régulateur de pression vapeur

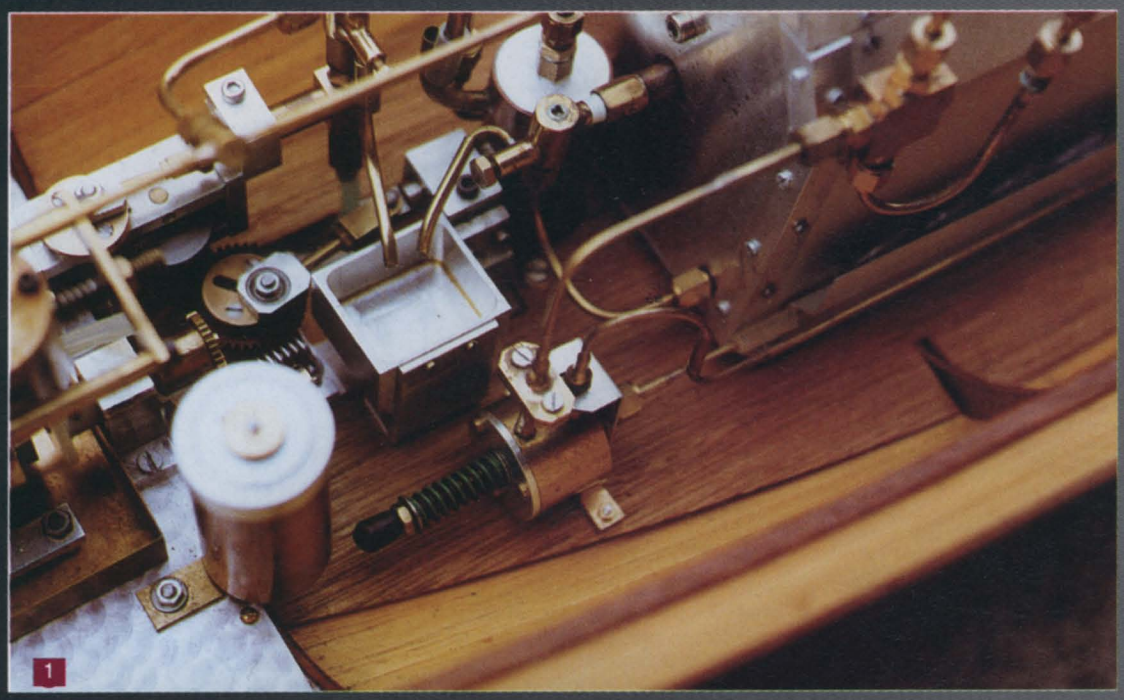


Photo 1 : le régulateur monté dans le bateau. On voit un poussoir caoutchouc qui permet l'actionnement à vide sans souffrance avant chaque départ.

Les premières batailles de l'apprenti vaporiste sont quelquefois difficiles à gagner. Il faut qu'il surmonte un grand nombre de problèmes techniques surtout s'il s'essaie aux innovations. Je pense en particulier à mes débuts dans cette discipline marginale qu'est la construction des modèles réduits à vapeur. Le régulateur de pression vapeur est l'un des accessoires qui m'en a fait voir de toutes les couleurs. Quand j'ai décidé d'en fabriquer un, le plan d'un modèle construit avec une membrane m'a permis de comprendre le principe de fonctionnement. J'ai cependant préféré chercher un autre système sans membrane et plus simple à fabriquer. L'usinage a été facile, la mise au point beaucoup moins. C'est pourquoi je vous livre aujourd'hui l'historique de mes déboires avec, bien sûr, la description complète d'un appareil qui fonctionne très bien.

Utilité du régulateur

L'utilité première du régulateur de pression vapeur, c'est d'éviter la trop grande montée en pression de la vapeur en coupant ou en régulant le débit du combustible. Pour ce type de régulateur, ce sera du gaz butane ou un mélange de butane/propane. Dans le cas d'un arrêt de fonctionnement du moteur, par exemple, l'attente d'une mise à l'eau ou tout simplement pendant l'immobilisation du modèle pour une petite mise au point, la vapeur n'est plus consommée par le moteur. Le brûleur continue de chauffer et la pression dans la chaudière augmente jusqu'au déclenchement de la soupape de sécurité. Pas vraiment agréable et plutôt dangereux quand on a le nez dans les entrailles de la machine. Grâce au régulateur, le brûleur se coupe quand la pression vapeur souhaitée est atteinte. Il se rallume quand cette pression chute au dessous d'un certain seuil. Le rallumage automatique est possible grâce à une veilleuse montée en dérivation (voir schéma de principe). L'autre intérêt du régulateur de pression est, bien sûr, l'économie de gaz qui permet d'augmenter sensiblement le temps de navigation. Les évolutions lentes avec un faible débit de vapeur conduisent également au déclenchement du régulateur. Cet accessoire a donc bien sa place sur notre groupe vapeur. Attention cependant, ce n'est pas un organe de sécurité et on ne peut pas se passer d'une soupape de sûreté en bon état de marche.

Par Jean-Louis Bourdeau

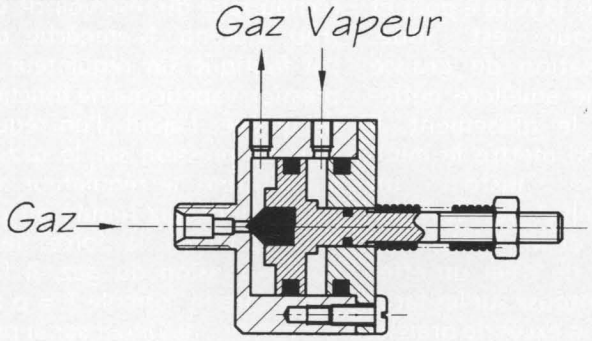
Principe

Dans tous les cas, le régulateur comporte au minimum trois orifices : une arrivée et un départ pour le gaz plus une arrivée pour la vapeur. Un quatrième orifice peut être prévu pour l'alimentation de la veilleuse (voir dessin 2). Au repos, c'est-à-dire avant que l'on ne mette en chauffe, la pression dans la chaudière est égale à la pression atmosphérique. Le ressort de rappel permet le passage du gaz au travers du régulateur et le brûleur peut fonctionner. Au fur et à mesure que la pression vapeur augmente, elle exerce une force sur le piston mobile du régulateur. Quand cette pression est suffisamment élevée donc que l'effort fatidique obtenu est supérieur à l'effort de rappel du ressort, le piston se translate et vient obturer gentiment l'arrivée du gaz. Le brûleur s'éteint donc faute de combustible. Inversement, lorsque la pression de vapeur chute, c'est l'effort du ressort qui l'emporte de nouveau et le débit du gaz peut recommencer. Le calcul de l'effort en fonction de la pression est donné par la formule: F = p x S avec F = effort en Kg, p = pression de vapeur en Kg/cm2 (bar), et S = surface du piston en cm2. Exemple : avec un piston de 3 cm2 et une pression de 2 kg/cm2, on trouve F = 2 x 3 = 6 Kg. En théorie, si on veut que le régulateur déclenche à la pression de 2 bars, il faut que le ressort exerce une précontrainte légèrement inférieure à 6 Kg. En pratique les choses se gâtent, il faut considérer deux paramètres supplémentaires : le frottement des joints et la contre-pression du gaz.

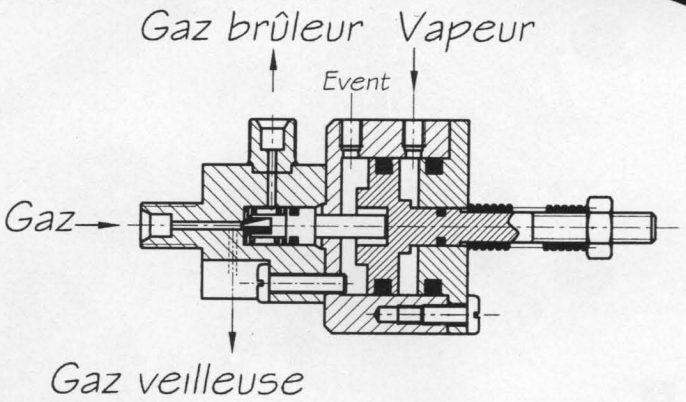
Evolution du prototype

Lorsque j'ai procédé aux essais de mon premier régulateur

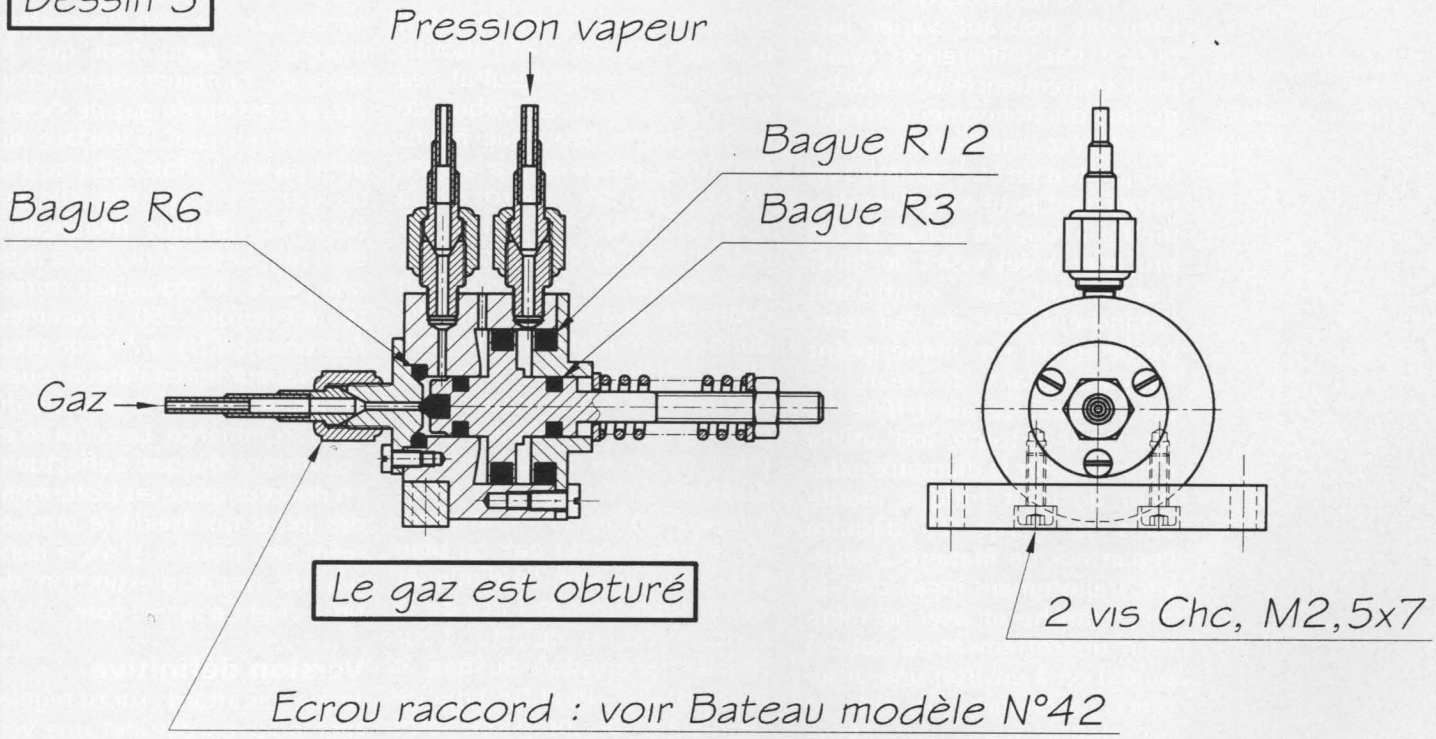
Dessin 1

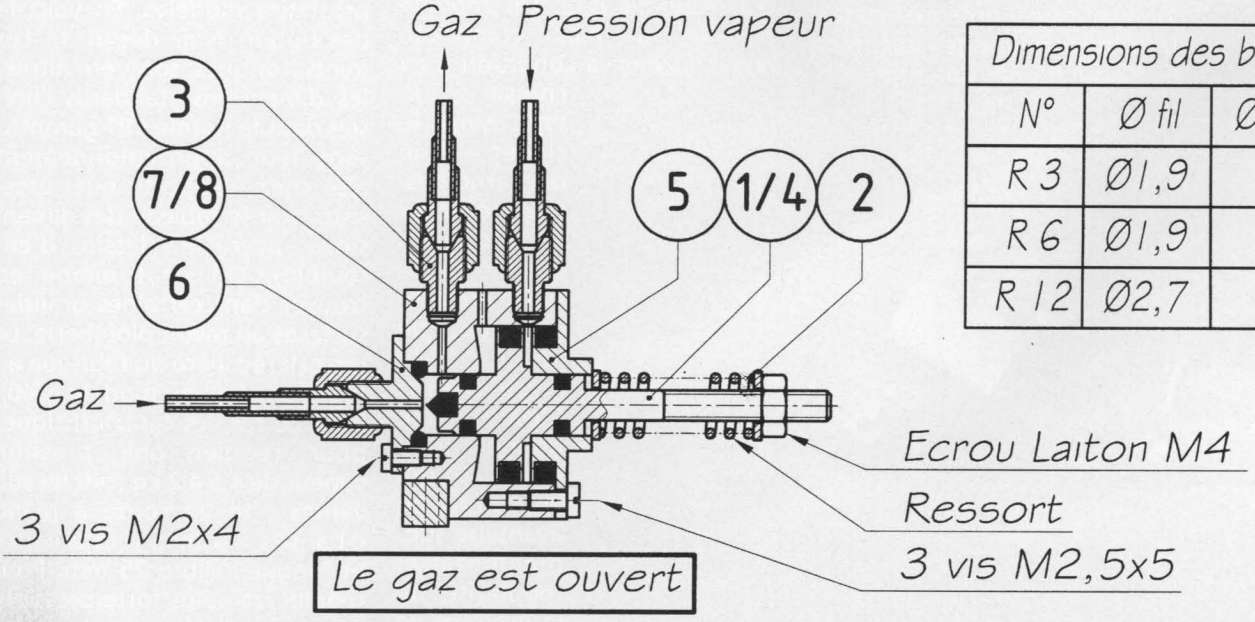


Dessin 2



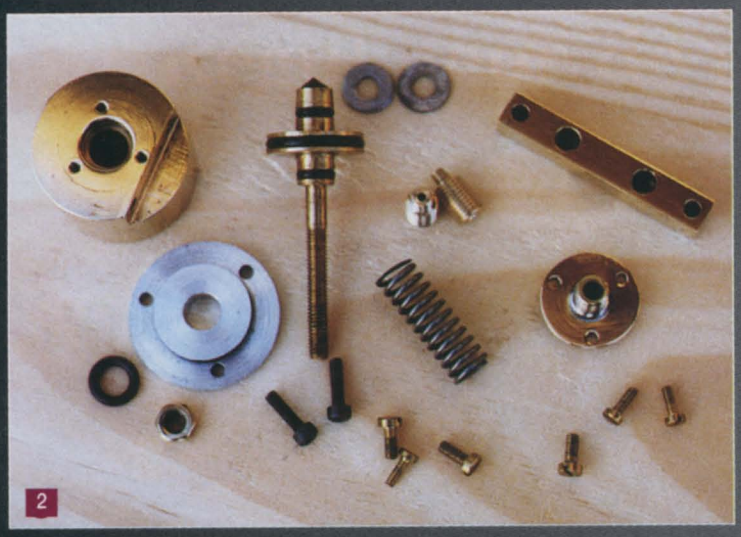
Dessin 3





Dimensions des bagues "R"		
N°	Ø fil	Ø intérieur
R 3	Ø1,9	Ø4,2
R 6	Ø1,9	Ø7,2
R 12	Ø2,7	Ø15,1

Echelle 1

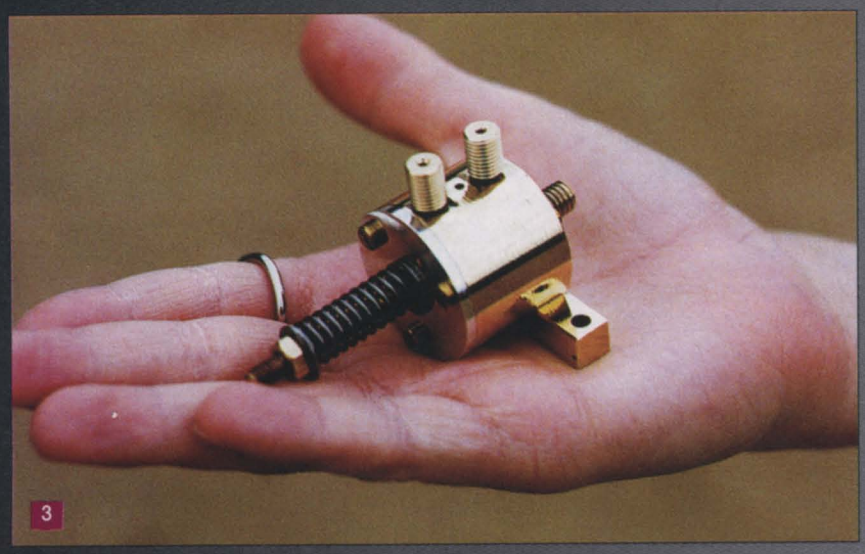


2

Photo 2 : les pièces et la visserie du régulateur avant montage.

Photo 3 : le régulateur monté dans la petite main de mon fils Yoann.

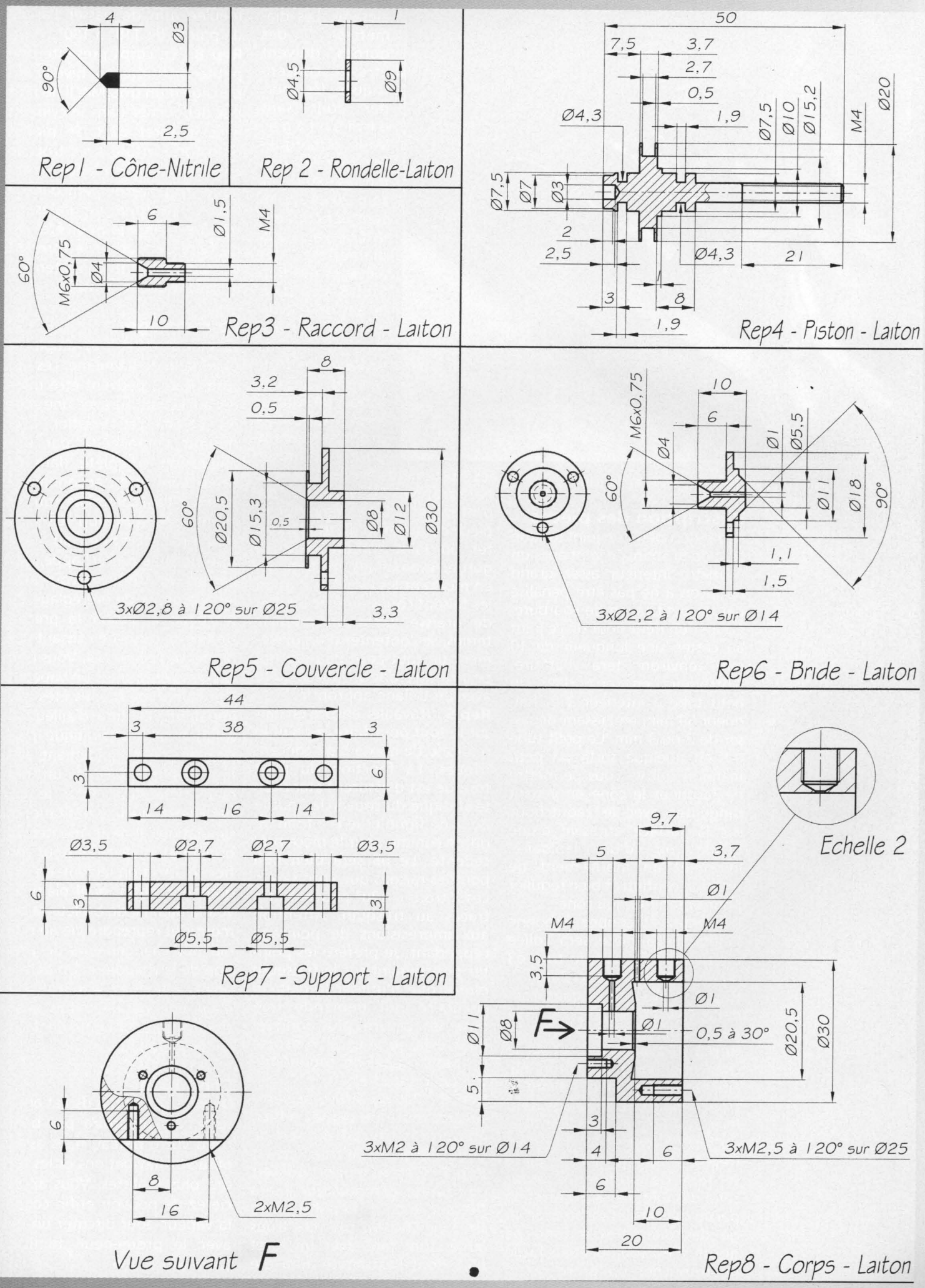
(voir Dessin 1), j'ai pu constater un fonctionnement aléatoire avec des différences de déclenchement pouvant varier jusqu'à 1 bar. Différences ayant pour conséquences une machine au fonctionnement irrégulier et décevant. Le frottement des joints a pu être optimisé en retouchant petit à petit les diamètres à fond de gorge. Il faut procéder à des essais de fonctionnement en contrôlant l'étanchéité avec de l'air comprimé tout en immergeant l'appareil dans de l'eau. Le pied à coulisse au 1/100e de mm trouve toute son utilité pour mesurer le diamètre extérieur du joint torique monté dans sa gorge et déduire l'épaisseur de matière à enlever. L'ajustement idéal, c'est-à-dire étanche et avec le minimum de frottement est obtenu quand on a environ une différence de diamètre de 0,1. Ce qui donne pour un alésage ø20,5 mm un diamètre sur le joint torique monté de ø20,6. Il faut que l'alésage soit bien lisse pour limiter une fois encore le frottement. Un toilage au papier 600 suivi d'un polissage au feutre avec de la pâte à polir et le tour est joué. L'utilisation de graisse silicone améliore nettement le glissement. Il faut en mettre le minimum, juste un "chouilla" sur les alésages et les joints, sous peine de créer un effet de ventouse sur les faces avec un excès de graisse. Après avoir fait ces modifications, je retente un essai de fonctionnement pour constater une bonne amélioration mais qui se dégrade au bout d'un certain temps de navigation. Je refais plusieurs fois l'essai et j'aboutis toujours au même résultat : ça fonctionne bien en début de navigation et beaucoup moins ensuite. Je pense alors à la pression du gaz qui s'exerce sur la face opposée du piston du régulateur. Cette pression n'est pas constante, elle varie en cours de chauffe et modifie donc les réglages de départ. Elle peut diminuer si le gaz se refroidit à cause d'un trop grand débit ou elle peut monter dans le cas du réchauffage du réservoir du gaz. J'en arrive à la conclusion qu'il faut réguler la pression du gaz ou bien trouver un moyen de diminuer ou de supprimer la force de la contre-pression néfaste. Pour réguler la pression du gaz, il faut installer un autre type de régulateur de pression cette fois monté sur la canalisation d'arrivée du gaz. Un modèle destiné à l'air comprimé convient bien à condition d'en choisir un type sans le clapet de décharge destiné à évacuer les contre-pressions en provenance de l'aval du régulateur. C'est une bonne solution qui apportera un avantage supplémentaire: régularité de la pression de gaz donc régularité de la combustion. Plus de flamme qui s'emballe dans le cas d'un réchauffage du réservoir de gaz trop soutenu. N'empêche que j'ai fabriqué un régulateur de pression vapeur qui ne fonctionne qu'avec l'ajout d'un régulateur de pression sur le gaz. Je suis obstiné, le régulateur doit fonctionner gaz régulé ou pas. Pour diminuer la force de la contre-pression du gaz, il faut reprendre la formule F = p x s. On ne peut pas jouer sur la pression puisque nous n'avons pas de régulateur de gaz. Par contre, la diminution de la section est toujours possible. Comme je n'en suis qu'au stade du prototype et que je ne suis encore sûr de rien, je préfère modifier le régulateur que je viens de fabriquer (voir dessin 2). La pression du gaz ne s'exerce plus que sur la surface du petit piston. La force de poussée du gaz a été réduite, elle est désormais presque négligeable et le régulateur fonctionne avec une plage de régulation correcte d'environ 250 grammes. Autrement dit, si à 2 kg de pression vapeur le régulateur coupe le gaz, à 1,75 kg le passage du gaz recommence. La coupure et l'ouverture du gaz s'effectuent en douceur grâce au frottement des joints qui freine le mouvement des pistons. Il n'y a donc pas de risque d'extinction du brûleur et de sa veilleuse.



3

Version définitive

Je me suis attardé sur ce régulateur pour en dessiner une version définitive destinée à mes prochains modèles. En voici la description (voir dessin 3). Les joints toriques sont en nitrile, les dimensions standards choisies dans la norme "R" garantissent leur approvisionnement aisé chez n'importe quel grossiste (voir le tableau des dimensions avec le dessin d'ensemble). On peut même en trouver dans certaines grandes surfaces au rayon plomberie. Le ressort: récupéré ou fabriqué au tour (voir Bateau modèle n°40). Dans ce cas, les caractéristiques pour réguler une pression vapeur de 1,5 à 2 kg sont les suivantes : fil en corde à piano ø1.3, pas = 3 mm, ø intérieur 6 et longueur libre 25 mm. Pour réguler une plus forte pression, il faudra monter un ressort plus


Rep1 - Cône-Nitrile
Rep 2 - Rondelle-Laiton
Rep3 - Raccord - Laiton
Rep4 - Piston - Laiton
Rep5 - Couvercle - Laiton
3xØ2,8 à 120° sur Ø25
Rep6 - Bride - Laiton
3xØ2,2 à 120° sur Ø14
Rep7 - Support - Laiton
Echelle 2
Vue suivant F
2xM2,5
Rep8 - Corps - Laiton
3xM2 à 120° sur Ø14
3xM2,5 à 120° sur Ø25
0,5 à 30°

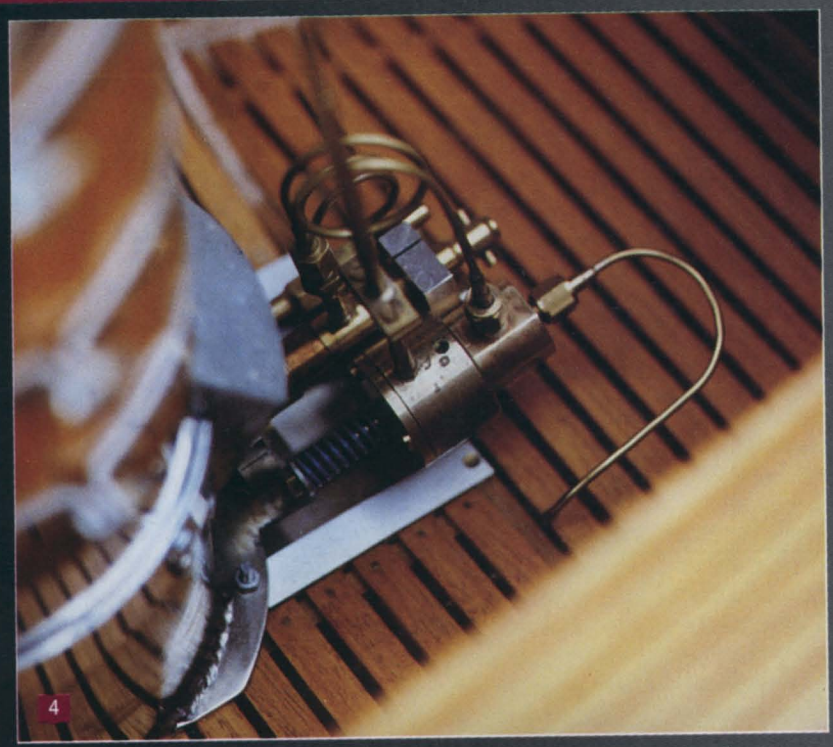


Photo 4 : le régulateur du dessin 2, on voit bien la pièce rapportée destinée à diminuer la force de la contre-pression du gaz.

costaud, bien entendu.

Description des pièces

Rep 1: Récupérer un joint torique de ø de fil 3mm. Ce joint aura un diamètre intérieur assez grand de façon à ne pas être pénalisé par un petit rayon de courbure. Couper un petit bout de ce joint au cutter, une longueur de 10 mm environ fera l'affaire, l'introduire en serre dans un petit tube ø intérieur 3 et longueur 50 mini en laissant dépasser de 2 ou 3 mm. Ce petit tube est en quelque sorte un petit mandrin qui va vous permettre de façonner le cône en venant tangenter avec le caoutchouc sur la surface abrasive d'une meule ou d'un lapidaire. Imprimer un mouvement de rotation continu et bien régulier pour obtenir un joli cône.
Démontez et coupez à bonne longueur. La pièce sera collée ultérieurement dans le trou ø3 du piston à la cyanoacrylate.

Rep 2 : Voici une vulgaire rondelle, elle sera sans doute récupérée dans votre stock.

Rep 3 : Travailler en l'air sur le tour une barre de laiton ø6. Finir tous les usinages avant le tronçonnage ou le sciage sauf le trou à 60° qui sera fait avec un foret à centrer.

Rep 4 : L'usinage de cette pièce se fera de préférence après celui des Rep 5 et 8. En effet, la partie délicate étant le tournage des diamètres à fond de gorge, il est toujours plus facile de retoucher un arbre qu'un alésage. Les diamètres des gorges doivent être concentriques, les tourner donc sans démontage. Vous remarquerez que les diamètres extérieurs sont 20 et 7,5. Ils sont légèrement inférieurs aux diamètres des alésages des Rep 5 et 8, ceci dans le but de n'avoir que la surface des joints toriques en frottement. Les fonds de gorge seront fac,onnés progressivement pour optimiser les frottements évoqués dans le paragraphe "L'évolution du prototype" . Sans démonter la pièce du mandrin du tour, monter un joint torique dans sa gorge, évaluer les frottements en montant les Rep 5 et 8 et en les faisant coulisser avec un peu de graisse. Dans un premier temps, se contenter d'un glissement un tout petit peu dur qui pourra être adouci par la suite avec un toilage approprié.

Rep 5 : Travailler encore en l'air sur le tour pour faire le ø8 et le ø à fond de gorge bien concentriques. La fonction du joint torique est d'assurer l'étanchéité statique du couvercle, inutile donc de fignoler le ø à fond de gorge comme pour la pièce précédente. Le ø8 sera bien poli pour les raisons que vous savez. Les 3 trous à 120° peuvent être tracés au trusquin. Attention aux imprécisions de pointage cependant. Je préfère les pointer directement sur la fraiseuse plutôt que d'utiliser le plateau circulaire qui demande une mise en œuvre plus longue. Pour cela, je vous ai concocté un petit rappel de trigonométrie (voir encadré)

Rep 6 : Pas de difficulté particulière, toutefois pensez à bien ébavurer le trou ø1 qui sert de siège au cône en nitrile Rep 1.

Rep 7 : C'est le support qui sert de fixation au régulateur, il sera fixé sur le corps Rep 8 à l'aide de 2 vis Chc, M2,5x7. Les trous lamés sont faits avec un foret ø5,5 dont l'extrémité aura été meulée afin de passer l'angle de pointe de 118° à 180°.

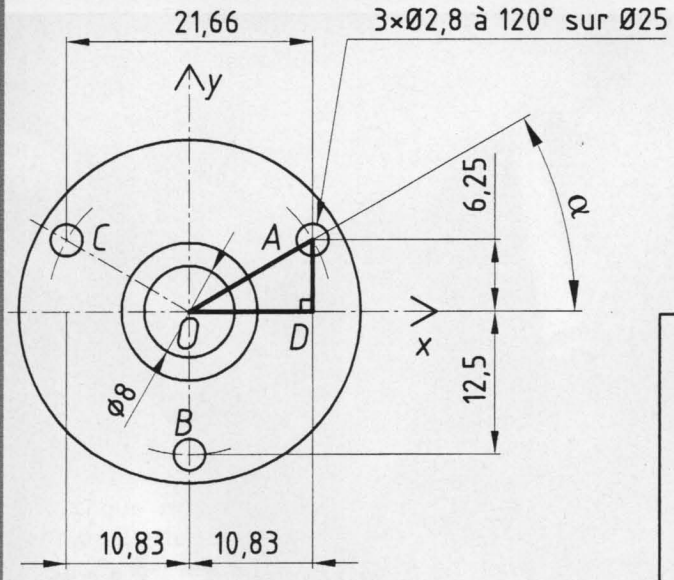
Rep 8 : Le corps présente une petite difficulté au niveau du percage d'un trou M4. Il ne faut pas déboucher dans le cylindre avec le foret ø3,3. Se méfier d'un foret affûté avec trop de coupe et qui a tendance à s'engager trop rapidement dans le laiton. Le fond de l'alésage ø20,5 est dégagé pour être sûr de faire déboucher le foret ø1 du trou d'évent correctement et sans risque de casse.

Le montage

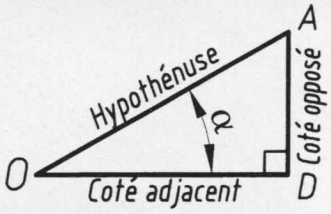
Le montage est très simple, le plan parle de lui-même. Les raccords Rep 3 peuvent être montés au Téflon ou avec une pâte du commerce. Vérifier avec rigueur l'étanchéité par une immersion complète dans de l'eau claire et en actionnant le piston à l'air comprimé tout en ayant une pression dans la chambre destinée au gaz. Aucune bulle ne s'échappe, c'est parfait, vous pouvez vous atteler à la phase de préréglage qui se réduit à ajuster la précontrainte du ressort en vissant plus ou moins l'écrou M4. Vous pouvez simuler la pression vapeur à l'air comprimé si vous êtes trop impatient. Ce sera d'ailleurs la solution la plus pratique pour pouvoir jouer rapidement avec la pression grâce à un bon mano-détendeur. Pour le gaz par contre, aucune hésitation ni simulation, il faut monter un brûleur et sa veilleuse pour vérifier le fonctionnement en vrai grandeur. Enfin, quel plaisir de voir la flamme du brûleur faiblir, mourir et reprendre vie au rythme des changements de pression de la chaudière. Un dernier point, actionnez le piston à la main une ou deux fois avant chaque utilisation afin de décoller les joints.

Conclusion

Ne vous privez pas de cet accessoire, il n'alourdira pas beaucoup votre bateau mais assouplira vos navigations et les rendra plus réalistes. Vous apprécierez de pouvoir enfin couper la vapeur pour discuter un peu avec le promeneur admirant votre œuvre. ◆



PERCAGE DE 3 TROUS A 120° SUR UN DIAMETRE SANS UTILISER DE PLATEAU CIRCULAIRE



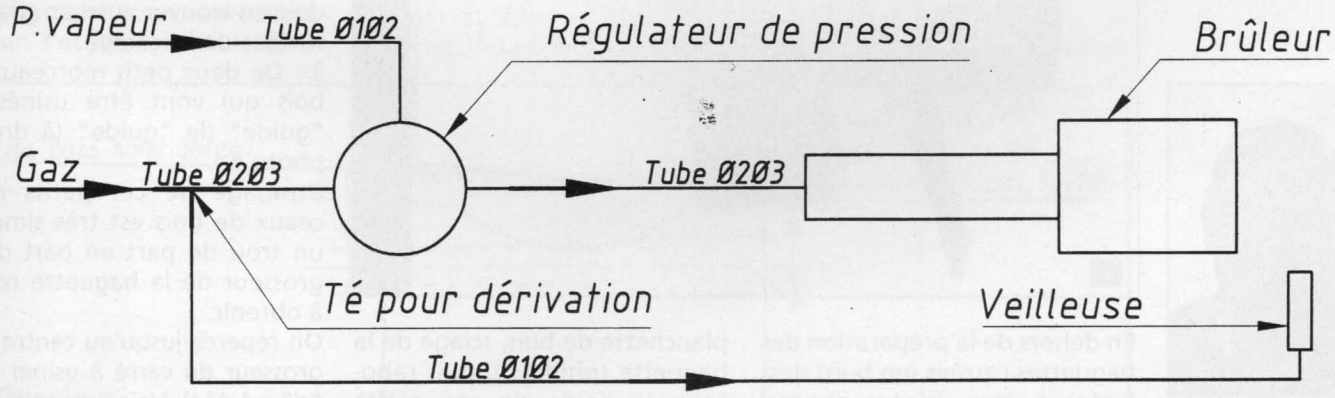
RAPPEL DE TRIGONOMETRIE :

Pour un triangle rectangle ODA :
Cosinus α = coté adjacent / hypothénuse
Sinus α = coté opposé / hypothénuse
Tangente α = coté opposé / coté adjacent
$AO = \sqrt{OD^2 + DA^2}$

Rep5 Echelle 1,5

α = 120°-90°=30° ; Cosinus 30° = 0,866 ; Sinus 30° = 0,5
OA = OB = OC = Ø de perçage/2 = 25/2 = 12,5
1) Cosinus α = OD/OA d'ou OD = Cosinus α x OA
Donc OD = 0,866 x 12,5 = 10,83
2) Sinus α = AD/OA d'ou AD = Sinus α x OA
Donc AD = 0,5 x 12,5 = 6,25

Après s'être centré dans le trou Ø8 à l'aide d'un axe Ø8 serré dans le porte-pinces de la fraiseuse, on commence le pointage du trou B (avec un foret à centrer) en se déplaçant d'une valeur -y = OB = 12,5 mm. Après pointage, pour atteindre l'axe du trou A, il faudra parcourir en x la distance OD = 10,83 et en y la distance OB + DA = 12,5 + 6,25 = 18,75. Pour atteindre l'axe du trou C, il faudra parcourir en -x la distance 2 x OD = 2 x 10,83 = 21,66. Attention à bien rattraper les jeux à la manivelle toujours dans le même sens lors des mouvements inverses. Il est conseillé de se faire un repère à la craie sur la table de la machine pour se souvenir du sens de rotation choisi pour arrêter les déplacements. Si par exemple, après vous être centré dans le trou Ø8, vous vous déplacez jusqu'au trou ØB en tournant la manivelle dans le sens des aiguilles d'une montre, pour revenir il faudra naturellement tourner la manivelle du chariot dans l'autre sens. L'astuce consiste à aller au delà du déplacement recherché et de revenir dans le même sens que pour le premier déplacement c'est à dire celui des aiguilles d'une montre sur la graduation choisie. Si vous ne rattrapez pas le jeu, votre déplacement aura pour imprécision la valeur de ce jeu et sur certaines vieilles machines on peut friser quelques dixièmes voire le mm.



SCHEMA DE PRINCIPE